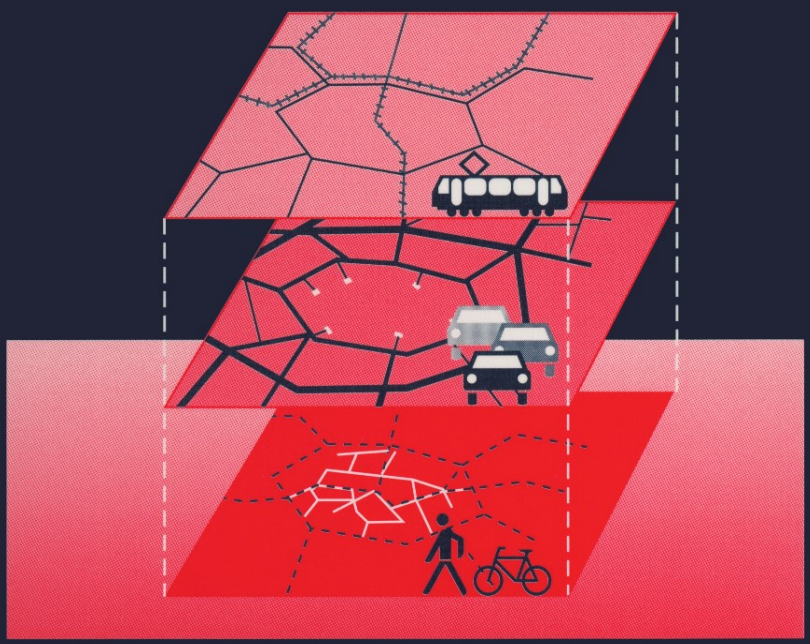
Gerd Steierwald · Hans Dieter Künne
Walter Vogt (Hrsg.)

Stadtverkehrsplanung

Grundlagen, Methoden, Ziele

2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage



Springer

Gerd Steierwald · Hans Dieter Künne · Walter Vogt (Hrsg.)

Stadtverkehrsplanung

Gerd Steierwald · Hans Dieter Künne · Walter Vogt (Hrsg.)

Stadtverkehrsplanung

Grundlagen, Methoden, Ziele

2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Springer

Univ.-Professor (em.) Dr.-Ing. habil. Gerd Steierwald
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Universität Stuttgart
priv. Bopserwaldstraße 16
70184 Stuttgart

Professor Dr.-Ing. Hans Dieter Künne
Technischer Bürgermeister a.D.
der Landeshauptstadt Stuttgart
priv. Malachitweg 16
70619 Stuttgart

Dr.-Ing. Walter Vogt
Akademischer Oberrat
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 7
70589 Stuttgart
priv. Hardtstraße 9
70499 Stuttgart

Ursprünglich erschienen unter Steierwald/Künne

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 3-540-40588-7 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science + Business Media

springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Einband-Gestaltung: Struve & Partner, Heidelberg
Satz: Angelika Vogt, Korntal
Herstellung: medionet AG, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem Papier 68/3020 5 4 3 2 1 0

Vorwort

Zehn Jahre nach Erscheinen der ersten Auflage der *Stadtverkehrsplanung – Grundlagen, Methoden, Ziele* haben wir – die Herausgeber – uns auf Anfrage des Springer-Verlags gern entschlossen, eine überarbeitete und erweiterte Neuauflage zu bearbeiten.

Mit Ausnahme der leider verstorbenen Herren Kollegen Prof. Dr.-Ing. W. Ruske und Prof. Dr. Ing. H. Strack sowie des aus gesundheitlichen Gründen ausgeschiedenen Herrn Dipl.-Ing. Th. Pischner haben sich alle bisherigen Autoren bereit erklärt, ihre Beiträge zu überarbeiten und auf den neuesten wissenschaftlichen Stand zu bringen. Darüber hinaus schien uns von großer Bedeutung, eine Reihe für die Stadtverkehrsplanung relevanter Themen aufzunehmen, um der fortgeschrittenen Entwicklung in Wissenschaft und Praxis Rechnung zu tragen. Zu nennen sind hier insbesondere die Ausführungen zu den städtebaulichen Leitbildern, den Modellen und Strategien des Güterverkehrs, den Grundlagen der Bemessung, dem Verkehrsmanagement, der Technikfolgenabschätzung, der Signalsteuerung und den Straßennutzungsgebühren in Städten. Zu allen Themenbereichen konnten wir in der Fachwelt anerkannte Kollegen gewinnen.

Die Fülle des Stoffes erlaubt trotz der genannten Ergänzungen kein abschließendes Kompendium. Wichtig erschien uns, dass – neben den allgemeinen Beschreibungen und den teilweise mit Wertungen verbundenen zukunftsbezogenen Aussagen – die verschiedenen analytischen, prognostischen und konstruktiv-planerischen Schritte und auch die handwerklichen Voraussetzungen deutlich gemacht werden. Die Autoren können dabei auf eine umfangreiche Literatur verweisen. Für die Praxis stehen zahlreiche neue und überarbeitete Richtlinien und Empfehlungen anerkannter Institutionen (z.B. der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen) zur Verfügung, deren flexible Handhabung gerade in Zeiten eines dynamischen Wandels an Bedeutung zunimmt.

Die Herausgeber danken allen Autoren für ihre umfangreichen Beiträge und die verständnisvolle Zusammenarbeit. Dank gilt im Besonderen Herrn Akad. Oberrat Dr.-Ing. W. Vogt, der neben seinen neuen Aufgaben als Mitherausgeber die aufwendige Geschäftsführung übernommen hat. Dankbar sind wir der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen mit ihrem Geschäftsführer Herrn Dipl.-Ing. H. W. Horz für die großzügig zur Verfügung gestellten Abbildungen aus Richtlinien und Empfehlungen sowie Frau Angelika Vogt M.A. für die mit großer Einsatzbereitschaft und Sorgfalt durchgeführte Redaktion der Beiträge, die Layout-Gestaltung und Umsetzung. Dem Springer-Verlag sei Dank für seine Bereitschaft zur Herausgabe dieser Neuauflage und seine Geduld bei der Fertigstellung des Manuskripts.

Stuttgart, August 2004

G. Steierwald, H. D. Künne, W. Vogt

Autoren

Angenendt, W., Dipl.-Ing.,
AB Stadtverkehr GbR,
Bocholt

Angerer, F., Dipl.-Ing., Prof. em, Architekt BDA,
Architekten Angerer & Hadler,
München

Arnold, W., Dipl-Ing.,
Technischer Vorstand,
Stuttgarter Straßenbahnen AG

Axhausen, K.W., Dr.-Ing., Prof.,
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme,
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Baron, H., Dipl.-Ing.,
Stadtplanungsamt Karlsruhe

Bonz, M., Sen. E. h., Reg. Baum.,
Direktor a.D., Stuttgarter Straßenbahnen AG

Brannolte, U., Dr.-Ing., Univ.-Prof.,
Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Bauhaus-Universität Weimar

Bräuer, D., Dipl.-Ing.,
AB Stadtverkehr GbR,
Köln

Brenner, M., Dr.-Ing.,
Dr. Brenner + Münnich,
Ingenieurgesellschaft mbH,
Aalen

Brilon, W., Dr.-Ing., Univ.-Prof.,
Lehrstuhl für Verkehrswesen,
Ruhr-Universität Bochum

Collin, H.-J., Dr.-Ing., Prof.,
Agentur für Stadt- und Verkehrsplanung (ARGUS GmbH),
Braunschweig

Dunker, L., Dr.-Ing., Prof.,
Karlsruhe

Frick, M., Dipl.-Phys.,
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme,
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Gerland, K., Dipl.-Ing.,
Ingenieurgemeinschaft Schnüll, Haller und Partner,
Hannover

Hadler, G., Dipl.-Ing., Architekt,
Architekten Angerer & Hadler,
München

Haller, W., Dr.-Ing.,
Ingenieurgemeinschaft Schnüll, Haller und Partner,
Hannover

von Heyl, A., Dr. jur., Prof.,
Leitender Stadtrechtsdirektor a.D.,
Rechtsanwalt,
Tübingen, Stuttgart

Jessen, J., Dr. rer. pol., Univ.-Prof.,
Städtebau-Institut,
Universität Stuttgart

Kaule, G., Dr. agr., Univ.-Prof.,
Institut für Landschaftsplanung und Ökologie,
Universität Stuttgart

Keller, H., Dr. UCB, Univ.-Prof.,
Transver
München

Kötter, Th., Dr.-Ing., Univ.-Prof.,
Professur für Städtebau und kommunale Infrastruktur,
Institut für Städtebau, Bodenordnung und Kulturtechnik,
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität,
Bonn

Künne, H. D., Dr.-Ing., Prof.,
Techn. Bürgermeister a.D.,
Stuttgart

Lohrmann, K.-D., Dipl.-Ing.,
Betriebsleiter,
Stuttgarter Straßenbahnen AG

Martens, S., Dipl.-Geogr.,
Stuttgart

Martin, E., Dr.-Ing., Prof.,
Stadtdirektor a.D.,
Karlsruhe

Rothengatter, W., Dr., Univ.-Prof.,
Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung,
Universität Karlsruhe

Schönharting, J., Dr. techn., Univ.-Prof.,
Fachgebiet Verkehrswesen und Verkehrsbau,
Universität Duisburg-Essen

Steierwald, G., Dr.-Ing., Univ.-Prof. em.,
Stuttgart

Steierwald, M., Dr.-Ing.,
Institut für Geowissenschaften,
Bereich Diskurs und Integrierte Planung,
Universität Tübingen

Vogt, W., Dr.-Ing.,
Institut für Straßen- und Verkehrswesen,
Lehrstuhl für Straßenplanung und Straßenbau,
Universität Stuttgart

Walther, Ch., Dr. rer. pol., Dipl. math. oec.,
PTV AG,
Karlsruhe

Wermuth, M., Dr. rer. nat., Univ.-Prof.,
Institut für Verkehr und Stadtbauwesen,
Technische Universität Braunschweig

Wirth, R., Dr.-Ing.
Institut für Verkehr und Stadtbauwesen
Technische Universität Braunschweig

Inhalt

Abkürzungen XVIII

Teil A Grundlagen und Ziele der Planung 1

A 1 Planungsgrundlagen 3
(Künne/Steierwald/Vogt)
1.1 Einführung – Historischer Abriss 3
1.2 Planung und Planungsablauf 9

A 2 Integration der Verkehrs- in die Stadtplanung 18
(Angerer/Hadler)
2.1 Stadtstruktur und Verkehrssystem 18
2.2 Abhängigkeit der Siedlungsstruktur vom Verkehrsmittel 21
2.3 Tendenzen in der Entwicklung von Stadtverkehr 26

A 3 Zukunft des Stadtverkehrs 29
3.1 Städtebauliche Leitbilder – Entwicklungstendenzen 29
(Jessen)
3.1.1 Definition 29
3.1.2 Stadtentwicklung und Wandel der Leitbildorientierungen 31
3.1.3 Leitbilder der Stadtentwicklung heute – kompakte und durchmischte Stadt 33
3.1.4 Empirische Befunde 37
3.1.5 Anspruch und Wirklichkeit 39
3.1.6 Umsetzung des Leitbilds 41
3.1.7 Fazit 46
3.2 Szenarien zur künftigen Entwicklung 49
(Künne/Steierwald/Vogt)
3.2.1 Rahmenbedingungen und Tendenzen 49
3.2.2 Szenario „Trend“ 53
3.2.3 Szenario „Ökologischer Stadtverkehr“ 54
3.2.4 Szenario „Technologische Entwicklung“ 56
3.2.5 Ausblick 57

Teil B Zustandsbestimmung, Prognose und Bewertung 59

B 1 Nutzungen – Strukturen – Verkehr 61
(Axhausen/Frick)
1.1 Hintergrund und Entwicklungstrends 61
1.2 Definitionen 62
1.3 Verkehrsverhalten im Kontext 64
1.4 Verkehrsnachfrage 66
1.5 Intensität und Art der Verkehrsnachfrage 70
1.5.1 Dauer und Länge der Wege 70
1.5.2 Verkehrsmittelwahl 72
1.5.3 Abfahrtszeiten 77
1.6 Zusammenfassung und Ausblick 78

B 2 Erhebungen zur Verkehrsnachfrage 80
(Collin)
2.1 Erhebungsgrundsätze 80
2.2 Sekundärstatistiken/Strukturdaten 83
2.3 Verkehrstechnische Erhebungen des Personenverkehrs 84
2.3.1 Gebietsbezogene, zeitliche und organisatorische Anforderungen 84
2.3.2 Motorisierter Individualverkehr 86
2.3.3 Öffentlicher Personenverkehr 91
2.3.4 Nichtmotorisierter Verkehr 95
2.3.5 Ruhender Verkehr 98
2.4 Verhaltensbezogene Erhebungen 101
2.4.1 Rahmenbedingungen 101
2.4.2 Beobachtungsverfahren 106
2.4.3 Mündliche Befragungen 107
2.4.4 Schriftliche Befragungen 108
2.4.5 Telefonische Befragungen 115
2.4.6 Sondererhebungen 117
2.5 Erhebungen des Wirtschaftsverkehrs 119
2.6 Erhebungskombinationen und -weiterentwicklungen 126
2.7 Marketing-Erhebungen 128
2.8 Verhalten und Verhaltensabsichten 133
(Axhausen/Frick)
2.8.1 Ansätze 133
2.8.2 Arbeitsschritte bei der Entwicklung einer stated-response-Befragung 135
2.8.3 Zusammenfassung 138

B 3 Folgen und Wirkungen des Verkehrs 140
3.1 Übersicht Verkehrswirkungen 140
(Brannolte/Walther)
3.2 Städtebauliche Folgen 152
(Angerer/Hadler)
3.2.1 Verkehr und städtisches Leben 152
3.2.2 Verkehr und Stadtstruktur 155
3.2.3 Stadtbild 156
3.3 Analyse von Umweltwirkungen 160
(Brannolte/Walther)
3.3.1 Vorbemerkungen 160
3.3.2 Verkehrssicherheit 165
3.3.3 Verkehrslärm 166
3.3.4 Luftschadstoffe – Grundlagen 175
3.3.5 Ablauf und Betrieb 186
3.4 Investition und Erhaltung 194
3.4.1 Vorbemerkungen 194
3.4.2 Neu- und Ausbau (Herstellungskosten) 195
3.4.3 Unterhaltung (laufende Kosten) 198
3.4.4 Erneuerung und Instandsetzung 200
3.5 Ökologische Folgen 204
(Kaule)
3.5.1 Einführung 204
3.5.2 Verkehr als Verursacher, Umwelt als Akzeptor 204
3.5.3 Spezielle Merkmale von Stadtlandschaften im Hinblick auf Verkehr und Umwelt 206
3.5.4 Räumliche Skalenebenen zur Beurteilung von Verkehr und Umwelt 211
3.5.5 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) 212
3.5.6 Die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS), das Instrument zur Integration der Umweltbelange im planerischen Abwägungsverfahren der UVP 213
3.5.7 Die Abwägung in der UVP 224

B 4 Prognosen und Szenarien 227
(Vogt)

B 5 Modellvorstellungen zur Prognose 243
(Wermuth)
5.1 Aufgabe von Verkehrsnachfragemodellen 243
5.1.1 Verkehrsprognosen als Hilfsmittel der Verkehrsplanung 243

5.1.2 Aufgabenwandel von Verkehrsprognosen 243
5.1.3 Verkehrsnachfragemodelle als Entscheidungsmodelle von Individuen 244
5.2 Verkehrsnachfrageprozess 246
5.2.1 Individuelles Verkehrsverhalten 246
5.2.2 Objektive Einflussfaktoren des Verkehrsverhaltens 247
5.2.3 Subjektive Einflussfaktoren des Verkehrsverhaltens 249
5.3 Beschreibung der Raum- und Siedlungsstruktur und des Verkehrsangebots 250
5.3.1 Planungsraum und Untersuchungsgebiet 250
5.3.2 Modell der Raum- und Siedlungsstruktur 250
5.3.3 Verkehrsnetzmodell 251
5.3.4 Optimalroutenverfahren 254
5.4 Grobtypologie von Verkehrsnachfragemodellen 257
5.4.1 Verkehrsmengen, Verkehrsgrößen und Merkmale von Ortsveränderungen 257
5.4.2 Individual- und Aggregatmodelle 258
5.4.3 Verkehrsstrom- und Wegekettenmodelle 259
5.4.4 Modellstrukturen 259
5.5 Verkehrserzeugungsmodelle 261
5.5.1 Aufgabe von Verkehrserzeugungsmodellen 261
5.5.2 Raumaggregatmodelle 261
5.5.3 Individualverhaltensmodelle 262
5.6 Individuelle Entscheidungsmodelle 266
5.6.1 Grundkonzeption mikroökonomischer Entscheidungsmodelle 266
5.6.2 Quantifizierung des subjektiven Nutzens 268
5.6.3 Probit-Modell 268
5.6.4 Logit-Modell 270
5.6.5 Hierarchisches Logit-Modell (HL-Modell, Nested-Logit-Modell) 272
5.7 Verkehrszielwahl- und Verkehrsverteilungsmodelle 273
5.7.1 Aufgabe 273
5.7.2 Gravitationsmodelle 274
5.7.3 Entropiemodell 278
5.7.4 Modell des minimalen Informationsgewinns (Fratar-Modell) 280
5.7.5 Logit-Modell als individuelles Verkehrszielwahlmodell 280
5.7.6 Widerstandsdefinition in Verkehrszielwahlmodellen 281
5.7.7 Vergleich der Modelle 282
5.8 Verkehrsmittelwahl- und Modal-Split-Modelle 282
5.8.1 Aufgabe 282
5.8.2 Verkehrsmittelwahlsituation 283
5.8.3 Modal-Split-Modelle 285
5.8.4 Sequentielles Verkehrsmittelwahlmodell 285
5.8.5 Simultanes Ziel-Verkehrsmittelwahlmodell 287
5.8.6 Hierarchisches Ziel-Verkehrsmittelwahlmodell 287
5.9 Routenwahl- und Verkehrsumlegungsmodelle 287
5.9.1 Aufgabe 287
5.9.2 Bestwegverfahren (Alles-oder-Nichts-Umlegung) 288
5.9.3 Nutzenmaximierungsmodelle 288
5.9.4 Stochastisches Routenwahlmodell 288
5.9.5 Belastungsabhängiges Routenwahlmodell 289
5.9.6 Dynamische Routenwahlmodelle 289
5.10 Gleichgewichtsmodelle 291
5.10.1 Nutzergleichgewichtsmodelle 291
5.10.2 Modelle des Systemgleichgewichts 293

B 6 Modelle und Strategien des Güterverkehrs 296
(Wermuth/Wirth)
6.1 Grundlagen 296
6.1.1 Definitionen und Abgrenzungen 296
6.1.2 Verkehrsursachen im Güterverkehr 298
6.2 Verkehrsnachfrage im Güterverkehr 299
6.2.1 Daten über den Güterverkehr 302
6.2.2 Struktur des Güterverkehrs 305
6.2.3 Entwicklung des Güterverkehrs 309
6.3 Modelle zur Beschreibung des Güterverkehrs in Analyse und Prognose 310
6.3.1 Modellierung des Güterverkehrs 310
6.3.2 Ansätze zur Modellierung der Verkehrsnachfrage 314
6.4 Planungsansätze zur Gestaltung des Güterverkehrs 317
6.4.1 Ziele – Strategien – Maßnahmen 317
6.4.2 Beispiele für Maßnahmen 318

B 7 Grundlagen der Bemessung von Verkehrsanlagen 327
(Brilon)
7.1 Verkehrsstatistische Grundbegriffe 327
7.2 Ganglinien und Dauerlinien 329
7.3 Funktion von Straßen 333
7.4 Kapazität und Verkehrsqualität 336
7.5 Verkehrsablauf der freien Strecke 339
7.6 Verkehrsablauf an planfreien Knotenpunkten 345
7.7 Verkehrsablauf an plangleichen Knotenpunkten 347
7.7.1 Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage 347
7.7.2 Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage 352

B 8 Bewertungs- und Entscheidungshilfen 355
(Schönharting)
8.1 Grundlagen der Entscheidungsfindung 355
8.1.1 Allgemeines 355
8.1.2 Entscheidungsablauf 355
8.1.3 Entscheidungsträger 355
8.1.4 Wirkungsträger 357
8.1.5 Zielkatalog 357
8.1.6 Lösungsraum 358
8.1.7 Wirkungsraum 358
8.1.8 Zur Unsicherheit von Wirkungsschätzungen 359
8.1.9 Zulässigkeitsprüfung 360
8.2 Methoden der Gewichtung von Wirkungen 361
8.2.1 Allgemeines 361
8.2.2 Monetisierbare Wirkungen 362
8.2.3 Einstufige Gewichtung von Wirkungen 363
8.2.4 Zweistufige Gewichtung von Wirkungen 363
8.2.5 Methoden der Gewichtsfindung 365
8.3 Optimierende Bewertungs- und Entscheidungsverfahren 366
8.4 Formalisierte Entscheidungsverfahren 367
8.4.1 Kosten-Nutzen-Analyse 367
8.4.2 Kostenwirksamkeits-Analyse 370
8.4.3 Nutzwertanalyse 373
8.4.4 Sensitivitätsanalysen 373
8.5 Paarweiser Vergleich von Varianten 375
8.6 Demonstration der Verfahren an einem Beispiel 379

B 9 Beitrag der Technikfolgenabschätzung für die Stadtverkehrsplanung 385
(M. Steierwald, Martens)
9.1 Bedeutung von Technikfolgenabschätzung im Verkehrswesen 385
9.1.1 TA-Theorie und Politikberatung 385
9.1.2 TA in der Planung: Denkmodelle und Methodik 386
9.2. Konzeptionelle Methoden 388
9.2.1 Räumliches Modell: Funktionsanalyse 388
9.2.2 Zeitliches Modell: Slow-Motion-Analyse 389
9.2.3 Prozess-Modell: Entscheidungs- und Aktions-(E-A)-Analysen 391
9.3 Diskursive Methoden 393
9.3.1 Multikriterielle, diskursive Bewertung 393
9.3.2 Partizipative Verfahren 395
9.4 Ausblick und Anforderungen 399

Teil C Gestaltung, Entwurf und Bemessung 401

C 1 Historische Entwicklung von Verkehrsnetzen 403
(Vogt)

C 2 Verkehr und Stadtbild – Umfeldprobleme und Lösungen 431
(Martin/Baron)
2.1 Städtebauliche Qualität in Straßen und Platzräumen 431
2.1.1 Straßenraum und Stadtbild 431
2.1.2 Ansprüche an den Straßenraum 433
2.2 Konflikte zwischen Verkehr und öffentlichem Raum 434
2.3 Ansätze für eine städtebaulich verträgliche Verkehrsplanung 436
2.3.1 Generelle Ziele und Maßnahmen 436
2.3.2 Ganzheitlich-interdisziplinäre Planungsmethoden 437
2.3.3 Planungsschwerpunkte aus städtebaulicher Sicht 445
2.3.4 Stadtgestalterische Einzelaspekte 450
2.4 Hinweise für die Umsetzung in der städtebaulichen Praxis 460

C 3 Straßen- und Wegenetze 463
(Kötter)
3.1 Aktuelle Leitbilder und Grundsätze für die Straßen- und Wegenetzkonzeption 463
3.2 Methodik einer integralen Verkehrsnetzplanung 465
3.2.1 Funktionale Gliederung des Stadtgebietes und Planungsgrundsätze 465
3.2.2 Ablauf einer integrierten Netzbewertung und Netzgestaltung 466
3.2.3 Realisierung des ausgewählten Netzentwurfes und Controlling 472
3.3 Anforderungen des Verkehrs an das Straßen- und Wegenetz 474
3.3.1 Fußgänger und Radfahrer 474
3.3.2 Kraftfahrer 475
3.4 Einteilung von Straßen und Wegen in Kategorien 477
3.4.1 Funktionen der Straßen 477
3.4.2 Überlagerung der Funktionen 479
3.4.3 Kategoriengruppen und Ableitung von Straßenkategorien 479
3.5 Funktionale Netzstrukturen und Netzelemente 483

3.5.1 Grundsatzüberlegungen 483
3.5.2 Netzelemente 486
3.5.3 Ausgewählte Netzstrukturen 488
3.6 Ausgewählte Beispiele der Straßen- und Wegenetzgestaltung 490
3.6.1 Konzeption von Hauptverkehrsstraßennetzen 490
3.6.2 Konzeption von Netzen für Stadt- und Stadtteilzentren 492
3.6.3 Netzgestaltung in Tempo-30-Zonen 496
3.6.4 Konzeption von Rad- und Fußwegenetzen 497

C 4 Strecken und Knotenpunkte im Straßenverkehr 503
(Haller/Gerland)
4.1 Grundlagen des Entwurfs 503
4.1.1 Entwurf von Straßenräumen im Wandel der Zeit 503
4.1.2 Straßenraumentwurf als Entwurfsmethodik 505
4.1.3 Ziele und Bewertungskriterien 506
4.1.4 Städtebauliche und straßenräumliche Merkmale 510
4.1.5 Nutzungsansprüche 511
4.1.6 Entwicklung von Handlungskonzepten 518
4.1.7 Entwurfsprinzipien für Straßen und Wege 518
4.2 Entwurf von Hauptverkehrsstraßen 520
4.2.1 Grundsätze 520
4.2.2 Entwurfs- und Gestaltungselemente für Hauptverkehrsstraßen 521
4.2.3 Typische Entwurfssituationen – Beispiele 530
4.3 Entwurf von anbaufreien Hauptverkehrsstraßen 534
4.3.1 Grundsätze 534
4.4 Entwurf von Erschließungsstraßen und -wegen 536
4.4.1 Grundsätze 536
4.4.2 Entwurfs- und Gestaltungselemente für Erschließungsstraßen und -wege 537
4.5 Entwurf von Knotenpunkten und Plätzen 542
4.5.1 Grundsätze 542
4.5.2 Knotenpunktformen – Beispiele 543
4.5.3 Stadtplätze 548
4.5.4 Plätze des öffentlichen Personennahverkehrs 549

C 5 Ruhender Verkehr 555
(Dunker)
5.1 Parkraumplanung 555
5.1.1 Ansprüche an die Parkraumplanung 555
5.1.2 Angebotsbemessung 558
5.1.3 Parkraumbereitstellung 565
5.2 Parkflächenentwurf 567
5.2.1 Entwurfsgrundlagen 567
5.2.2 Park- und Ladeflächen im Straßenraum 571
5.2.3 Parkplätze 574
5.2.4 Parkbauten 575
5.2.5 Mechanische und automatische Parksysteme 582
5.3 Nutzung und Betrieb 584
5.3.1 Miet- und Gelegenheitsparker 584
5.3.2 Wechselseitige Parkraumbereitstellung 584
5.3.3 Anlagen mit besonderer Zweckbestimmung 585
5.3.4 Sicherheitsvorkehrungen 587
5.4 Ausblick 588

C 6 Öffentlicher Verkehr 591
(Bonz/Arnold/Lohrmann)
6.1 Grundlagen für die Systemauswahl im öffentlichen Personennahverkehr 591
6.1.1 Problemstellung und generelle Gesichtspunkte bei der Auswahl geeigneter Systeme 591

6.1.2 Stadtschnellbahnen 594
6.1.3 Straßenbahnen und Stadtbahnen 597
6.1.4 Mehrsystem-Stadtbahnen (Tram-Train-Systeme) 601
6.1.5 Bus 602
6.1.6 Besondere Formen des ÖPNV-Angebots 605
6.2 Netzgestaltung im öffentlichen Personennahverkehr 606
6.2.1 Netzgestaltung als Teil der Angebotsplanung im ÖPNV 606
6.2.2 Einflüsse auf die Liniennetzgestaltung 607
6.2.3 Linien- und Netzbildung 609
6.2.4 Methoden des Linien- und Netzentwurfs 615
6.3 Entwurf von Fahrwegen des öffentlichen Personennahverkehrs 617
6.3.1 Grundlagen der Gestaltung des Fahrweges von Schienenbahnen 617
6.3.2 Grundlagen der Gestaltung des Fahrweges beim Busverkehrssystem 632
6.3.3 Entwurf von Haltestellen von U-Bahnen, Stadtbahnen und beim Busverkehrssystem 641
6.3.4 Barrierefreiheit im öffentlichen Raum 648

C 7 Rad- und Fußgängerverkehr 655
7.1 Radverkehr 655
(Angenendt)
7.1.1 Ziele und Anforderungen 655
7.1.2 Übersicht über das Maßnahmenspektrum 656
7.1.3 Entwurf von Radverkehrsführungen 664
7.2 Fußgängerverkehr 671
(Bräuer)
7.2.1 Grundanforderungen und Planungsablauf 671
7.2.2 Anlagen für den Längsverkehr 673
7.2.3 Anlagen für den Querverkehr 679

Teil D Elemente der Verkehrsbeeinflussung im Stadtverkehr 687

D 1 Einführende Übersicht 689
(Keller)
1.1 Verkehrsbeeinflussung im Planungsprozess 689
1.2 Maßnahmenkategorien des Verkehrsmanagements 691
1.3 Verkehrsleitstrategien und Steuerungsverfahren 693
1.3.1 Steuerungsverfahren 693
1.3.2 System- und Nutzeroptimum 695
1.3.3 Anwendungsprinzipien 697

D 2 Verkehrsmanagement in Städten und deren Umland 699
(Keller)
2.1 Strukturen des Verkehrsmanagements 699
2.1.1 Kooperatives Verkehrsmanagement 699
2.1.2 Systemarchitekturen 701
2.1.3 Regelkreis der Verkehrsbeeinflussung 702
2.2 Verkehrleitstrategien und Verkehrsmanagementarbeitsplätze 703
2.2.1 Strategieentwicklung für das Verkehrsmanagement 703

2.2.2 Integrierte Verkehrsmanagement-arbeitsplätze 705
2.3 Maßnahmen des Verkehrs-managements 707
2.3.1 Einführung 707
2.3.2 Verkehrsnachfragemanagement – Personenverkehr 708
2.3.3 Güterverkehrsmanagement – City-Logistik 709
2.3.4 Reiseinformation 710
2.3.5 Verkehrsinformation 710
2.3.6 Verkehrslenkung und Verkehrs-steuerung 711
2.3.7 Fahrerassistenz 714
2.4 Institutionelle Strukturen 715
2.4.1 Verwaltungsstrukturen 715
2.4.2 Qualitätsmanagement 716
2.4.3 Kostenstrukturen und Bewertung 717

D 3 Lichtsignalsteuerung 720
(Brenner)
3.1 Einführung 720
3.1.1 Entwicklung und Bedeutung der Lichtsignalsteuerung 720
3.1.2 Art und Einsatzgebiete von Lichtsignalanlagen 721
3.1.3 Einsatzkriterien und Ziele der Lichtsignalsteuerung 721
3.1.4 Lichtsignale und Lichtsignal-folgen 723
3.1.5 Vorschriften und technische Regelwerke 725
3.2 Entwurf, Berechnung und Bewer-tung von Festzeitprogrammen 726
3.2.1 Ablauf des Planungsprozesses 726
3.2.2 Entwurf der Signalprogramm-struktur 726
3.2.3 Zwischenzeitenberechnung 730
3.2.4 Berechnung der Lichtsignal-programm-Parameter 732
3.2.5 Bewertung von Lichtsignal-programmen 736
3.2.6 Koordinierte Lichtsignal-steuerung 740
3.2.7 Maßnahmen bei gesättigtem und übersättigtem Verkehrsfluss 743
3.3 Berücksichtigung des nicht motorisierten Verkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs 746
3.3.1 Rad- und Fußgängerverkehr 746
3.3.2 Öffentlicher Personennahverkehr 749
3.4 Verkehrsabhängige Lichtsignal-steuerung 759
3.4.1 Übersicht und Begriffe 759
3.4.2 Umsetzung verkehrsabhängiger Steue-rungsverfahren 761
3.4.3 Zeitabhängige Steuerung 761
3.4.4 Logikbasierte Steuerungs-verfahren 762
3.4.5 Modellbasierte Steuerungs-verfahren 767
3.5 Sonderformen der Lichtsignal-steuerung 771
3.5.1 Nicht vollständige Signalisierung an Knotenpunkten 771
3.5.2 Lichtsignalsteuerung an Kreis-verkehrsplätzen 772
3.5.3 Engstellensignalisierung 774
3.5.4 Fahrstreifensignalisierung 774
3.5.5 Rampenzuflusssteuerung 777

D 4 Road Pricing in Städten 780
(Rothengatter)
4.1 Idee und Geschichte des Road-Pricing-Konzepts 780
4.2 Grundlagen der Preisbildung 781
4.3 Hindernisse für die Einführung ökonomischer Wunschpreise 784
4.4 Pragmatische Lösungen und ihre Einbindung in die Stadtverkehrs-politik 785
4.5 Weltweite Anwendungen 786
4.5.1 Einige Beispiele 786
4.6 Fazit: Chancen für die Einführung in Städten der Bundesrepublik 791

Teil E Planungsrechtliche Verfahren 795

E 1 Planungsrechtliche Verfahren 797
(von Heyl)

1.1 Einführung, Schwerpunkte der Darstellung 797
1.2 Überblick über die Rechtsgrundlagen der Verkehrswegeplanung 798
1.2.1 Die Widmung 799
1.2.2 Bauleitplanung und Fachplanung 799
1.3 Inhaltliche Vorgaben 801
1.3.1 Planrechtfertigung, Abwägung der Belange 801
1.3.2 Richtlinien der EU, Umweltverträglichkeitsprüfung, Naturschutz 802
1.4 Die Rechtsverfahren in ihren Grundzügen 804
1.4.1 Die Planfeststellung nach den Fachgesetzen 804
1.4.2 Bebauungsplanung nach dem Baugesetzbuch 805
1.4.3 Planungserfordernis/Verbindlichkeit der Planung 805
1.5 Vergleichende Übersicht einzelner Aspekte der Planung 807
1.6 Der Zeitbedarf der Planung 811

Sachwortverzeichnis 815

Abkürzungen

a	Jahr
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung (Schweiz)
AST	Anruf-Sammeltaxi
B+R	Bike and Ride
BAG	Bundesamt für Güterverkehr
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BauGB	Baugesetzbuch
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
BfLR	Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung
BFS	Bundesamt für Statistik (Schweiz)
BGA	Bundesverband für Groß- und Außenhandel
BGF	Bruttogeschossfläche
BGL	Bundesverband Güterverkehr und Logistik
BHO	Bundeshaushaltsordnung
BlmSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMBau	Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BMZE	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BNatSchG	Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz)
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
BVWP	Bundesverkehrswegeplan, -planung
CASI	Computer-Aided Self Interviewing
CATI	Computer-Aided Telephone Interviewing
cts	Cents
d	Tag
DB	Deutsche Bahn
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DTV	durchschnittlicher täglicher Verkehr
E	Einwohner
EAE	Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen
EAHV	Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen
EAR	Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs
EDI	Eidgenössisches Departement des Innern (Schweiz)
EIA	Environmental Impact Assessment
EPTA	European Parliamentary Technology Asessment
F	Fahrten bzw. Fußgänger (je nach Zusammenhang
F+E	Forschung und Entwicklung
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FGÜ	Fußgängerüberweg
FGZ	Fußgängerzone
FStrG	Bundesfernstraßengesetz
Fz	Fahrzeug
GA	Generalabonnement (Schweiz)
GIS	Geographisches Informations-System
GPS	Global Positioning System

GSM	Global System for Mobile Communication
GVFG	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
GVZ	Güterverkehrszentrum
h	Stunde
HGrG	Haushaltsgrundsätzegesetz
IATBR	International Conference on Travel Behaviour Research
INVERMO	Intermodale Vernetzung (Mobilitätspanel für den Fernverkehr – Akronym eines Forschungsprojekts
ITAS	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
ITS	Intelligent Transportation Systems
KBA	Kraftfahrtbundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
Kfz/h	Kraftfahrzeuge pro Stunde
kg	Kilogramm
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
km²	Quadratkilometer
KONTIV	Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten
LEP	Landesentwicklungplan
Lfz	Lieferfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
Lz	Lastzug / Sattelzug
MiD	Mobilität in Deutschland
min	Minuten
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mobidrive	Name eines Forschungsprojekts
MOP	Deutsches Mobilitätspanel
Mrd.	Milliarde
OKSTRA	Objektkatalog für einen bundeseinheitlichen Standard von Straßen- und Verkehrsdaten
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OTA	Office of Technology Assessment
ÖV	Öffentlicher Verkehr
P+M	Parken und Mitfahren
P+R	Park and Ride
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
Pkw	Personenkraftwagen
PPP	Private Public Partnership (Öffentlich-Private-Partnerschaft)
PV	Personenverkehr
R	Radfahrer
RBL	rechnergestütztes Betriebsleitsystem
RMS	Richtlinien für die Markierung von Straßen
RP	revealed preference
Sfz	Sonderfahrzeug
SMS	Kurznachrichtendienst
SOEP	Sozioökonomisches Panel
SP	stated preference
Sp-h	Spitzenstunde
SrV	System repräsentativer Verkehrserhebungen
STOA	Scientific and Technological Options Assessment
StrG	Straßengesetz
StVG	Straßenverkehrsgesetz
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrszulassungsordnung
SV	Schwerverkehr
t	Tonnen
TA	Technikfolgenabschätzung
TAB	Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag

U-Bahn	Untergrundbahn
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie, Kommunikation
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz
VDI	Verband deutscher Ingenieure
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VFS	Verbindungsfunktionsstufe
VwVfG	Verwaltungsvereinfachungsgesetz
WV	Wirtschaftsverkehr
ZOB	Zentraler Omnibusbahnhof

Teil A
Grundlagen und Ziele der Planung

1 Planungsgrundlagen

1.1 Einführung – Historischer Abriss

Die Verkehrsplanung ist ein integraler Bestandteil der Stadtplanung. Während die gebaute Stadt ein statisches Gefüge darstellt, übernimmt der Verkehr im umfassenden Sinne (Fußgänger, Radfahrer, motorisierter Verkehr, Nachrichten) die dynamische Komponente im Zusammenleben der Menschen. Verkehr ist unmittelbarer Ausdruck der unterschiedlichen Bedürfnisse und Nutzungen und bietet die Möglichkeit einer schnellen Anpassung an sich ändernde Strukturen und Präferenzen.

Die Geschichte des Verkehrs ist eng verbunden mit der Geschichte der Stadt und bleibt bis zur industriellen Revolution eine Geschichte der Straße. Mit dem Übergang zur Sesshaftigkeit entwickelt der Mensch seinen privaten Raum, er „behaust“ sich; dennoch dominiert der öffentliche Raum. Der Platz, die Wege und die Straßen dienen den Erwachsenen und Kindern zur Kommunikation und zum Spiel, sie erschließen die Felder und ermöglichen darüber hinaus die Verbindung zwischen den Siedlungen, eine wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche und kulturelle Entwicklung, zum Austausch der Güter und Informationen. Damit sind bereits drei Funktionen der Straße definiert, die heute die Basis zur Gliederung des Straßennetzes bilden: die Straße dient dem Aufenthalt, der Erschließung und der Verbindung.

Mit der Erfindung des Rades, dessen Geschichte bis ins 4. Jahrtausend vor Christus belegt ist, erhält die Verbindungsfunktion der Straße eine noch größere Bedeutung für den Austausch von Gütern und Nachrichten. Eine zentrale Größe des Verkehrs bleibt indessen bis zur Erfindung der Eisenbahn konstant: die Geschwindigkeit, mit der sich der Mensch fortbewegt und die seinen Aktionsradius begrenzt. Die Geschichte des Verkehrswesens und ihre Bedeutung für die Stadtentwicklung bis zur industriellen Revolution ließe sich mit wenigen Sätzen charakterisieren, dennoch bleibt eine Reihe von wichtigen Einflüssen auf den Verkehr der Gegenwart, z.B. resultiert die heutige, dezentrale Verteilung der Verdichtungsräume und Oberzentren in Deutschland aus der Stärke der zahlreichen Territorialgewalten, aus der viel geschmähten Kleinstaaterei und der Schwäche der am Rande des Reiches angesiedelten Habsburger Dynastie. Erst durch den Reichdeputationshauptschluss von 1803 wird der Grundstein für ein überörtliches, regionales Straßennetz gelegt. Aus diesen neuen Strukturen leitet sich auch die Verwaltung des Straßennetzes bis zum Straßenneuregelungsgesetz des Jahres 1934 ab, die den Gemeinden, Kreisen und Provinzen anvertraut war und einer zentralen Ausrichtung des Straßennetzes widersprach.

Mit der industriellen Entwicklung beginnt eine neue Phase der Stadtentwicklung. Der Sprung in der Geschwindigkeit, die innerhalb eines Jahrhunderts auf das 10- bis 20-fache ansteigt, führt zu einer Ausweitung des Aktionsradius und damit zu einer bis zu dieser Zeit unvorstellbaren Erweiterung der Stadt, zu der die Eisenbahn in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die erste Möglichkeit liefert. Sie fördert die linienförmige Erschließung einer an Achsen orientierten Erweiterung der Stadt und entfacht damit eine bis in die Gegenwart reichende Diskussion um die zukünftige Entwicklung. Die Attraktivität der Stadt wächst, ihre mittelalterliche Enge wird gesprengt. Die ehemalige Mauer, das Bollwerk und die Planie

werden zum Boulevard, dessen Spuren in fast allen mittelalterlich bedeutenden Städten bis in die Gegenwart nachweisbar sind und in der Regel zum heutigen, den Stadtkern umschließenden Straßenring (Altstadtring, Ringstraße) führen. Das weder durch eine zielorientierte Planung noch durch gesetzliche Regelungen kontrollierte Wachstum der Stadt erzeugt eine neue Enge und lässt zahlreiche Stadtteile verelenden.

In diese Zeit fällt die Erfindung des Automobils im Jahre 1886. Zwei fundamentale Unterschiede kennzeichnen die beiden, für die heutige Mobilität relevanten Verkehrsmittel. Der erste Unterschied ergibt sich aus der Tatsache, dass bei der Eisenbahn Fahrzeug und Fahrweg eine Einheit bilden, während das Automobil keinen besonderen Fahrweg braucht, sondern sich zunächst auf jenen Straßen bewegen kann, die auch dem Fußgänger und dem Gespann als Fahrweg dienen. Der zweite Unterschied besteht in der Verfügbarkeit der Verkehrsmittel. Während die Eisenbahn, an Schienenweg und Fahrplan gebunden, nur eine mittelbare Verfügbarkeit erlaubt und vom Zu- und Abgang und der linienmäßigen Verknüpfung abhängig ist, steht beim Automobil die unmittelbare Verfügbarkeit und die flächenhafte Erschließung zunächst außer Frage. Diese beiden Merkmale gehören zu den systemimmanenten Eigenschaften des Autos, die schon in den zwanziger Jahren in den Vereinigten Staaten, dann nach dem Zweiten Weltkrieg in Europa das Wachstum der Stadt prägen und einen fortwährenden Konflikt mit der Umwelt erzeugen.

Die weitere Entwicklung der Verkehrssysteme wird ebenso wie die Stadtentwicklung gebremst durch zwei Weltkriege. Das beherrschende Verkehrsmittel zwischen diesen beiden Kriegen ist die Eisenbahn, die bereits zu Beginn des Jahrhunderts mit dem Neubau von Schnell- und U-Bahnen eine neue Entwicklung für den städtischen Verkehr einleitet, die in den zwanziger Jahren aus finanziellen Gründen stagniert. Demgegenüber wächst die Faszination des Autos, es wird zum gesellschaftlichen Leitbild und Statussymbol, mit dem sich die Großen der Zeit schmücken. Die Möglichkeiten dieses Verkehrsmittels sprengen die Grenzen der Gemeinden und Kreise, es erhebt sich die Forderung nach einem großräumigen Straßennetz, die von Hitler genutzt und mit dem Neubau der Autobahnen und dem Entwurf eines „Volkswagens“ realisiert wird. Zwei weitere Ereignisse kennzeichnen den Beginn der dreißiger Jahre: das Straßenneuregelungsgesetz und die Charta von Athen. Während das Straßenneuregelungsgesetz eine erste Hierarchisierung des Straßennetzes und damit verbunden eine Zuordnung der Baulastträgerschaft gesetzlich regelt, führt die Charta von Athen zu einem städtebaulichen Leitbild, dessen Thesen bis in die Gegenwart zu zahlreichen Diskussionen und auch zu Missverständnissen Anlass geben. So hat die Forderung nach der Trennung der Funktionen Wohnen, Arbeiten und Erholen, die sich in der Charta lediglich auf nicht verträgliche Funktionen bezieht, zu einigen Fehlplanungen nach dem Zweiten Weltkrieg geführt. Für nicht konfliktträchtige Funktionen befürworten die Thesen eindeutig eine Mischung zur Verringerung der täglichen Wege.

Mit dem Zusammenbruch der nationalsozialistischen Diktatur ist auch die materielle Zerstörung der Städte verbunden. Man kann in der Entwicklung seit 1945 eine Reihe von Phasen unterscheiden, die die Verkehrsplanung, eingebettet in die Leitbilder der Stadtplanung, kennzeichnen (Künne, 1991).

Die erste Phase – *Autophase* – umfasst den Wiederaufbau mit einer eindeutigen Priorisierung des Automobils und reicht bis zur Mitte der sechziger Jahre. Der Wiederaufbau beginnt zunächst mit der Beseitigung der Trümmer. Die im Kriege stark geschrumpften Einwohnerzahlen nehmen infolge des Rückstroms der

Evakuierten und der Heimkehrer sowie durch den Zustrom der Vertriebenen stark zu, so dass die Planung von einem weiteren, dramatischen Anstieg der Einwohnerzahlen ausgeht. Die Stadt Stuttgart z.B. erreicht im Jahre 1962 – nach nur 266.000 Einwohnern im Jahr 1945 – mit etwa 640.000 Einwohnern ihre höchste Einwohnerzahl und glaubwürdige Prognosen gehen in dieser Zeit sogar von etwa 800.000 Einwohnern aus.

Verbunden mit dieser Entwicklung setzt eine Periode des dynamischen strukturellen Wandels ein, der alle kulturellen, ökonomischen und technischen Grundlagen dieser Gesellschaft umfasst. Der wiederauflebende Städtebau sieht sein Leitbild in der gegliederten und aufgelockerten Stadt. Reichow sucht in ihr die autogerechte Stadt (Reichow, 1959) und findet in dieser Formulierung einen Begriff, der bis heute seine abschreckende Wirkung erhalten hat, obwohl er selbst diesen Begriff nicht in dem heute benutzten Sinne versteht. Die Verkehrsplaner glauben nachholen zu müssen, was in der Zeit zwischen den Weltkriegen versäumt worden war, nämlich jenes Element des Systems Straßenverkehr auszubauen, das bei der Eisenbahn a priori durch den Verbund Fahrweg-Fahrzeug gegeben ist.

Das Auto wird ab Mitte der fünfziger Jahre schneller als erwartet zum allgemeinen Mobilitätsfaktor und auch Wohlstandszeichen. Die Verkehrsplanung dieser Zeit ist eine rein nachfrageorientierte Autoverkehrsplanung. Kennzeichnend für diese Situation ist auch die heute schon vergessene Diskussion um die Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung in geschlossenen Ortschaften, die Mitte der fünfziger Jahre eingeführt und trotz heftiger Reaktionen einiger Verbände beibehalten wird. Die autogerechte Stadt findet ihren Ausdruck in den „Stadtautobahnen“ und „Stadtschnellstraßen“.

Der Wiederaufbau der Städte und der gleichzeitige wirtschaftliche Aufschwung vollziehen sich vor dem Hintergrund einer fortlaufenden Zunahme der Motorisierung, die es erlaubt, die Enge der Stadt zu sprengen. Es kündigt sich jene später folgende Stadtflucht an, die im Grunde keine Flucht ist, da die Erreichbarkeit der zentralen wirtschaftlichen und kulturellen Einrichtungen auf jene Zeiteinheiten schrumpft, die dem Bürger seit der Stadtgründung vertraut waren. Die Nachfrage steigt und macht die Notwendigkeit des Neu- und Ausbaus des Straßennetzes offensichtlich. Der Aus- und Neubau orientierte sich in der Regel an den bestehenden Straßennetzstrukturen, die bis auf die „Altstadtringe“ durch Radialstraßen geprägt sind. Schneisen werden durch die Vororte der Großstädte geschlagen und zerstören damit das Wohnumfeld zahlreicher Gemeinden. In den Generalverkehrsplänen werden derartige Straßennetze entwickelt und deren Konzeptionen durch staatliche Zuschüsse stark gefördert. Der Neu- und Ausbau des Straßennetzes fördert den weiteren strukturellen Wandel, ermöglicht die flächenhafte Erweiterung der Wohn- und Gewerbestandorte und initiiert damit einen weiteren Regelkreis, der Ursache und Wirkung aufhebt. Jede isolierte Betrachtung einzelner Ereignisse verkennt die zahlreichen Abhängigkeiten und damit die notwendige integrale Betrachtungsweise. Eine Ursache der einsetzenden Stadtflucht ist der Mangel an ausreichend großen und qualifizierten Wohnungen. Der Wunsch nach dem eigenen Heim und nach einem verbesserten Wohnumfeld wird nun realisierbar durch die mit dem Auto verbundene Mobilitätserweiterung. Die Enge der Stadt verhindert auch die Ausdehnung der Gewerbe- und Industrieflächen, die Universitäten wandern auf den Campus und der Übergang vom primären zum sekundären mit zunehmendem Trend zum tertiären Sektor führt sowohl zu neuen Arbeitsplätzen als auch zum Verlust traditioneller Arbeitsplätze, die bis zu diesem Zeitpunkt, wie im Bergbau, zu Fuß erreichbar waren.

In dieser Zeit wird der Neu- und Ausbau des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) zunächst weitgehend vernachlässigt, zumal diese Baumaßnahmen in fast allen Bundesländern von Fördermitteln ausgeschlossen sind. Da der ÖPNV in der Vor- und direkten Nachkriegszeit außergewöhnliche Transportleistungen vollbracht hatte – bei allerdings geringem Autoverkehr – glaubt man vielerorts, mit den bestehenden Streckennetzen und Verkehrsmitteln auszukommen. Dementsprechend werden die Fahrzeuge und Strecken wieder hergerichtet, teilweise aufgegeben, Straßenbahnen durch Busse ersetzt.

Mit zunehmendem Anstieg der Verkehrsbelastung wachsen auch die negativen Folgen des Autoverkehrs. Die Erhöhung der Lärmbelastung, die zunehmende Gefährdung des Wohnumfeldes, eine wachsende Zahl von Toten und Verletzten, der große Flächenanspruch und die Schadstoffemissionen offenbaren zunehmend die Mängel der bisherigen Verkehrspolitik. Die Stauungen und Zeitverluste verringern die Erreichbarkeiten und führen in Verbindung mit den genannten negativen Folgen auch zu strukturellen Mängeln. In den Kernbereichen nimmt die Einwohnerzahl ständig ab und die soziale Segregation zu. Der jüngere und dynamische Teil der Bevölkerung zieht hinaus und überlässt den Älteren, den sozial Schwachen und den Ausländern die Enge der Stadt.

Die zweite Phase, die als *Phase des Nachdenkens* bezeichnet werden kann, setzt Mitte der sechziger Jahre ein, nachdem Warnungen und Aufforderungen zur Kurskorrektur aufgekommen waren. Der deutsche Bundestag beruft 1962 die Sachverständigenkommission „Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden“, die 1964 eine integrierte Planung für alle Verkehrsmitttel, die Anerkennung der Aufgaben als Gemeinschaftsaufgabe und entsprechende Finanzhilfen des Bundes und der Länder und Gemeinden fordert (Sachverständigen-Kommission, 1965). Fast gleichzeitig und mit ähnlicher Intention erscheint in England der Bericht „Traffic In Towns“ (Buchanan, 1965) durch eine vom Stadtplaner Colin Buchanan geleitete Kommission, die die Grenzen der Motorisierung für die Stadt, das Wohnumfeld und die Bewohner aufzeigt und – bei aller Bejahung von Auto und Mobilität – neue Entwicklungen fordert. Buchanan verweist auf den Konflikt zwischen Zugänglichkeit durch das Auto, das fast jeden Punkt der Stadt erreichen kann, und die damit verbundene Belastung des Wohnumfeldes. Er fordert einen mittel- und langfristigen Weg zur Umgestaltung der Stadt durch Einteilung in Environmentzonen. Es ist bezeichnend, dass in der deutschen Übersetzung des Berichtes dieser Begriff nicht übersetzt wird. Das Wort Umwelt ist nach Ansicht der Übersetzer kein adäquates Wort für environment, das mehr umfassen soll: das gesamte Wohnumfeld, das soziale Umfeld und das äußere Bild der Stadt. Buchanan geht es bei seinen Vorschlägen um die Stadt, um das Stadtbild, um urbanes Leben, weniger um die Landschaft, den Naturhaushalt oder die Ökologie, er zielt auf eine Erneuerung der Stadt, will das Auto nicht verteufeln, sondern mit diesem Verkehrsmittel leben und die Zugänglichkeit zu den Wohn- und Arbeitsstätten erhalten. In die Environmentzonen soll jedoch nur jener Verkehr einfahren können, der dort Quelle oder Ziel hat. Dies bedeutet Umfahrung und Geschwindigkeitsreduktion für die sensiblen Wohnbereiche. Es ist der Versuch, individuelle Mobilität unter Wahrung der Systemvorteile des Autos zu erhalten. Der Buchanan-Bericht wird zwar in den sechziger Jahren gelesen und zitiert, aber es werden keine praktischen Folgerungen gezogen.

In der Bundesrepublik Deutschland werden in dieser *Nachdenkphase* die Generalverkehrspläne der fünfziger und sechziger Jahre aufgegeben, 1971 tritt das Gemeindever-

kehrsfinanzierungsgesetz in Kraft, nachdem bereits 1967 Richtlinien zur Vergabe von Bundeszuwendungen in den Gemeinden eingeführt wurden. Zum ersten Mal werden dadurch ab 1967 staatliche Zuschüsse in gleicher Höhe für den Ausbau von Straßen und Anlagen des ÖPNV möglich, die einen außerordentlichen Motivations- und Investitionsschub für Nahverkehrsanlagen bringen.

Damit ist in den siebziger Jahren der Übergang zu einer neuen Phase (*Umbruchphase*) gegeben, in der die Stadtentwicklungsthese des ungebremsten zugunsten eines überschaubaren geringeren Wachstums fallen gelassen wird. Aus der Erkenntnis, dass der Autoverkehr nicht beliebig zunehmen darf, folgt nun eine Renaissance zukunftsträchtiger ÖPNV-Systeme. Neben den klassischen werden auch neue Systeme, wie ALWEG-Bahn, Kabinenbahn und Magnetschwebebahn intensiv diskutiert. Die Vorschläge von Buchanan werden in Form der Verkehrsberuhigung wieder aufgegriffen. Sie beschränken sich jedoch zunächst auf einzelne Straßen, die vom Durchgangsverkehr befreit und in denen die Geschwindigkeiten durch eine Reihe aufwendiger Maßnahmen, wie alternierendes Parken, Aufpflasterung, Möblierung in Verbindung mit Zeichen 325 StvO auf Schrittgeschwindigkeit reduziert werden sollen. Die Nachteile einer solchen Lösung werden schnell sichtbar. Der Ansatz ist für eine umfassende städtebauliche Entwicklung ungeeignet, die verschiedenen Maßnahmen sind zu kostenaufwendig für flächendeckende Erweiterungen und der ÖPNV ist in diese Lösung nicht integrierbar. Mit diesem Ansatz muss die Verkehrsberuhigung zwangsläufig scheitern. Sie erhält erst dann eine neue inhaltliche Sinnbestimmung, als sie in Annäherung an die Konzeption Buchanans zur flächenhaften Verkehrsberuhigung erweitert wird, ein erster Schritt zur Stadterneuerung, die sich aber in Anfängen verliert durch die Reduktion auf eine einfache Beschilderung ohne weitere Stadtentwicklungskonzeptionen.

Aufgrund der Kursänderungen beginnt in einer weiteren Phase (*Umfeldphase*) mit einem erheblichen Investitionsaufwand im öffentlichen Verkehr der Neu- und Ausbau der S-, U- und Stadtbahnnetze, die zum ersten Mal zu einem Anwachsen der Beförderungsfälle führen. Die Stadt aber wächst nicht mehr, sondern stagniert oder schrumpft. Die Prognosen lassen eine weitere Abnahme erwarten. So gibt es in Stuttgart Prognosen, die alternativ von einem Schwund von etwa 550.000 Einwohnern auf 330.000 bzw. 275.000 Einwohner ausgehen, deren Signifikanz jedoch schnell wieder in Frage gestellt wird. Von der Entwicklung des Ganzen richtet sich der Blick mehr auf die angemessene Entwicklung von Teilen. So werden Stadtteilkonzepte entworfen, Beruhigung und Gestaltung von Quartieren rücken in den Vordergrund. Die Verkehrsplaner nehmen die neuen Ideen auf und setzen sie in Richtlinien und Empfehlungen um, die auf eine sinnvolle Nutzung des Autos abzielen und vor allem das Wohnumfeld verbessern sollen. Dennoch ändert sich die Aufteilung zwischen dem öffentlichen und individuellen Verkehr nicht wesentlich, weil sich der strukturelle Wandel fortsetzt. Die Siedlungen und Gewerbegebiete um die Kerne der Verdichtungsräume wachsen, sie erweitern sich flächenhaft und verhindern eine linienhafte Bedienung durch den ÖPNV. Der sektorale Wandel geht weiter und man muss erkennen, dass allein aufgrund der rechtskräftigen Bebauungspläne die Siedlungsstruktur irreversibel oder nur langfristig beeinflussbar ist. Im ÖPNV, der inzwischen klare Priorität gegenüber dem Straßenbau gewonnen hat, werden vielerorts bis dahin noch sehr optimistisch entwickelte, aber nicht mehr finanzierbare Konzepte zurückgenommen oder finanziell machbar gestaltet.

Im Straßenverkehr wächst die Einsicht, dass die Verkehrsberuhigung von Quartieren

ohne geeignete Sammel- oder Umfahrungsstraßen nur bedingt möglich ist. Als Problem erweist sich die Frage, inwieweit Straßenbaumaßnahmen parallel laufende ÖPNV-Ausbauten konkurrenzieren. Die Planverfahren für ÖPNV- und Straßenbaumaßnahmen verzögern sich oft über lange Zeiträume und machen eine schnelle Abhilfe unmöglich. Wird der Plan rechtskräftig, fehlen häufig die notwendigen Finanzmittel.

In den Wohnquartieren werden zur Verkehrsberuhigung nach einer Reihe von Versuchen und einem umfangreichen Großversuch (Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Nordrhein-Westfalen, 1979) Geschwindigkeitsreduzierungen vorgenommen (flächendeckende Tempo-30-Zonen), in der Regel – wie bei der Beruhigung einzelner Straßen – durch bauliche Maßnahmen (Schwellen, Aufpflasterungen, alternierendes Parken, Engstellen usw.). Teilweise entstehen daraus die Straßen verfremdende Möblierungen, die weder den städtebaulichen Intentionen entsprechen noch einen Beitrag zur Lärm- und Schadstoffreduktion liefern.

Ab Mitte der achtziger Jahre ist eine fünfte Phase erkennbar, die als Phase eines *Wertewandels* bezeichnet werden kann. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ wird mit der Aufgabe betraut, die Auswirkungen eines weiteren Verkehrszuwachses zu untersuchen. Die dort erarbeiteten Szenarien (Enquete-Kommission, 1990) zeigen auf, dass auf der Basis 1987 auch bei weitreichenden restriktiven Maßnahmen eine Abnahme der Kohlendioxidemissionen von 25% für das Jahr 2005, wie sie von der Kommission gefordert wird, nicht zu erzielen ist.

Trotz aller Bemühungen in den genannten letzten Phasen seit 1970 ist es bis heute nicht gelungen, das Problem Stadt und Verkehr angemessen zu lösen. Neben teilweise untauglichen Planungsansätzen und meist fehlenden Erkenntnissen über die tatsächliche Verkehrsentwicklung ist die häufig wechselnde verkehrs- und kommunalpolitische Bewertung – oft auch vor dem Hintergrund, möglichst schnelle Erfolge innerhalb einer Wahlperiode zu erzielen – ein nicht ganz unwesentlicher Grund für diese Entwicklung. Weitere wesentliche Gründe liegen in der Fehleinschätzung des Verkehrsverhaltens und seiner Beeinflussungsmöglichkeiten sowie hinsichtlich der zahlreichen Reaktionsweisen des Einzelnen auf die verschiedenen vorgeschlagenen oder eingeführten Maßnahmen. Die Diskussion um die tatsächlichen Verhaltensweisen selbst bei Änderung der Wertevorstellungen reißt nicht ab. Obwohl durch Befragungen bekannt ist, dass die negativen Folgen des motorisierten Individualverkehrs dem Einzelnen durchaus bewusst sind, klafft zwischen Erkenntnis, Wertvorstellungen und Verhalten eine bisher nicht zu schließende Lücke. Neben der Forderung nach Einschränkung des Autoverkehrs steht die Selbstverständlichkeit, das nunmehr fast in jedem Haushalt vorhandene Auto zu nutzen.

Der Versuch, durch eine gezielte Öffentlichkeitsarbeit einen entsprechenden Wandel in dieser Nutzung zu erreichen, stößt zunehmend an Grenzen. „Public awareness“, d.h. Schaffung eines öffentlichen Bewusstseins ist zwar ein beliebtes Schlagwort, kann aber kaum zum Erfolg führen, da die entsprechenden Instrumente und Maßnahmen fehlen. So hat selbst die teilweise starke Erhöhung der Mineralölsteuer nur einen geringen Einfluss auf die Nutzung, da offensichtlich wegen der geringen Preiselastizität zwischen Benzinpreis und Fahrleistung aufgrund des hohen Festkostenanteils beim Automobil keine dämpfende Wirkung erzielbar ist. Der immer noch zunehmende Motorisierungsgrad verbunden mit dem Trend zu größeren Fahrzeugen und die weitere Zunahme der Verkehrsdichte auf den Straßen selbst in Stadtgebieten verschlechtert

die Lage in den städtischen Räumen durch die Gefährdung des Lebens und durch erhöhte Lärm- und Schadstoffbelastung. Die Hoffnung, durch Vermeiden und Verlagern die Probleme lösen zu können, erweisen sich als nicht zielführend. Ob die hohen Subventionen des ÖPNV im bisherigen Umfang aufrechterhalten werden können, muss bei abnehmenden öffentlichen Mitteln bezweifelt werden. Dennoch bleibt das öffentliche Verkehrsmittel insbesondere in den Großstädten Rückgrat des Stadtverkehrs und wird durch entsprechende Maßnahmen (z.B. Priorisierung an Knotenpunkten, Verbesserung der Zugänglichkeit) gefördert. Geht man aber von der realistischen Annahme aus, dass die Gesellschaft auch in Zukunft das Auto nutzen will, so müssen die mit diesem Verkehrsmittel verbundenen negativen Wirkungen nachhaltig verringert werden. Diese Haltung hat in den letzten Jahren zu einem Zustand geführt, den man als Phase eines relativ ideologiefreien, pragmatischen öffentlichen Bewusstseins bezeichnen kann, indem eine stärkere Integration in der koordinierenden Abstimmung verschiedener Planungsträger (Stadtplanung, Städtebau, Regionalplanung, kommunale und staatliche Planung) und eine noch wirksamere Abstimmung zwischen den verschiedenen Entscheidungsebenen der Planung (Planer, Kommunalpolitiker, Bürger) gefordert und erfreulicherweise zum Teil auch schon geübt wird.

1.2 Planung und Planungsablauf

Die Verkehrsplanung setzt die Kenntnis einer Vielzahl von Größen voraus, von denen die Mobilität, allgemein im Sinne von Ortsveränderungen, quantitativ definiert als Verkehrsaufkommen (Zahl der Wege, Fahrten oder Tonnen je Zeiteinheit) bzw. als Verkehrsleistung (Wege-, Fahrten- oder Tonnenkilometer und Nachrichten je Zeiteinheit) als zentrale Größe anzusehen ist. Für eine zielorientierte Verkehrsplanung reicht diese vereinfachte Definition nicht aus, sie bedarf der Erweiterung in mehrfacher Hinsicht. Die erste Erweiterung bezieht sich auf die dienende Funktion der Mobilität, sie dient einem Zweck. Der Mensch geht oder fährt, um zu arbeiten, sich zu erholen, einzukaufen usw. Dieser Mobilitätszweck ist verbunden mit einem räumlichen Ziel. Mobilität ist keine skalare, sondern eine vektorielle Größe. Sie umfasst Quelle und Ziel, ist mit dem Ziel einer Handlung verknüpft und liefert damit wesentliche Faktoren für die Entscheidung über die Wahl eines Verkehrsmittels. Erst aus dessen Verfügbarkeit (unter Umständen auch mehrerer unterschiedlicher Verkehrsmittel) von der Quelle bis zum Ziel lassen sich Aussagen über seine Nutzung ableiten. Die dritte Erweiterung bezieht sich auf die Geschwindigkeit, mit der das Ziel erreicht werden kann. Die mit der Mobilität verbundenen Folgen oder Wirkungen – z.B. Zeitaufwand, Energieverbrauch, Lärm- und Schadstoffemissionen – lassen sich nur über die Geschwindigkeit ermitteln. Die vierte Erweiterung umfasst schließlich die zeitliche Verfügbarkeit eines Verkehrsmittels und macht damit die Mobilität zu einem komplexen Vorgang im Raum, beginnend an der Wohnung, über die Nutzung der unterschiedlichen Verkehrsmittel, zahlreiche Aktivitäten an verschiedenen Zielen bis zur Rückkehr zur Wohnung. Mobilität erfordert daher sowohl ein aus den unterschiedlichen Anforderungen ableitbares Verkehrsmittel als auch eine umfassende Verkehrsinfrastruktur in Form von Fußgänger-, Radfahr-, Straßen- und Schienennetzen.

Der Neu- und Ausbau eines verkehrsinfrastrukturellen Angebots erlaubt vice versa neue Möglichkeiten von Nutzungen. Neue Verkehrswege und/oder ein erweitertes Ange-

bot von Verkehrsmitteln führen zu neuen Nutzungen im Raum. In diesem komplexen rückgekoppelten Prozess versucht die Planung, durch eine systematische Ordnung mit alternativen Konzepten einzugreifen, aus dem Erfahrungsraum der Vergangenheit den Erwartungshorizont zu gestalten. Dass dies nicht oder nur in begrenztem Umfang gelingen kann, beweist die tägliche Erfahrung. Das räumliche und zeitliche Aneinanderreihen von aus der Planung resultierenden Einzelentscheidungen erweitert den Erfahrungs- und Handlungsspielraum und verändert damit zwangsläufig den für neue Gestaltungen freigelegten Erwartungshorizont. Mit diesen wenigen Bemerkungen stellt sich die Frage nach der Bedeutung und Wirkung der Planung. Nach Lübbe (Lübbe, 1990) lassen sich zwar „Geschichtliche Lagen ... nicht als das Resultat unseres täglichen Willens zu ihrer Hervorbringung begreiflich machen“, und „Historische Lagen lassen sich nicht handlungssinnanalog verstehen“, dennoch darf diese Aussage nicht im Sinne einer Negation von Planung verstanden werden. Im Gegenteil, jede historische Lage zwingt zu neuen Entscheidungen und damit zur Planung als Entscheidungsgrundlage. Abgesehen davon, dass eine Perpetuierung des derzeitigen Zustandes nicht sinnvoll sein kann, sie ist auch nicht möglich. Die genannte Dynamik des gesellschaftlichen Wandels mit der permanenten Möglichkeit auch einer Verschlechterung bedeutet eine fortwährende Herausforderung zum zielorientierten Handeln. So läuft nach Lübbe der Zivilisationsprozess über Handlungen, die „individuell oder institutionell trivialerweise der mit Abstand wichtigste zivilisationsrevolutionäre Faktor (sind)“ (Lübbe, 1990). Planung wird zur notwendigen, aber nicht hinreichenden Voraussetzung zur Gestaltung des zukünftigen Lebensraumes.

Jeder Verkehrsplanung systemimmanent ist, neben dem durch die Planungsrealisation erweiterten Erfahrungsraum, ein Konflikt, der durch die Reaktionsweisen der Menschen auf die Planung erzeugt wird. Auf der einen Seite muss die Planung versuchen, die Verhaltensweisen der Menschen im Sinne der Zielsetzungen zu beeinflussen. Diese Einflussnahme ist gerade im Verkehrswesen jenseits aller ideologiebestimmten Einseitigkeit an vielen Beispielen darstellbar. Andererseits muss sich die Planung den Verhaltensweisen anpassen, wenn Fehlinvestitionen vermieden werden sollen. Denn die Reaktionsweisen des Einzelnen sind mannigfaltig, wie in der Definition der Mobilität bereits angedeutet wurde. Der Mensch kann nach Realisation der Planungsmaßnahmen reagieren durch Änderung oder Wahl

- der für seine Mobilität günstigeren Wohnung,
- des Verkehrsmittels (Modal-Split-Änderung)
- seines Zieles (fahrtzweckspezifische Zielorientierung z.B. durch Änderung seines Arbeitsplatzes oder Einkaufsortes)
- des Fahrzeugs (z.B. beim motorisierten Individualverkehr durch höhere Motorleistung bei geringen Kraftstoffpreisen)
- der Fahrweise (z.B. durch eine verbrauchsarme Fahrweise bei hohen Kraftstoffpreisen)

Die Fülle und gegenseitigen Abhängigkeiten dieser nur in Ansätzen dargestellten Einzelentscheidungen und die Sensitivität gegenüber Maßnahmen erschweren die Prognostizierbarkeit der mit den Konzepten verbundenen Verhaltensweisen und Wirkungen und damit gleichzeitig die im politischen Raum anstehenden Entscheidungen.

Dennoch besteht die Notwendigkeit, durch eine möglichst umfassende Planung im Sinne eines Entwurfs zukünftige Zustände zu antizipieren, an denen sich die für die Zukunft Verantwortlichen in ihren Entscheidungen orientieren können. Planung ist nach Luhmann (Luhmann, 1971) „eine Entscheidung über Entscheidungen“.

Zum Planungsbegriff entstand in den letzten Jahrzehnten eine Fülle von Beiträgen, deren Darstellung und kritische Analyse ein weiteres Buch gewidmet werden könnte. In dem hier diskutierten Zusammenhang soll der (vereinfachte) Rückgriff auf die Leitfäden, Hinweise und Kommissionsberichte (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2001a, 1996, 2001b, 1992) benutzt werden, um den Planungsbegriff und den Planungsprozess zu erläutern.

Der Planungsprozess, wie er im Leitfaden für Verkehrsplanungen (FGSV, 2001a) dargestellt wird (Abb.1.1), umfasst die Phasen
– Vororientierung
– Problemanalyse
– Maßnahmenuntersuchung
– Abwägung und Entscheidung
– Umsetzung und Wirkungskontrolle,
die keine in sich abgeschlossenen Elemente enthalten und durch vielfache Rückkoppelungen gekennzeichnet sind. Auch nach der Entscheidung kann Planung nicht als abgeschlossen gelten, sie bedarf – sofern rechtlich zulässig – fortlaufender Korrekturen, auf jeden Fall der Kontrolle der Wirkungen während und nach Realisation der Maßnahmen.

Die im Leitfaden vorangestellte Vororientierung dient der Information der Verwaltung, der beschlussfassenden Gremien, aber auch der betroffenen und interessierten Gruppen. Im Sinne der Rückkoppelung gewinnt der Planer schon hier neue Erkenntnisse über planungsrelevante Gegebenheiten, über Wünsche, Hoffnungen und zu erwartende Widerstände.

Die Problemanalyse umfasst die Elemente:
– Analyse des Zustandes
– Erarbeitung eines Zielkonzeptes,
– Feststellen von Mängeln und Chancen.
Die Reihenfolge ist keineswegs eindeutig, wie sich aus den mehrfachen Rückkopplungspfeilen erkennen lässt. Die heutigen Planungen beginnen in der Regel mit der Darstellung von Zielen. Hier besteht weitgehende Übereinstimmung bei den Planern darüber, dass jeder Planung Ziele unterstellt werden. Eine begründete Reihung oder Auswahl der im Rahmen einer Planung erarbeiteten Alternativen ist nur möglich, wenn sich diese Auswahl an den mit der Realisation verbundenen Folgen oder Wirkungen orientiert. Diese teleologische Ausrichtung menschlichen Handelns (Spaemann /Löw, 1981) ist unumstritten und wird von fast allen Planern unmittelbar oder mittelbar unterstellt.

Die dargestellte Vorgehensweise reduziert einerseits keineswegs die Relevanz der Wertvorstellungen, überbewertet andererseits jedoch nicht diesen Planungsschritt, zumal im Verlauf der Planung weit größere Unsicherheiten auftreten. Das komplexe Wirkungsgefüge einer Entscheidung umfasst eine Fülle prognostischer Annahmen, denen gegenüber die Vorgabe eines Wertekatalogs weniger große Bedeutung besitzt. Grundsätzlich anzustreben ist jedoch, dass der Katalog möglichst umfassend sein sollte, da nur die aus den Zielen abgeleiteten Wirkungen untersucht werden. Auch das einfache Argument der Verkehrsplaner, Wert- und Mengengerüst sorgfältig zu trennen, sollte im Planungsprozess sorgfältig beachtet werden.

Eine wesentlich größere Gefahr ergibt sich bei der Aufstellung des Zielkatalogs durch die Verwechslung von Zielen einerseits und Mitteln, Strategien und Maßnahmen andererseits. Häufig wird bereits als Ziel formuliert, was zunächst als Mittel oder Strategie zur Erreichung von Wertvorstellungen dienen soll. Diese insbesondere im politischen Raum (z.T. unbeabsichtigt geübte) Verwechslung kann für den Planer insofern mit einer gravierenden Vorgabe verbunden sein, weil sie Sach- und Wertaussage in unzulässiger Weise miteinander vermengt. Ebenso unsinnig wie die Zielvorgabe, einen bestimmten Verkehrsweg auszubauen und damit das Ergebnis vorwegzu-

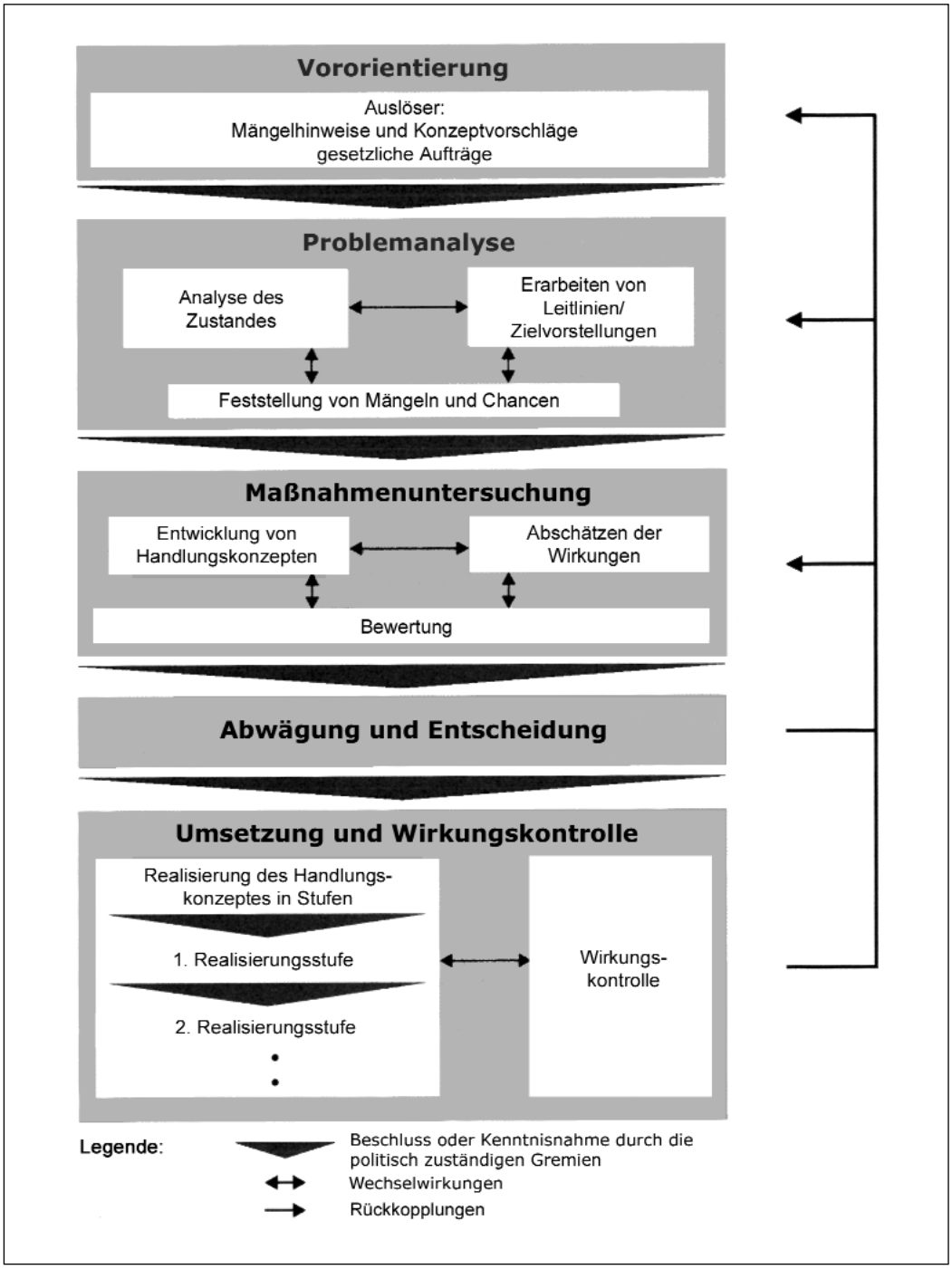


Abb.1.1 Prozess der Verkehrsplanung. (FGSV, 2001a)

nehmen, ist die Zielforderung nach Reduktion des Autoverkehrs, sie kann höchstens als Strategie eingesetzt werden, um die im Zielkatalog definierten Wertvorstellungen mit einem entsprechenden Konzept zu erreichen. Erst im Rahmen einer umfassenden Wirkungsanalyse lässt sich dann aufzeigen, ob mit einer bestimmten Strategie Wertvorstellungen realisiert werden können.

Eine wertorientierte Planung unterscheidet sich von einer leitbildorientierten Planung zunächst durch ihre weitgehend ideologiefreie Gewichtung des Wertekatalogs und ihre Operationalisierbarkeit. Jedes Leitbild verkürzt zwangsläufig den Zielkatalog. Der Wandel in den städtebaulichen Leitbildern nach dem Zweiten Weltkrieg ist kein Beweis für die Richtigkeit dieser These, da auch die verkehrspolitischen Zielsetzungen einem großen Wandel unterzogen waren. Die Leitbilder reichen von der gegliederten, aufgelockerten Stadt über die autogerechte Stadt bis zum heutigen ökologisch orientierten Leitbild bzw. zur kompakten und durchmischten Stadt. Mit diesen Fragen befasst sich Jessen intensiv in seinem Beitrag (siehe Kap. A 3.1). Der Wechsel enthüllt den modischen Trend, der mit der Formulierung von Leitbildern verbunden ist. Es drohen Gefahren von Leitbildern immer dann, wenn sie

- gesellschaftliche Wertvorstellungen ignorieren oder einseitig gewichten,
- vorhandene Mängel nicht erkennen lassen,
- Verhaltensweisen, die nicht in das Leitbild einzuordnen sind, außer Acht lassen oder
- Leerformeln ohne Operationalisierungsmöglichkeiten darstellen.

Streich (1988) hat in einer umfangreichen Arbeit die mit städtebaulichen Leitbildern verbundene Problematik aufgezeigt.

Im Rahmen der Problemanalyse gewinnt die Analyse des Zustandes eine besondere Bedeutung. Jede Planung setzt Informationen über die bisherige Entwicklung und den derzeitigen Zustand der wesentlichen, die Mobilität bestimmenden Ursachen voraus. Während eine Planung an einer mangelhaften Datenbasis scheitern kann, machen „Daten allein noch keine Planung“ (Rommel, 1983), sie sind eine notwendige, aber keine hinreichende Voraussetzung für eine an quantitativen Grundlagen orientierte Verkehrsplanung.

Der vektorielle Charakter der Mobilität erfordert eine räumliche Zuordnung der Wege und Fahrten im Hinblick auf Quelle und Ziel. Verkehrsarten wie Durchgangs-, Quell-, Ziel- und Binnenverkehr können erst dann definiert werden, wenn der räumliche Bezug hergestellt wird. Wegen der zahlreichen räumlichen Verflechtungen reicht die Wirkung von Maßnahmen in der Regel weit über deren unmittelbare Umgebung, so dass der Planungsraum, für den ein Konzept erarbeitet werden soll, erweitert werden muss. Dieser Ergänzungsraum wird als Untersuchungsraum bezeichnet und umfasst den Wirkungsbereich der vorgeschlagenen Maßnahmen. Die Einteilung der genannten Räume geht von pragmatischen Gesichtspunkten aus, bei denen die statistische Verfügbarkeit der Daten eine entscheidende Rolle spielt.

Der zeitliche Bezug umfasst zwei Aspekte, die zeitliche Zuordnung der Mobilität und den Planungshorizont. Die zeitliche Zuordnung der Mobilität muss problembezogen vorgenommen werden. Sie erstreckt sich im Rahmen der Stadtverkehrsplanung in der Regel auf den werktäglichen Normalverkehr, kann aber z.B. bei Untersuchungen der Radialstraßen in den Verdichtungsräumen auch auf den sonntäglichen Ausflugsverkehr ausgedehnt werden. Der Planungshorizont ist ebenfalls von der Aufgabenstellung abhängig, er kann bei betrieblichen Maßnahmen wenige Jahre umfassen und für bauliche Maßnahmen auf 20 bis 25 Jahre ausgedehnt werden.

Eine wesentliche Aufgabe im Rahmen der Zustandsanalyse stellt sich in der Ableitung

von Zusammenhängen zwischen der Verkehrsnachfrage und ihren kausal darstellbaren Determinanten. Diese Analyse der Zusammenhänge nach Wahl der planungsadäquaten Modellvorstellungen gehört zu den notwendigen Voraussetzungen einer an quantitativen Maßstäben orientierten Planung. Dass diese nach statistischen Methoden abgeleiteten Zusammenhänge rein formale Beziehungen darstellen und ihre kausale Interpretation mit zu den schwierigsten Aufgaben der Verkehrsplanung gehören, sei hier nicht nur am Rande erwähnt. Die Kalibrierung der Modellvorstellungen findet ihre Grenzen dort, wo die oben beschriebenen Reaktionsweisen auf bisher nicht verwendete Maßnahmen analysiert werden müssen. Die prognostischen Aussagen sollten im Rahmen von Szenarien auf ihre Stabilität gegenüber den in der Regel alternativen Maßnahmen überprüft werden.

Die Zustandsanalyse umfasst nicht nur die für die Modellbildung wichtigen Erhebungen der Verkehrsnachfrage, sie zielt auch auf die Darstellung der wesentlichen Wirkungen des heutigen Verkehrs sowie deren bisherige Entwicklung. Die Wirkungen oder Folgen leiten sich aus den maßgebenden Zielsetzungen ab und bilden damit auch die Grundlagen für die Mängelanalyse. „Mängel sind Diskrepanzen zwischen Soll- und Ist-Zuständen“ (FGSV 2001a, 1996, 2001b, 1992) und setzen daher ein Anspruchsniveau voraus. Da die Ansprüche, sofern sie nicht durch gesetzlich festgelegt Grenzwerte definiert sind, einer großen Variationsbreite unterliegen und darüber hinaus nicht zeitinvariant sind, sollte im Rahmen der Mängelanalyse die Problematik von Anspruch und Aufwand zur Mängelbehebung angesprochen werden.

Der zweite große Schritt im Rahmen des Planungsprozesses umfasst die Maßnahmenuntersuchung, die in die Elemente
– Entwicklung von Handlungskonzepten
– Abschätzung der Wirkungen und
– Bewertung
eingeteilt wird (siehe Abb. 1.1). Auch bei diesem Planungsschritt ist eine Reihe von Rückkopplungen zu beachten, die sich aus der Abhängigkeit der einzelnen Schritte ergeben.

Die Entwicklung von Maßnahmen gehört zwar zu den primären Aufgaben des Ingenieurs, bei der er seine „Kreativität, Phantasie und Erfahrung“ (FGSV 2001a, 1996, 2001b, 1992) einbringen kann. Die Maßnahmenentwicklung sollte jedoch, wie der gesamte Planungsprozess, interdisziplinär erfolgen, da Maßnahmen sich heute in der Regel nicht mehr auf bauliche und betriebliche Bereiche beschränken, sondern insbesondere bei integrierten Verkehrskonzepten ökonomische, ökologische, städtebauliche und häufig auch ordnungspolitische Einflussbereiche erfassen.

Die Planung bezieht sich teilweise auf Einzelentwürfe, deren Einbettung in die Gesamtplanung berücksichtigt werden muss, in der Regel weist sie jedoch mehrere Einzelmaßnahmen auf, die wegen der Verflechtungen nicht isoliert, sondern nur im Zusammenhang betrachtet werden können. Die Abhängigkeiten können substitutiver oder komplementärer Art sein. Bei substitutiven Abhängigkeiten ist die Wirkung der einzelnen Maßnahmen größer als die in ihrer Gesamtheit zu betrachtenden Einzelmaßnahmen. Bei komplementären Abhängigkeiten vergrößert sich die Wirkung einer Maßnahme nach Einbeziehung anderer Maßnahmen. Daraus resultiert die Notwendigkeit, im Rahmen eines Planfalles die Einzelmaßnahmen zu bündeln.

Da die Maßnahmen sich nicht unmittelbar aus den Mängeln bzw. dem Zielkonzept ableiten lassen, wird es regelmäßig eine Fülle von Maßnahmen geben, mit denen eine Lösung erzielt werden kann. Bei der Vielzahl der Zielsetzungen ist eine direkte Aussage über die Optimalität von Maßnahmen oder Planfällen nicht möglich. Die Entscheidung kann dann nur nach einer umfassenden Wirkungsanalyse

in Verbindung mit der sich anschließenden Gewichtung vorbereitet werden. Zum Vergleich der unterschiedlichen Planfälle ist es zweckmäßig, die Wirkungen auf einen Bezugsfall zu normieren. Als Bezugsfall kann die derzeitige Situation unter Einbeziehung der nicht mehr disponiblen Maßnahmen gewählt werden.

Obwohl auch die bisherigen Arbeitsschritte eine Reihe subjektiver Entscheidungen umfassen (z.B. Auswahl des Zielkatalogs), ist mit der Abschätzung der Wirkungen die eindeutig objektivierbare Phase im Planungsablauf abgeschlossen, da der nachfolgende Arbeitsschritt der Bewertung subjektive Gewichtungen der einzelnen Wirkungen für die zusammenfassende Betrachtung enthält. Auch hier ist zwar die Mitarbeit des Planers unabdingbar, er sollte sich jedoch seiner Stellung im Planungsablauf bewusst sein. Die Komplexität des Bewertungsprozesses und die mangelnde Bereitschaft oder auch Fähigkeit des Entscheidungsträgers, derartige komplexe Zusammenhänge zu durchschauen, verlangt vom Planer umso größere Zurückhaltung in der Beurteilung der Ergebnisse. Das bedeutet nicht, dass er seine eigene subjektive Bewertung nicht zum Ausdruck bringen sollte. Im Gegenteil, er ist aufgerufen und es fällt in seinen Verantwortungsbereich, seine Meinung auch zu vertreten, jedoch mit dem Hinweis, dass es sich dabei um eine persönliche, subjektive Bewertung der Wirkungen handelt. Da es eine Fülle von Bewertungsverfahren gibt, die den einzelnen Aufgaben anzupassen sind, sollte neben der komplexen Darstellung stets auch eine möglichst einfache und anschauliche Darstellung der positiven und negativen Wirkungen der einzelnen Planfälle erarbeitet werden, um den Entscheidungsprozess in den Beschlussgremien zu erleichtern.

Für die Bewertung wird im Leitfaden eine Reihe von Verfahren dargestellt (siehe Tab. 1.1), die im Sinne der vorausgehenden Argumentationskette zu interpretieren sind. Sie werden unterschieden in nicht-formalisierte, teil-formalisierte und formalisierte Verfahren. Obwohl die formalisierten Verfahren einen bereits hohen Standard erreicht haben, bleibt bei den hier in der Regel genutzten Nutzwertanalysen, Kosten-Wirksamkeits-Analysen und Kosten-Nutzen-Analysen die Frage der Substitution, d.h. der gegenseitigen Kompensation (z.B. von Sicherheits-, Lärm- oder Schadstoffwirkungen) weiterhin sehr problematisch. Auch ist die gerade von politischen Gremien häufig geforderte Einbeziehung qualitativer Wirkungen oder Argumente schwierig. Bei Vorliegen einer Vielzahl von nicht überschaubaren Einzelwirkungen besitzen die Eliminationsverfahren (FGSV, 2001a, 1996, 2001b, 1992; Fauser u. Schaechterle, Steierwald u. Thäsler, 1983) einige wertvolle Interpretationsmöglichkeiten. Sie haben den Vorteil, ohne formale Ansätze und/oder Umrechnungsverfahren in Punktwerte die zahlreichen Wirkungen für jede Maßnahme oder jedes Handlungskonzept vergleichend gegenüberzustellen. Schon während des Planungsverfahrens sollte eine enge Verbindung zum Entscheidungsträger bestehen, um ihn mit dem Planungsprozess und mit Zwischenergebnissen vertraut zu machen. Die in der Vergangenheit häufig vernachlässigte anschauliche und ästhetisch befriedigende Darstellung sollte Standard bei Planungsverfahren werden. Der beste sachlich-objektiv erarbeitete Plan nützt nichts, wenn er nicht letztlich die Zustimmung des zuständigen Gremiums findet. Oft sieht der aus dem Widerstreit der Meinungen entstehende Kompromiss wesentlich anders aus als der ursprünglich vorgeschlagene Plan. Für jeden, der sich mit Stadtverkehrsplanung befasst, ist dieser Aspekt von besonderer Bedeutung, er kann jedoch für jeden Planer auch schmerzliche Erfahrungen enthalten.

Nach der Entscheidung über die ausgewählte Planungsmaßnahme folgt in der Regel ein planungsrechtliches Verfahren, um den Plan

Tab. 1.1 Übersicht und Typisierung von Bewertungsverfahren (Auswahl). (FGSV, 2001a)

Nicht-formalisierte Verfahren	– intuitive Bewertungen – Expertenurteile/-empfehlungen – öffentliche Diskussionen – .....
Teil-formalisierte Verfahren	– einfache Vorteil-Nachteil-Darstellungen – einfache Rangordnungsverfahren – multikriterielle Wirkungsdarstellungen – multikriterielle Verträglichkeitsprüfungen – interaktive Eliminationsverfahren – formalisierte Rangordnungs- und Abwägungsverfahren – .....
Formalisierte Verfahren	– Nutzwert-Analysen – Kosten-Wirksamkeits-Analysen – Kosten-Nutzen-Analysen – .....

rechtsfähig zu gestalten. Da fast jede Planung in die Rechte Dritter (Eigentum, sonstige Rechte) eingreift, bedarf sie der Legitimation nach den jeweiligen Rechtsvorschriften (Baugesetzbuch, Fachgesetze der Verkehrswege). Hierzu sind wiederum zahlreiche Einflussgrößen zu prüfen und zu bewerten. Im planungsrechtlichen Verfahren, auf dem Wege dazu oder auch schon während des eigentlichen Planablaufes ergeben sich intensive Kontakte zur Öffentlichkeit: zu den beteiligten Trägern anderer öffentlicher Belange, zu betroffenen Bewohnern und Betrieben usw. Jede Planung erfordert daher ihre fallbezogene Öffentlichkeitsarbeit, um die Beteiligten ausreichend zu informieren und Meinungen zu erforschen.

In den letzten beiden Jahrzehnten nehmen viele von der Planung berührten oder betroffenen Bürger(innen) immer häufiger das gesetzlich verankerte Recht der Plananfechtung in Anspruch. Im Wege der Normenkontrolle (bei Bebauungsplanverfahren) oder des Verwaltungsstreitverfahrens (bei Planfeststellungen) wird nach Wegen gesucht, eine Planung zu verhindern oder wenigstens wesentlich nach der Interessenlage der Klagenden zu verändern.

Diese Entwicklung macht es für den Planer zwingend erforderlich, sich mit der Gesetzeslage so ausreichend zu befassen, dass Auswirkungen auf die Planung erkannt und bewertet werden können, ohne ständig einen Rechtsbeistand zuziehen zu müssen. Auch hier gilt: der bestkonstruierte Plan (graphisch und verbal überzeugend dargestellt) ist wenig wert, wenn er (z.B. wegen eines erkennbaren Abwägungsmangels) in der gerichtlichen Nachprüfung für nichtig erklärt wird.

Insgesamt ist Planung also ein komplexer, multivalenter Arbeits- und Entwicklungsprozess mit hohem Anspruch an die Kooperationsbereitschaft der Planer, aber auch der anderen Beteiligten. Gleichwohl ist Planung aber fast immer ein faszinierender und hochinteressanter Vorgang.

Literatur

Buchanan, C. (1965): Verkehr in Städten. Vulkan-Verlag Dr. W. Claasen, Essen

Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.) (1990): Energie und Klima. Konzeptionelle Fortentwicklung des Verkehrsbereichs. Economica Verlag, Verlag C.F. Müller, Bonn

Fauser, A.; Schaechterle, K. H.; Steierwald, G.; Thäsler, H. U. (1983): Gesamtbewertung, Straße und Autobahn 34, Heft 9, S. 393-396

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln:

– FGSV (1992): Stadt und Verkehr – die nächsten 10 Jahre, Denkschrift der Kommission Stadt und Verkehr.
– (1996): Hinweise für eine stadtverträgliche Verkehrsplanung
– (2001a): Leitfaden für Verkehrsplanungen
– (2001b): Hinweise auf Verfahren bei Verkehrsplanungen im Personenverkehr

Künne, H. D. (1991): Stadt und Verkehr – Problem ohne Ende? 29. Deutscher Verkehrsgerichtstag 1991, Deutsche Akademie für Verkehrswissenschaft.

Lübbe, H. (1990): Der Lebenssinn der Industriegesellschaft. Berlin

Luhmann, N. (1971). In: Ronge, V. u. Schmieg, G. (1971): Politische Planung in Theorie und Praxis. München

Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1979): Großversuch Verkehrsberuhigung in Wohngebieten. Kirschbaum Verlag, Bonn

Reichow, H.B. (1959): Die autogerechte Stadt. Otto Maier Verlag, Ravensburg

Rommel, M. (1983): Stadtplanung als politische Aufgabe. In: Grundriß der Stadtplanung, Hannover

Sachverständigen-Kommission (1965): Die kommunalen Verkehrsprobleme in der Bundesrepublik. Vulkan-Verlag Dr. W. Claasen, Essen

Spaemann, R. u. Löw, R. D. (1981): Die Frage wozu? München, Zürich

Streich, B. (1988): Grundzüge einer städtebaulichen Leitbildtheorie. Habilitationsschrift, Universität Bonn

Verband öffentlicher Verkehrsbetriebe (VÖV) (Hrsg.): Zeit zum Umdenken – Busse und Bahnen.

2 Integration der Verkehrs- in die Stadtplanung

2.1 Stadtstruktur und Verkehrssystem

Ein Trampelpfad, ein Karrenweg, eine Straße folgt einem Fluss, der sich auch bei schwierigem Gelände seinen natürlichen Weg sucht. Die Straße begleitet den Fluss in gebührendem Abstand, denn die Ufer des Flusses können sich beim nächsten Hochwasser verändern. Sie folgt nicht seinen Mäandern, sondern schneidet unnötige Umwege ab, denn die Straße kann im Gegensatz zum Wasser leichte Steigungen überwinden.

Eine andere Straße kreuzt den Fluss an einer Stelle, die sich dafür eignet. Der Schnittpunkt solcher Straßen ist vielfach der Ausgangspunkt städtischer Entwicklungen. Am Schnittpunkt wichtiger Handelswege bildet sich ein Markt, Privilegien werden geschützt, an einer Ochsen- oder Schweinefurt entstehen freie Reichsstädte.

In Frankfurt wurden nicht zuletzt wegen der günstigen Verkehrslage die deutschen Kaiser gekrönt. In Regensburg, gegündet durch die Römer an der Einmündung des Regens in die Donau an einer Stelle, an der eine steinerne Brücke gebaut werden konnte, tagte jahrhun-

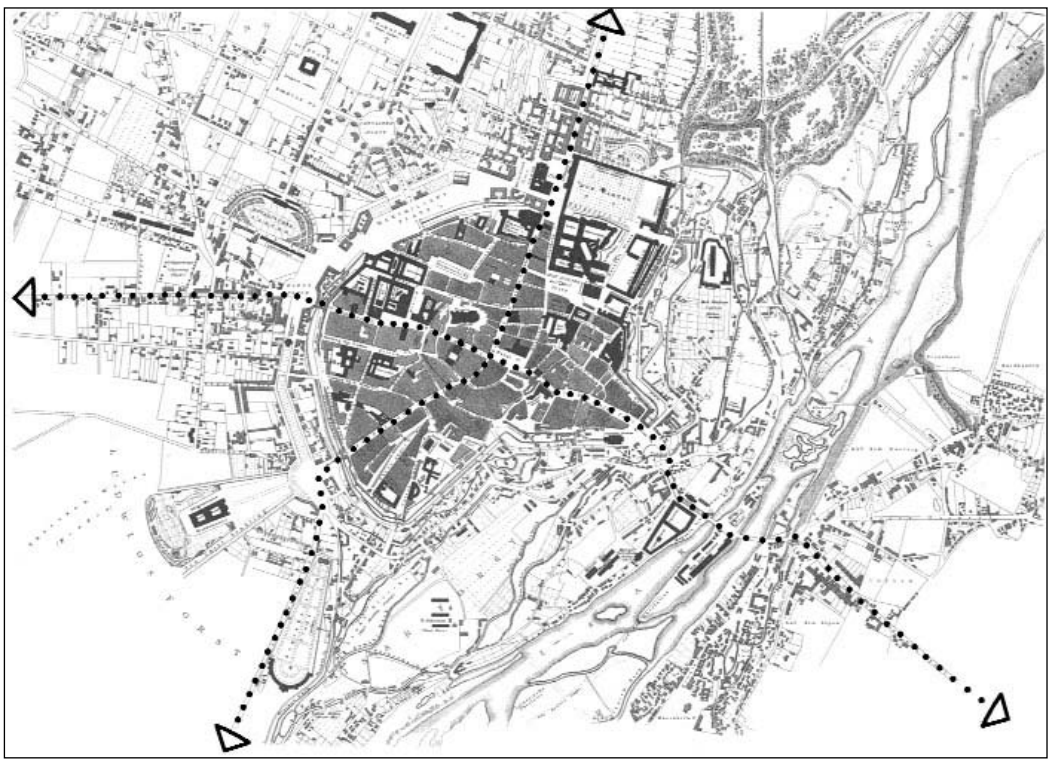


Abb. 2.1 Der mittelalterliche Stadtgrundriss Münchens blieb auch nach der Zerstörung weitgehend unverändert. (Rowe u. Koetter, o.J.)

dertelang der immer währende Reichstag. Heinrich der Löwe lässt die Isarbrücke des Bischofs von Freising abbrennen und auf seinem Gebiet neu bauen. Genau am Schnittpunkt der neuen Salzstraße, mit dem Wege parallel zur Isar vom Dorf Schwabing nach Sendling, entsteht der Marktplatz der Stadt München (Abb. 2.1). Der Marienplatz ist heute noch, wie im 12. Jahrhundert, eindeutig der Mittelpunkt dieser Stadt allen Veränderungen zum Trotz. Stadtplanung und Verkehrsplanung sind also unzertrennbar miteinander verbunden. Die Frage, was zuerst kommt, ist so müßig wie die Frage nach dem, was zuerst war, Henne oder Ei.

Historische Stadtgrundrisse werden bestimmt durch den Verlauf der Straßen, durch die am Schnittpunkt wichtiger Straßen gebildeten Plätze und durch die Ränder, meist klar begrenzt durch die Stadtmauer. Die Einzelgebäude spielen, abgesehen von wenigen dominierenden Gebäuden – Rathaus, Kirche – zumindest in der Bürgerstadt keine entscheidende Rolle. In Einzelfällen können natürlich Herrscher oder Fürsten, aber auch Patrizier eine Stadt entsprechend prägen. Aber auch in solchen Fällen ordnet sich die Mehrzahl der Einzelgebäude in der Regel unter. Die Einzelgebäude sind meist beliebig auswechselbar.

Die Kartendarstellungen von historischen Städten können sich deshalb darauf beschränken, nur wenige dominierende Gebäude herauszuheben und die Masse der Gebäude als eine anonyme Struktur darzustellen (Abb. 2.2). Bestimmend für den Grundriss sind die nicht bebauten Flächen und damit ganz entscheidend die Erschließungssysteme.

Trotz dieser abstrahierenden Darstellung vermittelt der Plan einer Stadt ein sehr anschauliches Bild und lässt zumindest die Kenner die städtebauliche Qualität des Ortes klar erfassen, ohne dass Einzelgebäude erkennbar sind.

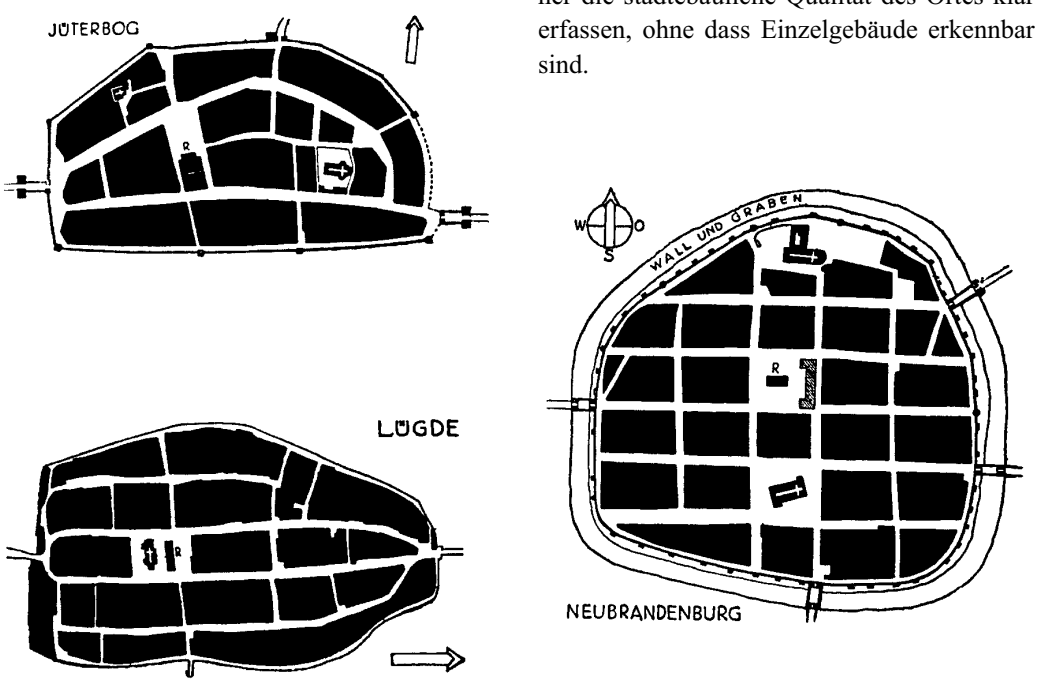


Abb. 2.2 Drei typische mittelalterliche Städte; erkennbar sind Plätze und Straßen sowie Rathaus und Kirche, die übrige Bebauung ist unwichtig.

Antike Städte, von denen kein Gebäude mehr aufrecht steht, vermitteln nur durch den Verlauf der Straßen und der Platzbegrenzungen, ablesbar an wenigen Fundamenten und Überresten von übergeordneten Gebäuden, auch heute noch ein sehr plastisches Bild von der Stadtqualität.

Somit bedeutet die Festlegung eines Straßensystems eine weit über die Lebensdauer von Gebäuden hinausgehende Bindung, die das Wohl oder das Wehe der weiteren städtebaulichen Entwicklung eines Ortes maßgeblich beeinflusst. Mit der Festlegung des Erschließungssystems wird die Bebaubarkeit eines Gebiets weitgehend bestimmt. Die Dimension eines Baublocks entscheidet über die sinnvolle Nutzung der Flächen. Durch zu groß dimensionierte Blöcke wurden die zweiten, dritten und vierten Hinterhöfe gründerzeitlicher Großstädte ermöglicht, ja förmlich provoziert. Zu enge Maschensysteme von Erschließungsstraßen verhindern ausreichende Entwicklungsmöglichkeiten zwischen den Verkehrsströmen.

Da in der Regel die Erschließungssysteme von der Öffentlichen Hand vorgehalten werden, legt die Führung von Straßen auch Eigentumsgrenzen fest. Sie schafft damit Fixierungen, die langfristige Auswirkungen haben können. Jeder, der mit dem Wiederaufbau nach dem Kriege zu tun hatte, weiß, welche Bindungen – selbst in völlig zerbombten Städten – durch Erschließungsstraßen gegeben waren. In einigen Bundesländern wurden durch Wiederaufbaugesetze die eigentumsrechtlichen Hemmungen abgebaut. In Bayern gab es kein solches Wiederaufbaugesetz, das die damals so erwünschte Flächensanierung ermöglicht hätte. Dies ist mit ein Grund, dass viele Stadtstrukturen trotz erheblicher Zerstörungen erstaunlich gut den Krieg überdauert haben.

Aber auch unabhängig von den rechtlichen Möglichkeiten der bodenordnenden Umlegungen waren die unsichtbaren Investitionen, die unter den Straßen mehr oder weniger intakt erhalten blieben, weitere Hemmnisse, sich von alten Strukturen zu lösen. Kanäle, Wasserleitungen, Kabelführungen sind im innerstädtischen Bereich direkt mit der Verkehrserschließung verknüpft. Damit übernimmt der Straßenplaner, auch wenn er nur ein sinnvolles Verkehrskonzept entwickeln möchte, eine unerhörte Verantwortung für die gesamte Entwicklung einer Stadt, die oft schwerer wiegt als die Verantwortung beim Bau eines Einzelgebäudes. Wenn heute von städtebaulichen Fehlleistungen gesprochen wird, so meint man damit oft ein einzelnes Gebäude, das an einer empfindlichen Stelle durch Maßstab, Höhenentwicklung, Materialwahl und letztlich durch seine architektonische Aussage im Widerspruch zu seiner Umgebung steht**.** Viel gravierendere städtebauliche Fehlleistungen können auf der Ebene der Verkehrsplanung passieren, auch wenn sie nicht immer so klar erkannt werden. Einzelgebäude lassen sich auswechseln. Gestalterische Urteile werden nicht selten durch die nächste Generation revidiert, strukturelle Fehler, verfehlte Verkehrskonzepte sind weit schwerer reparierbar.

Der Grundriss einer Stadt ist eine Qualität für sich. Störungen im Stadtgrundriss können schwerwiegendere Eingriffe darstellen, als sie durch ein Einzelbauwerk möglich wären. Stadträumliche Veränderungen durch Straßenerweiterungen können durch Rückbau in ganz seltenen Fällen revidiert werden. Nur durch ein Zusammenwirken von Stadt- und Verkehrsplanung können deshalb schlüssige Lösungen entstehen. Unkoordinierte Entscheidungen können verheerende Auswirkungen haben.

2.2 Abhängigkeit der Siedlungsstruktur vom Verkehrsmittel

Seit die Menschen auf zwei Beinen gehen, hat sich die Geschwindigkeit, mit der sie sich fortbewegen, nicht grundlegend verändert. Im Vergleich mit Gazellen, mit Fischen oder gar mit Vögeln bewegt sich der Mensch plump, sein Aktionsradius ist sehr eingeschränkt. Deshalb hat er schon früh versucht, diese Nachteile zu kompensieren. Bereits in biblischen Zeiten half der Esel, größere Strecken zu überwinden, um dem Menschen Lasten abzunehmen. Das Pferd trug den Reiter über weite Strecke und gab ihm Überlegenheit über andere.

Die Erfindung des Rades setzte die Reibung des geschleppten Schlittens herab und eröffnete neue Möglichkeiten, Menschen und Lasten mit geringerem Aufwand zu transportieren. Der Wagen mit gelenkter Achse, später sogar gefedert, erhöhte die Effizienz dieses Transportmittels enorm. Der Einfallsreichtum der Menschen, verbunden mit der Kraft der Tiere, ermöglichte erstaunliche Transportleistungen auf dem Lande. Mindestens gleichwertig ist die Leistung, die der Mensch auf dem Wasser vollbrachte. An treibenden Holzstämmen und Flößen lernte er, dass der Transport auf dem Wasser weniger Energie braucht als zu Lande. Mit der Fließrichtung ging es einfach, gegen den Strom musste man die Schiffe ziehen oder rudern. Der Mensch lernte, den Wind als Kraft, die allerdings nur zu bestimmten Zeiten und nur in bestimmten Richtungen zur Verfügung stand, genial zu nutzen. Mit diesen Mitteln wurde der größte Teil der Welt erforscht und zugänglich gemacht. Die Verfügbarkeit von bestimmten Verkehrsmitteln hat eine ausschlaggebende Bedeutung für die Struktur unserer Siedlungen. Nomaden und Jäger folgten auf ihren Wanderungen den Herden. Die Benutzung von Tragtieren erleichterte die Mitnahme der erforderlichen Utensilien im schwierigen Gelände. Selbst heute ist an manchen Stellen das Kamel den neuen Verkehrsmitteln überlegen.

Ackerbau führte zu Sesshaftigkeit, intensive Nutzung guter Böden ermöglichte es, die Vorteile der Dorfgemeinschaft zu nutzen, denn die zum Anbau benötigten Flächen waren so bemessen, dass sie mit vertretbarem Aufwand an Zeit und Kraft auch von einer größeren Siedlung erreichbar waren. Nur bei kargen Böden waren so große Flächen erforderlich, dass eine gestreute Siedlung direkt bei oder mitten in den großen, zu bearbeitenden Flächen nötig wurde. Das Leben in Dörfern ermöglichte Arbeitsteiligkeit, besondere Fähigkeiten konnten sich entwickeln, der Austausch von Waren gegen Rohprodukte war in aller Interesse. Im Dorf und auch in der kleinen Stadt mit ihren Ackerbürgern und Handwerkern konnte dieser Austausch unmittelbar erfolgen. Je differenzierter das Angebot, je spezieller die Wünsche, umso mehr entfernten sich Erzeuger vom Verbraucher, zwischen denen der Handel als Vermittler auftrat. Die Salzstraße, die Seidenstraße oder die Weihrauchstraße zeugen von der weltumspannenden Dimension solcher Handelsbeziehungen schon in der Antike.

Im Dorf oder in der kleinen Stadt gab es kaum Kommunikationsprobleme. Die Entfernungen waren so gering, dass das Tempo des Fußgängers ausreichte, um alle Verbindungen in einer vertretbaren Zeit herzustellen. Nur der Weg vom Haus zum Feld setzte Grenzen. Die Handwerker hatten alles unter einem Dach, Wohnung für die Familie und die Beschäftigten, die Produktion und oft auch den Verkauf der Erzeugnisse.

An den Schnittpunkten wichtiger Verkehrsverbindungen entstanden Märkte, die sich dann nicht selten zu größeren Städten entwickelten. Hier spielten sowohl die günstige

Lage zu den Fernverkehrsnetzen als auch die Möglichkeit der Verteidigung dieser Verbindungen eine entscheidende Rolle.

Trotz der Bedeutung vieler Städte war ihre Fläche, gemessen an heutigen Stadtdimensionen, meist bescheiden. Selbst die wichtigsten mittelalterlichen Städte hatten kaum einen Durchmesser von mehr als 1-2 km innerhalb ihrer Mauern. In München beträgt die Länge der zwei senkrecht zueinander liegenden Hauptachsen nur je 1,2 km. Der Weg von der Innenstadt vor die Tore der Stadt war also zu Fuß ohne größere Probleme zu bewältigen.

Es gab nur ganz wenige Städte, die diese Dimensionen wesentlich übersprangen. Das antike Rom fasste innerhalb der aurelischen Mauern ein Gebiet von ca. 1300 ha mit einer Ausdehnung von max. 5 x 5 = 25 km^2. Damit war das Stadtgebiet für einen Fußgänger immer noch durchschreitbar, wenn auch viele Menschen ihre Quartiere in ihrem Leben kaum verließen. Das barocke Rom führt in seiner Blütezeit nur einen Bruchteil der antiken Fläche.

Die mehrtausendjährige Geschichte der Besiedlung unserer Erde verlief, von wenigen Ausnahmen abgesehen, innerhalb relativ enger Grenzen. Die Mehrzahl der Menschen lebte auf dem flachen Lande und bemühte sich, das tägliche Brot zu erwerben. Die Städte, meist durch Mauern eingeengt, wurden durch Kriege, durch Hunger und Seuchen immer wieder reduziert. Die Einwohnerzahlen waren zwar oft drastischen Schwankungen unterworfen, die Gesamtentwicklung blieb aber einigermaßen stabil. Das änderte sich erst Mitte des 19. Jahrhunderts. Die einsetzende Industrialisierung, insbesondere in Europa und in den USA, schuf völlig neue Voraussetzungen. Entscheidend für die Städte war die Entwicklung der Eisenbahn. Die Postkutsche und die Pferdebahn wurden abgelöst durch das neue Verkehrsmittel, das die Reisegeschwindigkeit erheblich erhöhte. Damit schrumpften plötzlich die Entfernungen mit enormen Auswirkungen auf die Siedlungsstruktur. In der vorindustriellen Zeit war es kaum möglich, Wohnen und Arbeiten in größere Distanzen zu trennen. Kurze Entfernungen von der Wohnung zum Arbeitsplatz waren Voraussetzung dafür, dass bei einem 12-14-stündigen Arbeitstag nicht auch noch ein größerer Teil der Kraft und Zeit in die Wege von und zur Arbeit investiert werden musste. Nun wurde es möglich, eine Wohnung abseits des Arbeitsplatzes zu suchen und mit der Vorortbahn oder der sich rasch entwickelnden elektrischen Straßenbahn Zeit und Kraft sparend und mit noch vertretbaren Kosten ein Vielfaches der Strecke, die früher zumutbar war, zurückzulegen.

Diese Entwicklung ging parallel mit der Entfestigung der Städte. Die Stadtmauern hatten mit den neuen Waffen ihren Sinn verloren, die Städte konnten sich ausdehnen; sie mussten sich ausdehnen, denn plötzlich strömten die Menschen in Scharen vom flachen Land in die Städte. Verbesserte Hygiene und sinkende Kindersterblichkeit vergrößerten die Lebenserwartung der Menschen in Stadt und Land. Neue Anbaumethoden und neue landwirtschaftliche Geräte machten es möglich, dass weniger Menschen für die Deckung des Nahrungsbedarfs benötigt wurden. Die Industrie dagegen brauchte Arbeiter. Die Standorte für die industrielle Entwicklung waren die Städte.

Die Stadtmauern fielen oder wurden überbaut. In günstigen Situationen wurden die früher freigehaltenen Flächen als Elemente einer neuen Grünstruktur am Altstadtrand erhalten. Daneben entstanden die Wohngebiete der Arbeiter, in den Großstädten dicht bebaut, mit Straßenbahnen manchmal gut erschlossen, trotzdem oft in bedrängender Nähe zu industriellen Einrichtungen. Diejenigen, die es sich leisten konnten, zogen weiter hinaus. Die Vorortbahnen boten vor allem denen die nötigen Verbindungen, die ihre Zeit etwas freier einteilen konnten. An den Haltestellen der Bahnen

entwickelten sich Villenvororte. Die Stadtflächen dehnten sich aus, konzentrierten sich zwangsläufig an den Haltepunkten der Bahnlinien. In den Zwischenräumen entwickelten sich meist ohne bewusste Planung Freiräume. Die Straßenbahnen erfüllten in den meisten Städten ihre Aufgabe, nur in den Weltstädten gab es Konflikte. Die Straßen waren überfüllt mit anderen Fahrzeugen, so dass ein Ausweichen in den Untergrund oder in eine 2. Ebene über der Straße als einziger Ausweg blieb, selbst als die Lokomotiven wie in London noch mit Kohle beheizt werden mussten. Es ist verständlich, dass jeder, dem es möglich war, als Alternative die Pferdedroschke vorzog, was auch damals schon zu einer heillosen Verwirrung führte. Zeitgenossen beschreiben die Unzulänglichkeiten des Verkehrs in London mit einer Unzahl von Pferdedroschken, dem Mist und Gestank und dem Risiko durch scheu gewordene Pferde.

Dies änderte sich mit der Erfindung durch Gottlieb Daimler, der 1886 auf die Idee kam, die Pferdekutsche durch eine Motorkutsche zu ersetzen. Daimler ahnte nicht, welche Lawine er losgetreten hatte. Zum Durchbruch kam seine Idee in den USA. Henry Ford erkannte die gerade für die Weiten seines Landes so bedeutsamen Möglichkeiten des Automobils und erfand die Methode, dieses Fahrzeug in großen Stückzahlen und damit zu vertretbarem Preis zu bauen. Es gibt wohl keine Erfindung, die die Menschen seit der Erfindung des Feuers mehr fasziniert hat als das „Automobil“. Freiheit durch Mobilität ist eine Verheißung, an die jene am meisten glauben, die nicht im Besitz dieses Zauberwerks sind. Die Auswirkungen auf die Siedlungsstruktur, auf das ganze Leben sind enorm. Der Schritt zur Vollmotorisierung begann in den USA schon vor dem Ersten Weltkrieg. In erstaunlich kurzer Zeit stieg die Zahl der Automobile enorm an. Eine vergleichbare Zunahme trat in der Bundesrepublik Deutschland mit einem Zeitverzug von etwa 40 Jahren ein. Plötzlich waren für viele Gebiete erreichbar, die vorher nicht zur Disposition standen. Die Reisegeschwindigkeiten gegenüber dem Fußgänger und dem Pferdefuhrwerk haben sich vervielfacht mit der Folge, dass die erreichbaren Gebiete im gleichen Maße stark wuchsen. Damit standen Räume für die Besiedlung zur Verfügung, die vorher ausgeschlossen waren. Die schier unbegrenzt erscheinenden Weiten des Landes machten Siedlungskonzepte realisierbar, wie sie Frank Lloyd Wright (1932) in seiner „Broadacre City“ beschrieben hat – jeder in großer Distanz zum Nachbarn, verbunden durch das jederzeit zur Verfügung stehende Automobil. In Europa ging diese Entwicklung langsamer voran. Bis zu Beginn des Zweiten Weltkriegs nahm zwar die Zahl der Autos ständig zu. Der Personenkraftwagen war aber kein Verkehrsmittel für die breite Masse. Der schienengebundene Massenverkehr, Eisenbahnen, Straßenbahnen, U- und S-Bahnen in wenigen großen Städten bewältigten die Hauptverkehrslast. Die Siedlungsdichte ermöglichte in den meisten Städten einen wirtschaftlich vertretbaren Betrieb, nur für dünn besiedelte Gebiete oder als Ergänzung von schnellen Verkehrssystemen in Weltstädten wurden Omnibusse eingesetzt.

Die Reisegeschwindigkeit der innerstädtischen Verkehrslinien reichte aus, um die in ihrer Flächenausdehnung meist überschaubaren Siedlungsbereiche zu erschließen. Aber allenthalben dachte man auch in Europa an das Auto als Massenverkehrsmittel. Die Konstruktion des Volkswagens, sicher nicht ohne militärische Nebenabsichten, war ein Schritt in diese Richtung, aber auch in anderen Ländern arbeitete man an kleinen und damit preiswerten, für die breite Masse erschwinglichen Autos.

Diese Entwicklung wurde durch den Zweiten Weltkrieg unterbrochen. Das Auto hatte auch unter schrecklichen Bedingungen seine

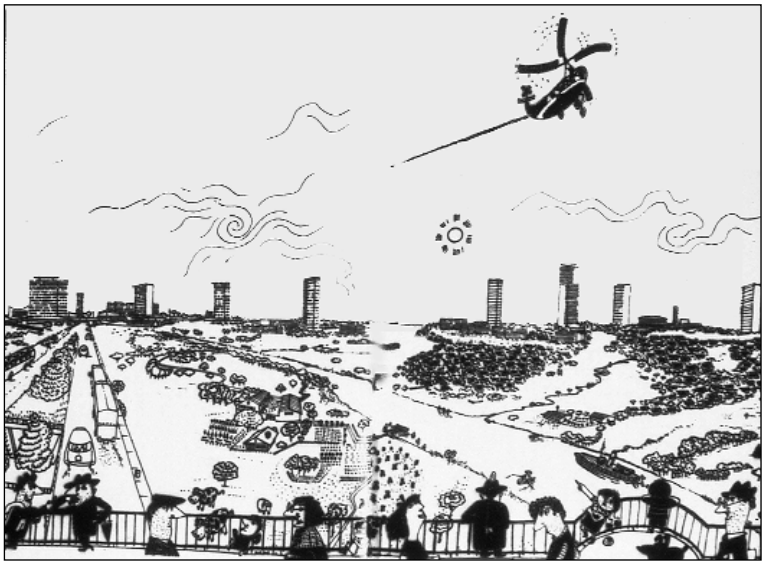


Abb. 2.3 So stellte man sich die Stadt von morgen auf der INTERBAU Berlin 1957 vor. (Otto, 1959)

Tauglichkeit als universales Verkehrsmittel unter Beweis gestellt. Kaum war der Krieg beendet, ging man in Europa an den Wiederaufbau, dabei war es klar, dass die amerikanischen Erfahrungen in die Wiederaufbauplanungen einflossen.

Anfang der fünfziger Jahre gab es in den USA einen zweiten Auto-Boom. Städtebauer und Politiker fuhren in die USA und sahen vielspurige Highways, gegen die unsere ersten Autobahnen sehr bescheiden anmuteten. Die riesigen, voll auf den Individualverkehr ausgerichteten Vororte, aber auch der Umbau der Cities machten auf die Europäer gewaltigen Eindruck. Dabei deckte sich das Bild der für das Auto umgebauten Stadt durchaus mit dem Leitziel einer offenen, Licht, Luft und Sonne frei zugängigen Stadt, im Gegensatz zur finsteren, unhygienischen, alten Stadt (Abb. 2.3).

In Europa wurden vielfach die Zerstörungen des Krieges als willkommene Gelegenheit gesehen, die Städte freier und offener zu machen. Damit entstand auch Raum für neue Schneisen, die man für die zukünftigen Verkehrsbedürfnisse zu brauchen glaubte. Nur wenige Städte konnten sich dieser Entwicklung entziehen, sei es, dass die vorhandene Bausubstanz so zwingend war oder dass es keine gesetzlichen Voraussetzungen gab, um größere Eingriffe durchzusetzen. Das Leitbild der „gegliederten und aufgelockerten Stadt“ konnte mit dem Leitbild einer „autogerechten Stadt“ durchaus in Übereinstimmung gebracht werden. Dabei muss zur Rechtfertigung dieser Versuche klargestellt werden, dass bei diesen Konzepten nicht nur das Auto, sondern auch der Mensch in der Stadt in die Betrachtung einbezogen wurden. Es ging nicht darum, die Stadt dem Auto unterzuordnen, sondern darum, wie eine Stadt im Zeitalter des Automobils auszusehen habe. Unterschiedlich waren aber die Meinungen darüber, welchen Stellenwert man dem Auto einräumen müsse. Hier reichte das Spektrum von der totalen Öffnung der Stadt für den Individualverkehr über die Zuordnung von Teilen für den Fahr- und Fußgängerverkehr bis hin zur Aussperrung des Autoverkehrs aus ganzen Innenstädten oder zumindest Teilen von Städten.

Es mutet aus heutiger Sicht eigenartig an, dass damals Vorschläge, die eine weitgehende Sperrung der Innenstadt für Individualverkehr

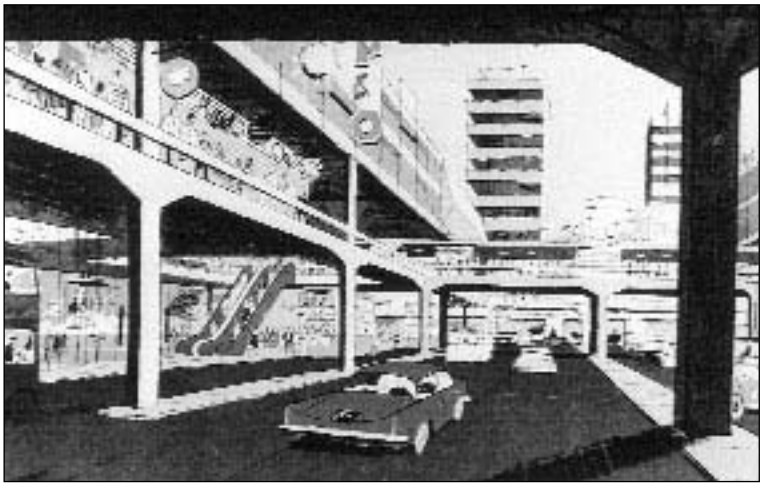


Abb. 2.4 Die voll dem Individualverkehr geöffnete Stadt; die Erdgeschosszone wird ausschließlich für den fließenden Individualverkehr benötigt. (Buchanan, 1964)

vorsahen, verlacht wurden, während Vorschläge für eine völlige Öffnung zugunsten des Individualverkehrs, auch um den Preis der völligen Beseitigung historischer Stadtstrukturen, ernsthaft diskutiert wurden (Abb. 2.4). Man befürchtete, dass mit der Aussperrung des Individualverkehrs das Leben in den Städten zum Erliegen kommen würde und war bereit, Aufweitungen auch in historischen Straßen hinzunehmen, um die „Durchblutung“ des Stadtorganismus sicherzustellen. Da man erkannte, dass mit dem Durchfahren allein das Problem nicht gelöst werden konnte, baute man die für das Abstellen der Autos notwendigen Garagen auch in Form von Hoch- und Tiefgaragen selbst da, wo eine optimale Andienung an den öffentlichen Verkehr gegeben war.

Damit erwuchs dem öffentlichen Verkehr eine Konkurrenz, in der er nicht bestehen konnte. Die nach Kriegsende noch einigermaßen funktionierenden Straßenbahnen wurden durch das enorme Anwachsen des Individualverkehrs immer mehr eingeschränkt, die Durchschnittsgeschwindigkeit nahm trotz Verbesserungen im Wagenpark stark ab und erreichte bei manchen innerstädtischen Straßenbahnlinien in Stoßzeiten kaum die Geschwindigkeit der Fußgänger. Parallel zu dieser Entwicklung in den Innenstädten begünstigte die zunehmende Motorisierung auch die Zersiedlung in den Randbereichen. Flächen, die vorher nicht erschließbar waren, konnten jetzt bebaut werden, sie ließen sich aufgrund ihrer dispersen Bebauung wirtschaftlich nicht an ein öffentliches Verkehrsmittel anschließen, so dass das Auto unverzichtbar wurde, auch der Zweitwagen.

Mit steigender Motorisierung erhöhte sich der Druck auf die Innenstädte und verschärfte damit die Probleme weiter. In den sechziger Jahren wuchs die Kritik an der bisherigen Verkehrspolitik. Man erkannte, dass auch ein noch so perfekter Ausbau der Straßensysteme eine uneingeschränkte Nutzung des individuellen Fahrzeugs überall in der Stadt nicht ermöglicht, dass eine Einschränkung aber nur durchsetzbar ist, wenn ein leistungsfähiges und akzeptables Massenverkehrsmittel dort an die Stelle des Individualverkehrs tritt, wo ein Nebeneinander nicht mehr vertretbar ist (siehe Abb. 2.5).

In Kenntnis der Problematik haben die Regierungen eingegriffen und durch Steuerumschichtungen die Gemeinden in die Lage versetzt, ihre Massenverkehrssysteme auszubauen, um von einer einseitigen Fixierung auf das Auto als dem Hauptverkehrsträger wieder ab-

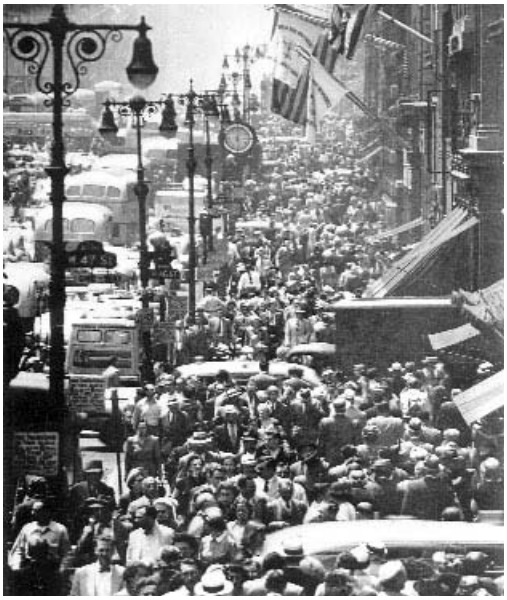


Abb. 2.5 Fifth Avenue, New York. (Feininger, 1963)

zukommen. In Großstädten ist dieses Ziel leichter zu erreichen als in Klein- und Mittelstädten. Mit einem schienengebundenen, kreuzungsfreien System lassen sich kürzere Reisezeiten als im Individualverkehr erreichen, wenn die Haltepunkte günstig liegen und der Fahrplantakt eng genug ist. Abstriche im Komfort können durch die Sicherheit, rechtzeitig anzukommen, nicht durch Verkehrsstau behindert zu werden, keinen Parkplatz suchen zu müssen, ausgeglichen werden.

Tatsächlich sind solche Erfolge auch eindeutig nachweisbar. Erhebliche Bedeutung kommt dabei der städtebaulichen Einbindung der Haltepunkte vor allem in den Innenstädten zu. Mit dem öffentlichen Verkehrsmittel die Ziele bequemer zu erreichen als mit dem individuellen Verkehrsmittel, daraus ergeben sich berechtigte Chancen für die Durchsetzung von ÖPNV-Konzepten. Ganz entscheidend ist, dass der ÖPNV-Benutzer diese Vorteile auch spürt. Die Einrichtung von verkehrsfreien Zonen, die ganz dem Fußgänger zur Verfügung stehen, ist ein wichtiger Beitrag der letzten drei Jahrzehnte. Plötzlich ist der Mensch wieder da, wo er begonnen hat, sein Maßstab, sein Tempo bestimmt die Stadtmitte.

Die vordergründige Kritik an der Gestaltung mancher Fußgängerzonen sollte uns nicht davon abschrecken, auf diesem Weg weiterzugehen. Es ist erstaunlich, welche Anziehungskraft solche verkehrsfreien Zonen weltweit aufweisen. Natürlich müssen auch die Probleme gesehen werden, vor allem die Abwertung angrenzender Bereiche durch den Versorgungsverkehr. Flächendeckende, komplexe Konzepte müssen an die Stelle linearer Einseitigkeit treten.

2.3 Tendenzen in der Entwicklung von Stadtverkehr

Die Entwicklung in den USA zwischen den beiden Weltkriegen legte es nahe, beim Wiederaufbau und beim Umbau unserer Städte nach 1945 die dortigen Erfahrungen zu berücksichtigen. Es war allerdings erkennbar, dass die hemmungslose Entwicklung des Individualverkehrs zwar dem Einzelnen ein höheres Maß an persönlicher Freiheit gibt, damit aber auch Gefahren für unsere Städte verbunden waren. Trotzdem war diese Entwicklung noch weniger aufzuhalten als heute, wo der Wunsch nach dem eigenen Auto in den Schwellenländern wiederum die Menschen zu größten Opfern treibt. Erst wenn das Auto für jeden erreichbar ist, kann man darüber sprechen, unter welchen Umständen man darauf verzichten kann.

In den Industriestaaten ist praktisch die Vollmotorisierung erreicht, und es gilt die negativen Auswirkungen zu reduzieren oder,

wenn möglich, ganz zu eliminieren. In den aufstrebenden Wachstumsregionen der heutigen Welt, z.B. China, gilt es aus ökonomischer und ökologischer Sicht, das notwendige Maß an persönlicher Mobilität und Freiheit zu schaffen, ohne gleichzeitig die Fehler der Vergangenheit zu wiederholen. Jede Freiheit hat ihren Preis. Vollmotorisierung mit der uneingeschränkten Nutzung des Autos führt an vielen Stellen dazu, dass der Freiraum für den Einzelnen eingeschränkt wird. Insbesondere für diejenigen, die ihn am dringendsten bedürfen: Kinder und Behinderte. Aber auch die Autofahrer stoßen an ihre Grenzen, wenn die so geliebte uneingeschränkte Beweglichkeit im Stau „erstickt".

Was ist zu tun, welche Lösungsmöglichkeiten bieten sich an? Eine wichtige Erkenntnis war, dass der Fußgänger ein sympathischer Verkehrsteilnehmer ist. Er ist ungeheuer praktisch zu handhaben, er braucht den geringsten Platz, man kann ihn um Ecken lenken, über Treppen und Rampen in eine zweite Ebene zwingen. Er hat nur einen Fehler, er ist zu langsam für größere Strecken. Schon lange gibt es Versuche, dieses Handicap zu reduzieren: Rolltreppen, Rollbänder helfen allerdings nur denjenigen, die sich selbst gut bewegen können. Aber allein schon das Freimachen von Flächen für eine ungehinderte Bewegung der Fußgänger hat weltweit große Erfolge und führt in Kombination mit Massenverkehrsmitteln oder gut zugeordneten Parkplätzen zu einer wesentlichen Verbesserung der innerstädtischen Bereiche.

Das Fahrrad, jahrzehntelang von den Verkehrsplanern als ein höchst unsicheres Verkehrsmittel gefürchtet, wird wegen seiner ebenfalls bescheidenen Flächenansprüche wieder geschätzt. Jedes Fahrrad, das ein Auto ersetzt, ist ein Gewinn. Allerdings darf nicht übersehen werden, dass die Benutzung des Fahrrads bevorzugten Gruppen vorbehalten ist. Der Radfahrer, der sich als besserer Mensch fühlt und mit seiner Klingel den Fußgänger schreckt, erinnert fatal an den Herrenfahrer der ersten Zeit der Motorisierung. Dem umweltfreundlichen Radfahrer Bahn zu geben, ist aber eine Aufgabe, die es wert ist, stark gefördert zu werden.

Da auch in absehbarer Zeit das Auto nicht zu ersetzen ist, muss dem Ausbau der Verkehrsstraßen auch weiterhin große Beachtung geschenkt werden. Neben der Verbesserung der Massenverkehrsmittel wird auch in Zukunft ein erheblicher Anteil der von den Autofahrern aufzubringenden Mittel in den Straßenbau fließen. Hier ergeben sich allerdings neue Prioritäten. Vor allem im Stadtverkehr wird nicht nur die Schnelligkeit, sondern die Sicherheit und insbesondere die Umweltverträglichkeit eine ausschlaggebende Rolle spielen. Parallel dazu zeigen neue technische Entwicklungen im Automobilbau selbst erfreuliche Ergebnisse, die in die gleiche Richtung zielen. Effizientere Wirkungsgrade der Motoren und Abgasreinigungsanlagen ermöglichen eine Reduzierung des Schadstoffausstoßes. Neue Sicherheitseinrichtungen sorgen trotz einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens für sinkende Unfallzahlen mit Personenschäden. Die fortschreitende technologische Entwicklung lässt eine weiterhin positive Entwicklung dieser Faktoren erwarten.

Große Aufwendungen für die Verlagerung unvermeidlicher Hauptverkehrstraßen in die zweite Ebene sind dann vertretbar, wenn durch die Bündelung notwendiger Verkehre größere verkehrsberuhigte Bereiche entstehen können.

Mit dem Schlagwort „Verkehrsberuhigung" werden die unterschiedlichsten Ansätze vertreten. Wenn es nur darum geht, einen Straßenzug zulasten eines anderen zu beruhigen, werden sich immer Widerstände erheben. Andererseits trügt die Hoffnung, dass mit Verkehrsberuhigungsmaßnahmen eine generelle Abkehr vom Auto erreichbar ist. Allein die zunehmende Bedeutung des Wirtschaftsverkehrs, der durch

die globale mediale Vernetzung in Zukunft an Größe eher zunehmen wird, zwingt zu einer nüchternen Betrachtung. Ziel muss es sein, ein entspanntes Verhältnis von Mensch und Verkehr zu erreichen. Verkehr darf nie Selbstzweck werden. Zum einen hat Mobilität für viele einen hohen Stellenwert. Sie ist eine Voraussetzung für unsere arbeitsteilige Gesellschaft. Zum anderen muss sie sich auf sinnvolle räumliche Bereiche beschränken und Freiräume für andere Aktivitäten und Werte schaffen. Der Vernetzung der unterschiedlichen Verkehrsarten und -bereichen kommt somit eine erhöhte Bedeutung zu. Der möglichst reibungslose Übergang vom Individualverkehr zum ÖV und zurück ist die Voraussetzung dafür. Entsprechende Flächen für alle Verkehrsarten sind daher in einer sinnvollen Kombination zu schaffen. Die Park-and-Ride-Konzepte der Ballungsräume zeigen richtige Ansätze, müssen jedoch noch weiterentwickel und mit dem Umland verwoben werden.

Für eine sinnvolle Verkehrsraumbewirtschaftung wird in Zukunft auch die Verkehrserfassung und -leitung via neuer Medien sowohl im Fernverkehr als auch in den Ballungsräumen selbst eine Rolle spielen. Der zunehmende Einzug der Elektronik im Automobilbau ermöglicht durch verschiedene Lenkungsmechanismen den Individualverkehr optimal auf die vorhandenen Verkehrsflächen zu verteilen, bzw. bei Bedarf, zum Umsteigen auf den ÖV zu bewegen. Das Beispiel London mit der Einführung der Pkw-Benutzungsgebühr für die Innenstadt zeigt hier interessante Ansätze.

Die Veränderungen der Gesellschaft in einem Jahrhundert machen deutlich, dass eine geradlinige Fortschreibung zielloser Verkehrsplanung zum Chaos führen muss. Es wurde bei Vollmotorisierung und stagnierender Bevölkerungsentwicklung ein Stand erreicht, der trotz zu erwartender weiterer Zunahme der Mobilität bei sinnvoller Nutzung aller Ressourcen bewältigbar ist. Sinnlose Vergeudung von Flächen, weitere unkontrollierte Versiegelungen können nicht mehr hingenommen werden. Der Rückbau unsinniger Maßnahmen wird in Zukunft vermehrt notwendig, auch vor dem Hintergrund, dass sich die wirtschaftliche Entwicklung zwischen den Regionen teilweise in nicht unerheblichem Maße verschiebt mit der Folge, dass sich manche Regionen mit einer Überkapazität an teurer Infrastruktur konfrontiert sehen. Ökologische Ausgleichsmaßnahmen sind inzwischen zum selbstverständlichen Bestandteil größerer Planungen geworden. Auch in Zukunft müssen mit hohem technischem Aufwand und damit hohen Kosten neue Konzepte realisiert werden, um die in dicht besiedelten Gebieten kostbaren Freiräume durch Missbrauch nicht zu verspielen.

Literatur

Buchanan, C. (1964): Verkehr in Städten. Übersetzt von Dr. Heinrich Lehmann-Grube. Vulkan-Verlag, Dr. W. Classen, Essen

Feininger, A. (1963): Die Welt neu gesehen, Düsseldorf/Wien

Otto, K.(1959): Die Stadt von morgen. Gebr. Mann-Verlag, Berlin

Rowe, C. u. Koetter, F.: Collage City, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts und London.

Wright, F. L. (1932): Entwurf von „Broadacre city“. In: The disappearing city, New York

3 Zukunft des Stadtverkehrs

3.1 Städtebauliche Leitbilder – Entwicklungstendenzen

3.1.1 Definition

Die Verwendung des Begriffs des Leitbilds für normative gesamtheitliche Vorstellungen der Stadtentwicklung und des Städtebaus geht zurück auf die zweite Hälfte der 1950er-Jahre parallel mit seiner damals ebenfalls großen Verbreitung in anderen gesellschaftlichen Bereichen wie etwa der Pädagogik und der Theologie (Albers, 1965; Streich, 1986). Mit Durth (1987) lässt sich das Leitbild fassen als „eine bildhafte Konkretion komplexer Zielvorstellungen ..., die einzelnen Entwürfen, Planungskonzepten und persönlichen Gestaltungspräferenzen einen gemeinsamen Hintergrund gibt und ... in einen übergreifenden Konsens über bindende Wertmaßstäbe (einbindet), der die Grundlage für eine umfassende Schau der wünschenswerten räumlichen Ordnung bildet“. Diese komplexe Definition setzt sich ab von Schlagworten wie „Autogerechte Stadt“ oder „Sichere Stadt“, die ebenfalls häufig als Leitbilder bezeichnet werden. Die ersten Formulierungen von stadtstrukturellen Modellen und stadtgestalterischen Leitlinien sind sehr viel älter. Als historische Vorläufer lassen sich die Idealstadtkonzepte der Renaissance und die barocken Stadtgründungen sehen. Die Genealogie moderner Leitkonzepte der Stadtentwicklung beginnt allerdings erst in der letzten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit der Bandstadt

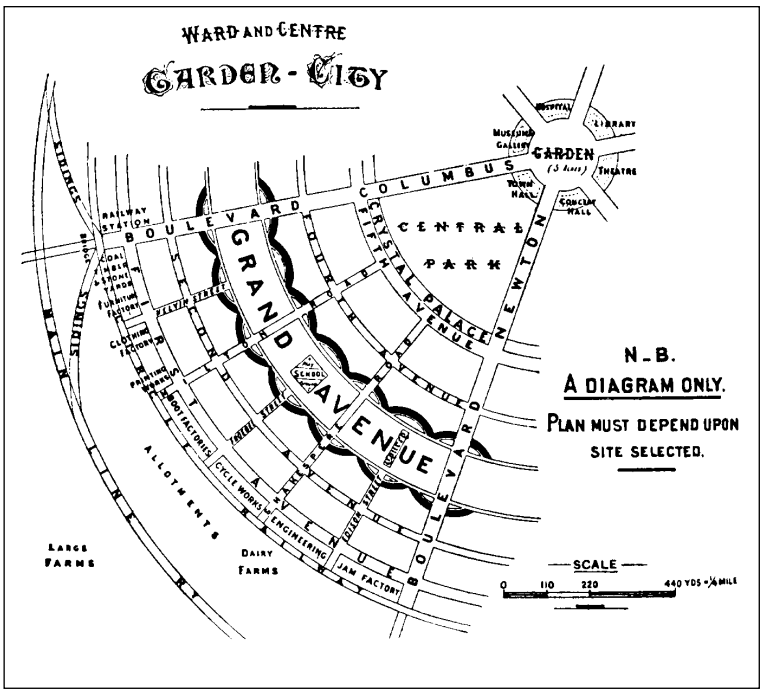


Abb. 3.1 Strukturschema Gartenstadt nach Howard. (Stadt, Kultur, Natur, 1987)

und der Gartenstadt; es folgen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in der Nachfolge der Gartenstadt die Trabantenstadt und – besonders einflussreich – die funktiongetrennte Stadt der „Charta von Athen“, die mit unterschiedlicher Reichweite Praxis und Theorie der Stadtplanung beeinflusst haben (Abb. 3.1 u. 3.2).

Der Begriff des Leitbilds ist nicht im Bau- und Planungsrecht kodifiziert. Entsprechend unscharf ist er offen für jeweils neue Deutungen. Gleichwohl haben Leitbilder implizit in das Bau- und Planungsrecht Eingang gefunden, so etwa das Prinzip der Funktionstrennung aus dem Leitbild der funktionellen Stadt in der ersten Fassung der Baunutzungsverord-

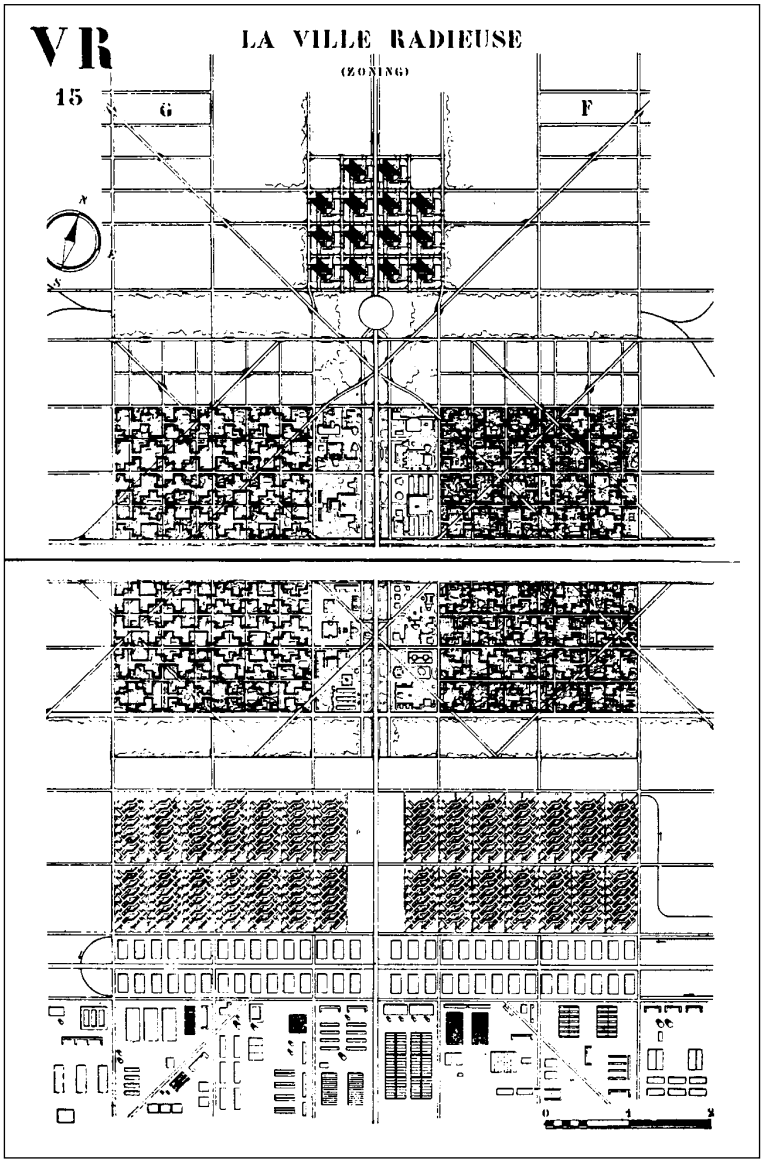


Abb. 3.2 Schema Stadtvision Funktionelle Stadt nach Le Corbusier. (Stadt, Kultur, Natur, 1987)

nung (1962). Der Begriff des Leitbilds war von Beginn an umstritten und ist es bis heute geblieben. Die Schwerpunkte der Kritik haben sich mit dem Wandel der Leitbilder und ihrer Funktion für die räumliche Planung verschoben. Gleichwohl lassen sich grundsätzliche Einwände identifizieren, die neben Kritik an einzelnen Inhalten von Leitbildern immer wieder artikuliert wurden. Zum Ersten lege der Appell an das Bildhafte, der mit dem Begriff des Leitbilds verbunden ist, ein statisches Verständnis von Stadt nahe, das fern jeder Realität sei und gerade den steten Wandel als die Essenz des Städtischen verkenne. Zum Zweiten seien übergreifende Leitbilder grundsätzlich nicht in der Lage, der heterogenen Vielfalt gegenwärtiger städtischer Strukturen und der mit ihnen verbundenen planerischen Problemlagen gerecht zu werden: Ziele der Stadtentwicklung könnten nur aus der intensiven Auseinandersetzung mit der lokalen Situation heraus entwickelt werden. Schließlich sei in Leitbildern von vornherein ein technokratisches Planungsverständnis einbeschrieben, insofern ihre Vorgaben vermeintlich Interessenskonflikte harmonisieren. Um die fachliche und politische Kritik in einen Satz zu fassen: Leitbilder würden unzulässig vereinfachen und bevormunden. Dies hat wiederholt zur Forderung geführt, den Begriff des Leitbilds in der räumlichen Planung nicht mehr zu verwenden – ein wohl aussichtsloses Petitum, wie gerade das überraschende Wiederaufleben der Leitbilddiskussion in den neunziger Jahren gezeigt hat. In Deutschland hat sich das Leitbild trotz aller Vorbehalte als begrifflicher Fokus programmatischer Diskussionen in der räumlichen Planung etabliert; dabei hat sich sein Gehalt im Zuge der vergangenen fünfzig Jahre immer wieder verändert.

3.1.2 Stadtentwicklung und Wandel der Leitbildorientierungen

Anfänglich waren städtebauliche Leitbilder im Wesentlichen fachlich definierte Stadtstrukturmodelle, die normative Aussagen zur Nutzungsverteilung, Nutzungsintensität und Nutzungskörnung trafen (Spengelin, 1983). Damit waren stets, explizit oder implizit, Vorstellungen zum Zentrengefüge und zur verkehrlichen Erschließung verbunden. Entsprechend haben städtebauliche Leitbilder in dieser Phase (zweite Hälfte der fünfziger Jahre bis Ende der sechziger Jahre) vor allem bei der Planung großer Stadterweiterungen Wirkung entfaltet. Gewöhnlich wird die Geschichte des Städtebaus der Nachkriegszeit als Abfolge wechselnder städtebaulicher Leitbilder (*Stadtlandschaft, aufgelockerte und gegliederte Stadt*; *Urbanität durch Dichte, Wiederentdeckung der historischen Stadt etc.)* gefasst (Müller-Raemisch, 1990; Durth, 1987) (siehe Abb 3.3).

In der kurzen Phase der integrierten Stadtentwicklungsplanung von Ende der sechziger bis Mitte der siebziger Jahre, die hohe Erwartungen in die Rationalität von Planungen durch Einsatz wissenschaftlicher Verfahren der Bedarfsermittlung und Prognose setzte, war für bildhafte Stadtvorstellungen kein Platz mehr. Leitbilder waren als alter Zopf vorwissenschaftlichen Städtebaus diskreditiert. Insgesamt verlor der Begriff des Leitbilds in den siebziger und achtziger Jahren für die fachliche Debatte an Bedeutung. Gleichzeitig erfuhr er allmählich eine implizite Erweiterung um politische Komponenten (Durth, 1987). Mit wachsendem kommunalem Wettbewerb um Ressourcen (Unternehmen, Einwohner, Kaufkraft, Subventionen und öffentliche Aufmerksamkeit) wurden sie als strategische Instrumente zur Profilierung von Städten entwickelt und verwendet.

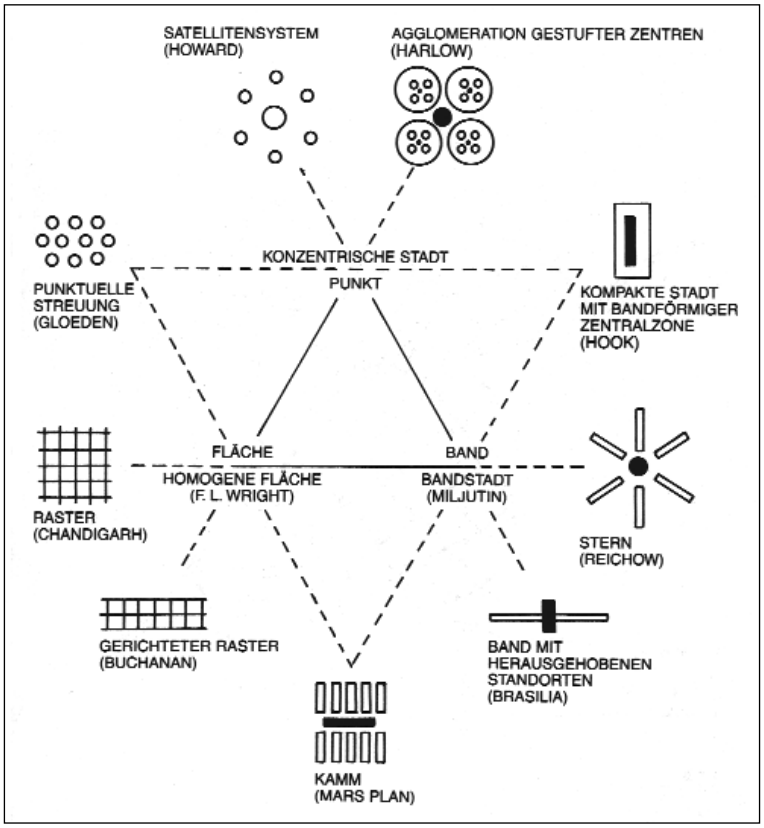


Abb. 3.3 Synoptische Übersicht Stadtstrukturmodelle.
(Albers, 1992)

Neben die fachliche Planung traten Stadtbildoffensiven, Marketingstrategien und Imagekampagnen, für die Leitbilder der Stadtentwicklung – wenngleich keineswegs immer unter dieser Bezeichnung – entworfen wurden. Dies zeigte sich im erweiterten Zielspektrum dominanter städtebaulicher Aufgaben. Verwiesen sei auf die erhaltende Erneuerung der Altstädte; sie sollte nicht nur die Konkurrenzfähigkeit der Zentren sichern, sondern auch die baulich-räumliche Identität der Stadt bewahren helfen, die durch den oft stürmischen, gegenüber dem historischen Bestand weithin gleichgültigen Wiederaufbau verloren zu gehen drohte. Auf die Bindungswirkung nach Innen und auf Werbewirkung nach Außen zielten auch die in dieser Zeit zum ersten Mal formulierten Strategien vor allem der Großstadtkommunen, mit architektonisch exponierten öffentlichen Bauten nicht nur auf sich aufmerksam zu machen, sondern auch ein gewünschtes Bild ihrer Stadt in die Welt hinauszutragen und gleichzeitig den eigenen Bürgern nahe zu bringen.

Auch Stadtentwicklung und Städtebau in der DDR folgten wechselnden Leitbildern (Topfstedt, 1999), die allerdings entsprechend dem sozialistischen Selbstverständnis sehr viel direkter durch politische Direktiven definiert waren. Den Wiederaufbau der DDR in der ersten Hälfte der fünfziger Jahre prägten die von der Volkskammer der DDR im Jahre 1950 nach sowjetischen Vorgaben beschlossenen *Sechzehn Grundsätze des Städtebaus*. Der Städtebau dieser Jahre, die – so die selbst aufgestellte Formel – „dem Inhalt nach demokratisch, der Form nach national“ sein sollte, bildete stadträumlich und formal einen scharfen

Kontrast zum Wiederaufbau im Westen. Dies änderte sich erst Mitte der fünfziger Jahre, als die Steigerung der Produktivität im Wohnungsbau höchste Priorität erlangte und Konzeption, Gestalt und Organisation des Städtebaus dominierte. Trotz der grundsätzlich anderen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (staatliche Verfügung über Grund und Boden, Planwirtschaft) folgte der Städtebau in der DDR – wie in den anderen sozialistischen Staaten auch – spätestens seit Ende der fünfziger Jahre in seinen Grundzügen bei gleichzeitig größeren Dimensionen faktisch den internationalen Standards der funktionalistischen Moderne (Abb. 3.4).

Nach der Wiedervereinigung hat es in den neunziger Jahren ein Wiederaufleben städtebaulicher Leitbilder in der kommunalen Planungspraxis gegeben (Becker et al., 1998). Darin spiegelt sich steigender Orientierungsbedarf, der sich aus vielfältigen, miteinander verflochtenen Anlässen speiste: der Globalisierung und ihren sozialräumlichen Rückwirkungen, den veränderten Standortbedingungen in Europa nach dem politischen Umbruch in den sozialistischen Staaten Mittel- und Osteuropas, dem zügigen Ausbau neuer Transport- und Kommunikationstechnologien und nicht zuletzt der wachsenden Gefährdung und Belastung der Umwelt durch Mobilitätszuwachs und Landschaftsverbrauch. Zahlreiche Kommunen sahen sich nach Jahren strategischer Zurückhaltung wieder veranlasst, Stadtentwicklungskonzepte zu erarbeiten; kaum eine Stadt, die nicht seither einen großen neuen Stadtteil errichtet, ausgedehnte innerstädtische Brachen bebaut und mit Großprojekten auf sich aufmerksam zu machen versucht hat. Diese Mischung aus Zwängen und Chancen erforderte neue Zielkonzepte auf lokaler und regionaler Ebene und veranlasste die Formulierung von Leitbildern, die helfen sollten, den Wachstumsdruck zu steuern, die Anforderungen des Umweltschutzes zu berücksichtigen und Fehler und Versäumnisse des Städtebaus der Vergangenheit zu korrigieren bzw. zu vermeiden.

3.1.3 Leitbild des Städtebaus heute – kompakte und durchmischte Stadt

Übergreifenden Bezugspunkt für Leitbilder räumlicher Entwicklung bildete in den neunziger Jahren das Konzept der *Nachhaltigkeit.* Dessen Übertragung auf die lokale Ebene und Operationalisierung für die räumliche Planung

Abb. 3.4 Großsiedlung West – Berlin Märkisches Viertel. (Wohnen in Berlin, 1999)

hatten nach der UN-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 großen Auftrieb erhalten. Im Jahre 1998 fand es im Zuge der Novellierung explizit Eingang in den § 1 des Baugesetzbuches (BauGB). Im letzten Städtebaubericht (BfLR, 1996) mit dem bezeichnenden Titel „*Nachhaltige Siedlungsentwicklung*“ sowie im Nationalbericht der Bundesrepublik zur 25. Sondersitzung der Generalversammlung der Vereinten Nationen (Istanbul+5) (BMVBW u. BMZE, 2001) wurden die räumlichen Ordnungsprinzipen einer nachhaltigen Entwicklung dargelegt: Deutsche Siedlungspolitik „orientiert sich an den Leitvorstellungen der kompakten und durchmischten Stadt sowie der dezentralen Konzentration. Ihr Hauptziel ist ein haushälterisches Flächenmanagement als kommunale und regionale Aufgabe, das heißt eine sparsame, natur- und sozialverträgliche Flächennutzung.“ (BMVBW u. BMZE, 2001). Auf der Ebene der Raumordnung und Regionalentwicklung hat das Leitbild der *dezentralen Konzentration* offiziösen Status angenommen. Es wurde zuerst im Raumordnungspolitischen Orientierungsrahmen (BMBau, 1993) des Bundes verankert und dem Landesentwicklungsplan Berlin/Brandenburg zugrunde gelegt (LEP Berlin/Brandenburg, 1993). Danach ist es auch in andere Landesentwicklungspläne übernommen worden (z.B. LEP Baden-Württemberg, 2002). Für die Ebene der Stadtentwicklung und Städtebaus hat die *kompakte und durchmischte Stadt* einen ähnlich dominanten Status angenommen. Daher wird dieses Leitbild hier ausführlicher vorgestellt (siehe Abb. 3.5).

Das Leitbild der kompakten und durchmischten Stadt hat in Stadtplanung und Stadtpolitik auf europäischer und nationaler Ebene während des vergangenen Jahrzehnts die größte Verbreitung gefunden. Es ist in den meisten Stadtentwicklungsplänen der deutschen Großstädte aufgenommen und auch auf der Ebene von städtebaulichen Projekten wirksam geworden. Als seine vier zentralen Zielelemente lassen sich benennen:

– *Hohe Baudichte:* Sie steht für die Trendumkehr von disperser Siedlungsentwicklung und ungesteuerter Suburbanisierung hin zur verdichteten Stadt und damit zum Vorrang für Innenentwicklung und Nachverdichtung; Konzentration der Verdichtung an den Haltepunkten des ÖPNV; soweit Stadterweiterungen erforderlich, soll dies für alle Nutzungen (Wohnungsbau, Industrie- und Gewerbebau usf.) in verdichteten Formen geschehen.
– *Nutzungsmischung:* Trendumkehr von monofunktionalen hin zu möglichst feinkörnig funktionsgemischten Strukturen; Stadtteile statt Siedlungen; Erhalt bestehender Funktionsmischung; nachträgliche Nutzungsanreicherung in bisher monofunktional strukturierten Gebieten.
– *Öffentliche Räume:* Stützung öffentlichen Lebens durch belebte Erdgeschosszonen, Straßenräume und Plätze als wesentlicher Bestandteil der städtebaulichen Konzepte gegen die Tendenz der Privatisierung öffentlicher Räume, ihren Funktionsverlust und die Erosion sozialer Kontrolle.
– *Ökologisch aufgewertete Räume:* Verbesserung der „Aufenthaltsqualitäten“ in Quartieren zur Stärkung der nahräumlichen Orientierung in Freizeit und Versorgung: Wohnumfeldverbesserung; Verkehrsberuhigung; Hofbegrünung; stadtnahe Freiflächen.

Diese städtebaulichen Ziele sollen in einem engen Zusammenhang gesehen werden und sich gegenseitig stützen: Nutzungsmischung ohne Dichte ist nicht tragfähig. Dichte ohne Mischung reproduziert die alten Monostrukturen. Dichte und Funktionsmischung ohne hohe Umfeldqualität stellen erreichte Standards der Wohnungsversorgung in Frage.

Die erstaunlich breite Akzeptanz des Leitbilds liegt darin begründet, dass es ökologi-

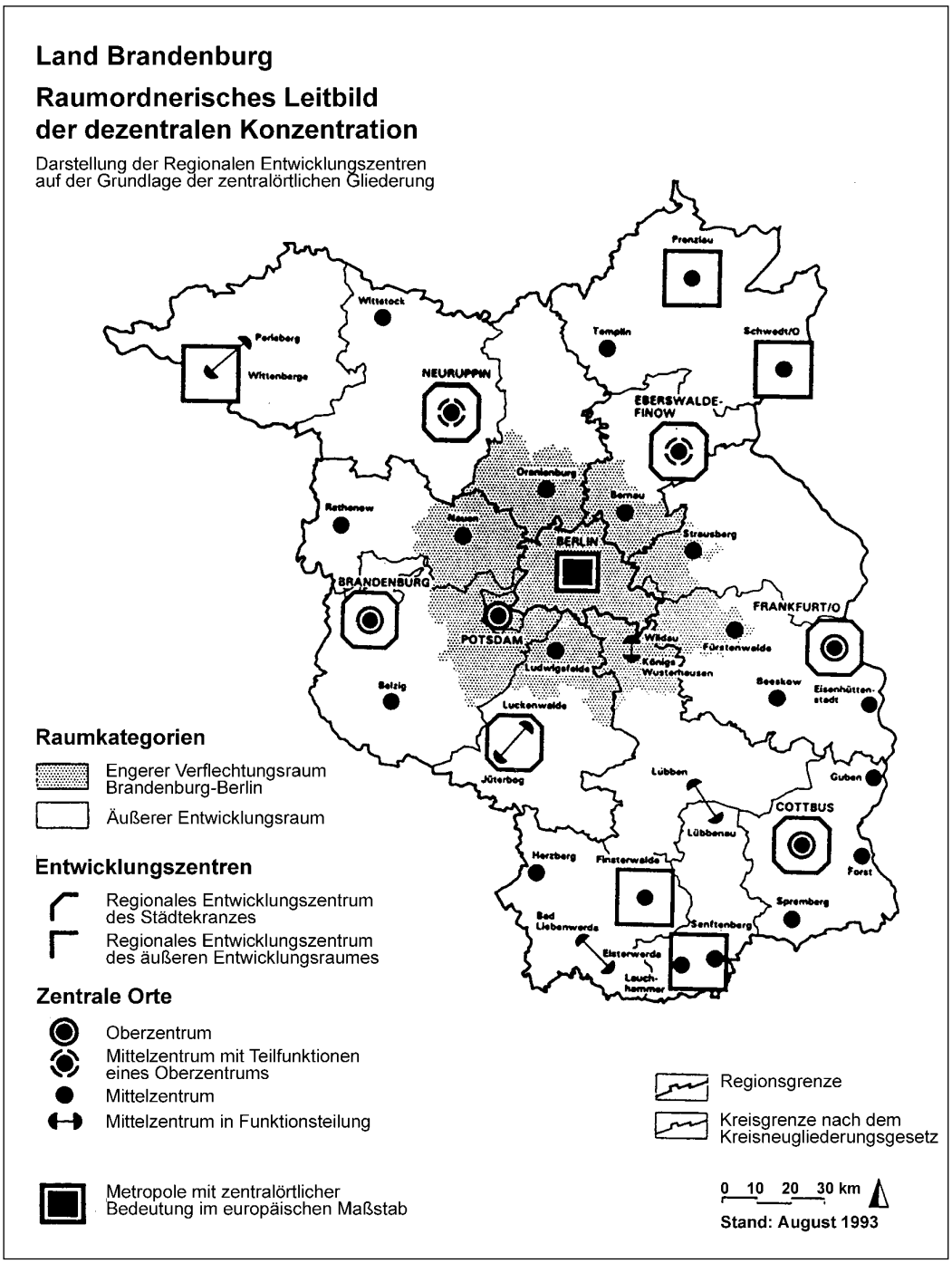


Abb. 3.5 Zentrenkonzept LEP Brandenburg Leitbild Dezentrale Konzentration. (LEP Brandenburg)

sche, soziale, politische, ökonomische und kulturelle Anforderungen an zukünftige Stadtentwicklung in ein einziges vertrautes Bild fasst und so von sehr vielen unterschiedlichen Fachdisziplinen und Politikbereichen getragen werden kann.

Das Leitbild bezieht seine Kraft nach Ansicht seiner Verfechter daraus, dass es an bestehende übergreifende gesellschaftliche Trends und Notwendigkeiten anknüpfen und diese nutzen kann: Der Wandel zur Dienstleistungsgesellschaft bringt einen Zuwachs vor allem bei wohn- und stadtverträglichen Arbeitsplätzen. Städtische verdichtete Lebensformen werden von immer mehr Menschen nachgefragt. Die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien machen Betriebe und Haushalte standortunabhängiger. Die großflächigen Industrie-, Verkehrs- und Militärbrachen in zentraler Lage bieten gegenwärtig ein „Planungsfenster", das für Strategien der Innenentwicklung und Nachverdichtung im Sinne der kompakten und durchmischten Stadt genutzt werden kann. In Stadtpolitik und Städtebau habe sich, so die Verfechter des Leitbilds, der historische Bezug auf die europäische Stadtkultur bewährt, wie die Erfolge der erhaltenden Stadterneuerung zeigen, während etwa die Großsiedlungen der siebziger Jahre, denen die Fortschrittsvorstellungen der Moderne zugrunde lagen, heute größtenteils Sanierungsfälle seien. Vor allem aber wird die Orientierung von Stadtpolitik am Modell der durchmischten und kompakten Stadt mit ökologischen Notwendigkeiten begründet. Es sei unverantwortlich, Stadtentwicklung nach dem gleichen Wachstumsmodus (mit den entsprechenden Konsequenzen für den Verbrauch von Landschaft und die Zunahme des Verkehrs) zu betreiben wie in den letzten fünfzig Jahren.

Trotz der breiten Akzeptanz ist das Leitbild der kompakten Stadt keineswegs unumstritten. Im Gegenteil, es gab Anlass zu Kritiken und Gegenkonzepte, die sich vor allen Dingen an seinem Realitätsgehalt, an seiner Fixierung auf die Innenstadt, und an den planerischen Schlussfolgerungen entzündeten. Für die Kritiker drückt sich im Leitbild der kompakten Stadt rückwärts gewandte Planerromantik aus. Das Ziel einer kompakten und durchmischten Stadt sei unrealistisch: Es muss gegen die planerisch kaum beeinflussbaren Konzentrations- und Rationalisierungsprozesse in allen Wirtschaftssektoren, gegen die funktionstrennende Logik des Bodenmarktes und gegen das Eigengewicht des Siedlungsbestandes durchgesetzt werden und kollidiert mit den dominanten Wohnwünschen und wachsenden Empfindlichkeiten der Bevölkerungsmehrheit, die das ruhige Wohnen im Grünen vorzieht. Es steht des Weiteren im Gegensatz zu den Standortinteressen der meisten Betriebe, die Gemengelagen, Nachbarschaftskonflikte und Erweiterungshemmnisse fürchten. Aus diesen und anderen Gründen ließe sich das Leitbild der kompakten und durchmischten Stadt, so die Quintessenz, konsequent nur in autoritär strukturierten Gesellschaften durchsetzen. Entsprechend sind Gegenbilder formuliert worden, vor allem durch Sieverts (1997) mit seinem Buch zur *„Zwischenstadt",* die den Anspruch höheren Realitätsgehalts und größere Bürgernähe erheben und entsprechend neue räumliche, sachliche und methodische Orientierungen der Stadtplanung fordern. Die eigentliche Herausforderung der Stadtplanung stellen danach quantitativ und qualitativ die diffusen Zonen des Umlands dar, dort entfalte Stadtentwicklung die höchste Dynamik. Die steigende Mobilität, die Konzentration und Dezentralisierung der Wirtschaft, die Regionalisierung des Alltags privater Haushalte, der Bedeutungsverlust traditioneller Zentren und das Entstehen von Knotenpunkten neuen Typs seien irreversibel. Statt am Bild der alten europäischen Stadt mit Nutzungsmischung und Dichte festzuhalten, sollte Stadtplanung an Konzepten und Methoden arbeiten, mit denen

sich die Entwicklungsdynamik an der Peripherie städtebaulich qualifizieren lasse.

3.1.4 Empirische Befunde

Die Diskussion um das Leitbild der kompakten und durchmischten Stadt wird durch Forschung begleitet. Vor allen Dingen in der angloamerikanischen Stadtforschung wurde ausgiebig eine stark akademisch geprägte Debatte über die Tragfähigkeit des Konzepts geführt (Jenks et al., 1996). Zu einzelnen ausgewählten Aspekten liegen empirische Untersuchungen vor, die meist um die Frage kreisen, inwieweit die Erwartungen hinsichtlich der Eindämmung des Verkehrs, des Flächen- und des Energieverbrauchs durch die kompakte Stadt gerechtfertigt sind. Die ohnehin nur punktuellen Befunde sind begrenzt ermutigend (Hesse, 1999).

3.1.4.1 Wirkung von Dichte

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Siedlungsdichte bzw. Siedlungstyp einerseits und Verkehrsentwicklung andererseits kommen übereinstimmend zu dem Ergebnis: je dichter diese Siedlungsstrukturen, desto geringer der Beitrag des motorisierten Individualverkehrs zur Bewältigung des Verkehrsaufkommens. Ein besonders starkes Plädoyer für eine hohe Siedlungsdichte geht auf die inzwischen schon fast klassische Untersuchung der Australier Kenworthy und Newman (1989) zurück: Ihr weltweiter Vergleich von 32 unterschiedlich dicht besiedelten Städten zeigt dramatische Unterschiede im Energieverbrauch. Ab einer Siedlungsdichte geringer als 40 Einw./ha schwillt der Benzinverbrauch pro Einwohner exponential an. Sozialstrukturelle und kulturelle Unterschiede werden nicht berücksichtigt. Unterschiede im Niveau des ÖPNV-System sowie in den Benzinpreisen schlagen auch auf den Energieverbrauch durch, aber nachrangig. Die Befunde sprechen eine so deutliche Sprache, dass die hohe Korrelation zwischen Siedlungsdichte und Benzinverbrauch unstrittig sein dürfte.

Was für Agglomerationsräume als Ganzes gilt, trifft auch – so ein weiteres Ergebnis der Studie – für unterschiedlich dichte Teilgebiete innerhalb einer Stadt zu. In die gleiche Richtung verweisen auch Vergleiche zwischen „Siedlungstyp“ und Verkehrsaufwand, gemessen als „tägliche motorisierte Verkehrsleistung für 1000 Aktivitäten“. Eine verkehrswissenschaftliche Untersuchung der Region Berlin hat das ebenfalls kaum überraschende Ergebnis erbracht, dass am verkehrsintensivsten die kleineren ländlichen Ortschaften des Umlandes sind und den geringsten Verkehr die innenstadtnahen hoch verdichteten Wohngebiete erzeugen (Kutter, 1993). Auf diesen plausiblen und durch Forschungen weithin gestützten Zusammenhang zwischen Verkehrsaufkommen und Siedlungsdichte bzw. Bebauungsdichte stützen sich die Strategien der Innenentwicklung. Soweit diese mit Strategien der gezielten Baulandverknappung verbunden sind, sind sie aber nicht unumstritten.

Zum einen wird in Zweifel gezogen, dass tatsächlich Flächenersparnisse im regionalen Maßstab erreicht werden. Wenn die Nachfrage nach Bauland nicht stadtnah realisiert werden kann, weil das Angebot fehlt, wird diese dafür umso weiter außerhalb am Rande der Regionen befriedigt. Diejenigen, die Eigentum bilden und im Einfamilienhaus wohnen wollen, aber an integrierten Standorten keine Möglichkeiten geboten bekommen, weichen ins erweiterte Umland aus, mit größeren negativen Folgen für den Landschaftsverbrauch und die Verkehrsentwicklung. Was aus lokaler Perspektive als eine vernünftige Strategie der Ressourcenschonung erscheint, ist in regionaler Perspektive ein Strategie, die ungewollt Zersiedlung und Landschaftsverbrauch beschleunigt (Pfeiffer u. Aring, 1993).

Schließlich kann forcierte Innenentwicklung zu stärkeren stadtökologischen Belastungen führen. Verschlechterung des Kleinklimas durch Verringerung des Luftaustauschs und der Kühlungswirkung von Vegetation, Verlust naturnaher Böden und Flora durch Bebauung, Versiegelung und Drainage sowie die Zunahme der Umweltbelastungen durch erhöhten Verkehr (Lärm, Schadstoffausstoß usw.) sind die wichtigsten ökologischen Belastungen, die mit Strategien der Innenentwicklung verbunden sind. In extremen Fällen kann eine zu starke städtebauliche Verdichtung die Wohnqualität von Quartieren sehr stark einschränken – bis hin zur Erzeugung von Sanierungstatbeständen.

3.1.4.2 Wirkung von Nutzungsmischung

Die bisherige Forschung zur Wirkung städtebaulicher Nutzungsmischung hat sich im Wesentlichen auf die Frage konzentriert, ob nutzungsgemischte Stadtstrukturen verkehrssparsam sind. Gleichwohl sind empirische Befunde immer noch eher rar. Die Forschungsergebnisse einzelner Studien, die zudem in kaum vergleichbaren Operationalisierungen vorliegen, sind lückenhaft und widersprüchlich (Kutter, 1993; Beckmann, 1995). Die Ergebnisse von komparativ angelegten Untersuchungen zum Verkehrsaufwand unterschiedlicher Siedlungstypen (gemischt vs. nicht gemischt) können keinen oder nur schwache signifikante Unterschiede feststellen (Handy, 1992; Cervero, 1989).

Ein Vergleich mehrerer, unterschiedlich stark funktionsgemischter Stadtteile in Köln im Rahmen des ExWoSt-Forschungsfeldes hat dagegen für einzelne Verkehre deutliche Differenzen ergeben (Gwiasda, 1999). Insbesondere beim Einkaufsverkehr wurde erkennbar, dass nahräumlich vorhandene Einkaufsangebote genutzt werden, d.h. dass bezogen auf diese der Verkehrsaufwand von Bewohnern nutzungsgemischter Quartier niedriger und ihre Aktionsräume kleiner sind als von Bewohnern nutzungs„entmischter“ Quartiere (Abb. 3.6).

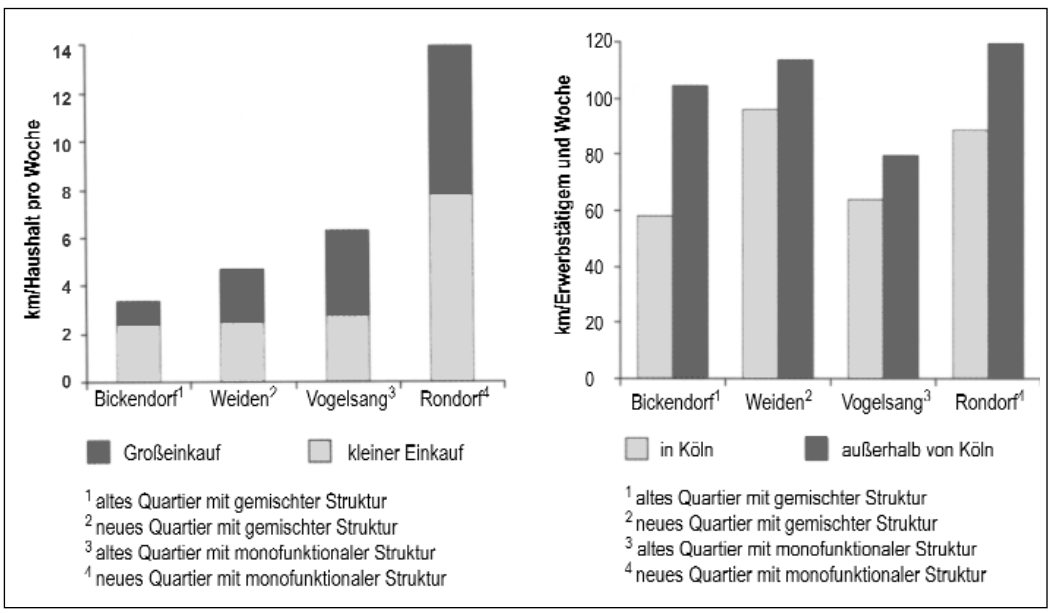


Abb. 3.6 Einkaufswege in gemischten und ungemischten Gebieten. (Breuer et al., 2000)

Es bestätigt sich, dass wohnungsnahe Versorgung einen besonders großen Beitrag zur Verminderung des Versorgungsverkehrs leistet. Bis zu einer Entfernung von ca. 300 m zum nächsten Lebensmittelladen werden die Besorgungen fast ausschließlich zu Fuß gemacht, ab ca. 700 m Entfernung fast ausschließlich mit dem Auto (Holz-Rau, 1991). Anders verhält es sich mit den Fahrten zur Arbeit oder zu Freizeitzwecken; hier sind kaum oder nur sehr geringe Zusammenhänge zwischen dem Grad der Nutzungsmischung und den Fahrtaktivitäten festzustellen.

Es sind die kontinuierlich sinkenden Raumüberwindungskosten, die es immer mehr Haushalten gestatten, einen „entfernungstoleranten Lebensstil“ (Aring et al., 1995) zu pflegen, der sich in Wohnstandort- und Arbeitsplatzstandortentscheidungen genauso zeigt wie im alltäglichen Versorgungs- und Freizeitverhalten. Eine Berliner Forschungsgruppe fasst ihre Analyse von Pendlerverflechtungen und ihrer Veränderungen zwischen 1970 und 1987 in das Fazit, dass „die mit sinkenden Raumwiderständen einhergehende Trennung der Funktionen auf individueller Ebene ein wesentlich größeres Gewicht besitzt als die siedlungsstrukturelle bauliche Dimension der Ent-mischung. Die siedlungsstrukturellen Potentiale einer ausgewogenen Mischung werden individuell immer weniger in verkehrssparsames Verhalten umgesetzt“ (Dörnemann et al., 1995; zur Diskrepanz zwischen gebauter Nutzungsmischung und gelebter Mischnutzung vgl. ausführlich Aring et al., 1995 und Breuer et al., 2000)

Zugespitzt lässt sich zusammenfassen, dass Nutzungsmischung notwendiges, aber nicht hinreichendes Merkmal „verkehrsarmer“ Siedlungsstrukturen ist. Eine engere Nutzungsmischung kann zu einer Gleichverteilung des Verkehrs und damit zu einer gleichmäßigeren Auslastung der Verkehrsinfrastruktur beitragen und schafft überhaupt erst die Voraussetzungen für eine räumlich engere Verknüpfung, abgesehen von den nicht mobilitätsbezogenen Argumenten für mehr Funktionsmischung: höhere Wohnqualität, städtische Vielfalt usw. Es müssen ergänzend Anreize und Impulse hinzukommen, die auf eine nahräumliche Orientierung von Betrieben und Haushalten sowohl in ihrer Standortwahl wie in ihrem täglichen Mobilitätsverhalten hinwirken.

3.1.5 Anspruch und Wirklichkeit

Im Interesse zukünftiger Generationen (Klimaschutz) und der Lebensqualität in den Ballungsräumen ist es ohne Frage zwingend geboten, in Zukunft Stadtentwicklung an den Kriterien der Ressourcenschonung (sparsamer Umgang mit Fläche und Energie, Minderung des Verkehrs, Reduktion des Schadstoffausstoßes usf.) zu orientieren und entsprechende Strategien zu verfolgen. Stadt- und Regionalplanung sollen dafür sorgen, dass verkehrsmindernde Siedlungsstrukturen entstehen. Regionalplanung, Flächennutzungsplanung, Standortplanung, Infrastruktur- und Dichteplanung sollen an den Ursachen des Verkehrs ansetzen und Ziel und Quelle näher bringen, dadurch die Weglängen verkürzen, den Wechsel auf umweltverträglichere Verkehrsmittel nahe legen und so Flächenansprüche, Energieverbrauch und Umweltschäden verringern.

Im Kern läuft das Leitbild der dichten durchmischten Stadt auf eine Umkehr der bisherigen Grundmuster der Stadtentwicklung hinaus. Moderne Stadtentwicklung in westlichen Industriestaaten ist bisher geprägt durch kontinuierliche Ausweitung der Siedlungsfläche, ungebrochenes Verkehrswachstum, funktionale Entflechtung bei gleichzeitiger Intensivierung der Nutzungen des Bestands in zentralen Lagen. Dieses Muster der Stadtentwicklung ist unverändert in Kraft.

Der Landschaftsverbrauch in der Bundesrepublik geht auf nahezu unvermindert hohem Niveau weiter. Täglich werden 120-130 ha Fläche Landschaft für Siedlungsfläche verbraucht (Dosch, 2002). Auch das Verkehrsaufkommen wächst, die Pendlerdistanzen und -zeiten nehmen zu. Die expansive Stadtentwicklung ist eng verbunden mit übergreifenden ökonomischen, sozialen und politischen Entwicklungen: mit Konzentrations- und Rationalisierungsprozessen in der Wirtschaft, mit der Kontinuität der auf das eigene Haus im Grünen gerichteten Wohnbedürfnisse, mit einem relativ hohen durchschnittlichen Einkommensniveau, mit erhöhten Erreichbarkeiten durch den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur, dem relativen Sinken von Mobilitätskosten und nicht zuletzt mit der funktional sortierenden Kraft der Bodenpreismechanismen, die weiterhin wirksam sind. Entscheidend kommt hinzu, dass bisherige Wohnungs-, Verkehrs- und Steuerpolitik die expansiven Mus-ter der Stadtentwicklung stützen. In den schrumpfenden Stadtregionen der neuen Bundesländer lag die Zuwachsrate der Siedlungs- und Verkehrsfläche im letzten Jahrzehnt sogar über dem Durchschnitt der alten Bundesländer; zum einen aufgrund des Nachholbedarfs, zum anderen als Resultat verfehlter Politik (Dosch, 2002). Gleichzeitig wachsen die innerstädtischen Brachen und die Leerstände im Wohnungs-, Industrie- und Gewerbebau; die Vorhaltung öffentlicher Infrastruktur wird durch die Ausdünnung immer unwirtschaftlicher. Hier ist das Ziel der Innenentwicklung weniger durch Nutzungsintensivierung und Nachverdichtungen zu erreichen, sondern eher durch eine koordinierte Extensivierung des Bestands mit dem Ziel der Aufwertung der Wohnungen in integrierten Lagen, die mit Wohnstandorten an der Peripherie konkurrieren können. Es ist eine planerische Herausforderung, für die es keine Routinen und Vorbilder gibt.

Entsprechend besteht weitgehend Konsens, dass eine Trendumkehr von der Außen- zur Innenentwicklung, mit dem Ziel, den Verkehr zu vermindern bzw. dessen Zuwachs abzuschwächen, Flächen und Energie zu sparen und den Boden zu schützen allein mit räumlicher Planung nicht zu schaffen ist, sondern nur im Zusammenwirken mit übergreifenden Strategien der Steuer-, Verkehrs-, Umwelt-, Rechts- und Wohnungspolitik, die in die gleiche Richtung steuern.

Um Verkehr zu vermeiden, auf umweltverträglichere Transportmittel zu verlagern und verträglicher zu machen, wird daher meist ein Bündel ineinander greifender Maßnahmen auf lokaler und überlokaler Ebene gefordert, in denen die räumliche Planung nur ein, wenn auch wichtiger Bestandteil ist. Den umfassendsten systematischen Überblick über Problemlagen und Steuerungsmöglichkeiten mit dieser Zielperspektive geben Apel/Henckel et al. (1995), die differenziert nach planungs- und ordnungsrechtlichen, fiskalischen, fördertechnischen und fachpolitischen Kriterien einen breit gefächerter Katalog an Steuerungsinstrumenten aufführen und hinsichtlich Wirkungsfeld, Reichweite und Kontrollierbarkeit charakterisieren:

- Grundsteuerreform
- verursachergerechte Kostenanlastung im Kfz-Verkehr durch Erhöhung der Mineralölsteuer
- Abschaffung der Kilometerpauschale
- Modifizierung der Eigenheimzulage
- Vorrang Städtebauförderung vor Wohnbauförderung
- ökologisch qualifizierte Wohnungsbauförderung usf.

Ähnlich grundlegend (und auch ähnlich weit entfernt von breitenwirksamer Umsetzung) sind die Reformanforderungen, die in diesem Zusammenhang für die regionale Ebene gestellt werden. Gefordert ist eine langfristig verbindliche regionale Siedlungskonzeption

mit restriktiver Handhabung in der Ausweisung neuer Siedlungsflächen. In diese Richtung stoßen Vorschläge, die mit folgenden Stichworten umrissen sind:
– neue regionale Kooperationsmodelle
– neue regionale Verwaltungsstrukturen
– regionales Flächenmanagement
– interkommunales Gewerbeflächenmanagement
– Konzepte gestaltender Regionalplanung

Diese Forderungen werden schon seit Jahren erhoben (BfLR, 1996; Apel et al., 1997; Dosch, 2002), aber die Umsetzung steckt nach wie vor in den Anfängen. Die Querschnittsaufgabe der Stadt- und Regionalentwicklung hat es schwer, sich gegen die Sektoralpolitiken wie Verkehrs- und Wohnungspolitik durchzusetzen.

3.1.6 Umsetzung des Leitbilds

Diese Diskrepanz zwischen Programm und Umsetzung charakterisiert zum Teil auch die kommunale Planungspraxis. Umfragen bestätigen, dass die meisten Großstadtgemeinden inzwischen den Schwerpunkt auf die Innenentwicklung verlagert und entsprechend ihre Stadtentwicklungsplanung orientiert haben. Wie hoch der Konsens hinsichtlich des Zieles der Nachverdichtung ist, zeigt eine Erhebung der Deutschen Instituts für Urbanistik: Danach verfolgte die deutliche Mehrheit (86 Prozent der Fälle) der befragten Städte bereits Mitte der neunziger Jahre überwiegend eine Entwicklung innerhalb des besiedelten Bereiches (Apel et al., 1997). Neuere Umfragen bei Planerinnen und Planern in über hundert deutschen Mittel- und Großstädten bestätigen, dass Leitbilder in der kommunalen Planungspraxis wieder eine große Rolle spielen (Spiekermann, 2001).

3.1.6.1 Stadtentwicklungsplanung

Seit der deutschen Wiedervereinigung haben fast alle Großstädte in der Bundesrepublik Stadtentwicklungspläne aufgestellt, in denen die sozialen, ökonomischen, baulich-räumlichen und verkehrlichen Schwerpunkte zukünftiger kommunaler Planung und Politik zusammengefasst sind. Den Anstoß gaben die weitreichenden Veränderungen, die sich durch den politischen Wandel und die beschleunigte Globalisierung der Wirtschaft für die Großstädte ergeben haben, wenngleich mit sehr unterschiedlichen Auswirkungen: im Westen einigungsbedingt Wirtschaftsboom und Zuwanderung, im Osten radikaler ökonomischer, rechtlicher und kultureller Umbruch, Kollaps des Industriesektors, Arbeitslosigkeit und Abwanderung.

In fast allen Stadtentwicklungsplänen der Großstädte hat das Leitbild der kompakten und durchmischten Stadt, wenngleich stets in Abwandlungen und Erweiterungen, eine fast hegemoniale Position eingenommen. Auf die knappste Formel wird das Leitbild im Münchner Stadtentwicklungsplan gebracht: „Kompakt, urban, grün" (Landeshauptstadt München, 1995). Nicht so griffig, aber im Inhalt ähnlich fallen die Leitlinien der Stadtentwicklungspläne anderer Städte aus – von Hamburg bis Saarbrücken. Inwieweit die strategischen Ziele im Planungsalltag durchgehalten werden können, ist erfahrungsgemäß vor allem eine Frage der örtlichen Planungskultur. Die Förderung dichter und funktionsgemischter Strukturen, die an die Tradition der Europäischen Stadt anknüpfen, soll eine Stadtentwicklung einleiten, die das soziale und kulturelle Ziel der Urbanität mit dem ökologischen Ziel der Nachhaltigkeit miteinander verknüpft.

Am Beispiel der Stadtentwicklungsstrategien von Frankfurt am Main und Leipzig wird zum einen deutlich, welch hoher Konsens bezogen auf die übergreifenden Leitlinien besteht, und zum anderen, wie sehr ihre Umset-

zung in Programmen und Projekten aufgrund der unterschiedlichen, vor allem ökonomischen Ausgangslage voneinander abweichen. Beide Städte haben in den neunziger Jahren der Stadtentwicklungsplanung ein großes Gewicht beigemessen und ihren Entwicklungskonzepten für die Stadt als Ganze das gleiche Leitbild der *kompakten und durchmischten Stadt* zugrunde gelegt (Magistrat der Stadt Frankfurt, 1995; Stadt Leipzig, 2000) (Abb. 3.7 u. 3.8). In Leipzig wurde es unter anderem in folgenden „Leitideen" schlagwortartig resümiert (Lütke-Daldrup, 1999): Stadterneuerung und Urbanität der europäischen Stadt, Wohnstandorte für alle Nachfragegruppen, Stadt der kurzen Wege und Leben in den Stadtteilen, Grüne Stadt Leipzig, Messestadt und Dienstleis-tungsmetropole mit gestärktem produzierendem Sektor. Die Stadt Frankfurt hat das Leitbild in drei „Leitmotiven" der Stadtentwicklung zusammengefasst (Wentz, 1999): Bewahren und Ausbauen, Verdichtung und Nutzungsmischung, Umweltverträglichkeit. In beiden Städten soll disperser Siedlungsentwicklung und ungesteuerter Suburbanisierung entgegengewirkt und der Innenentwicklung und Nachverdichtung Vorrang eingeräumt werden. Bestehende Funktionsmischung, ins-

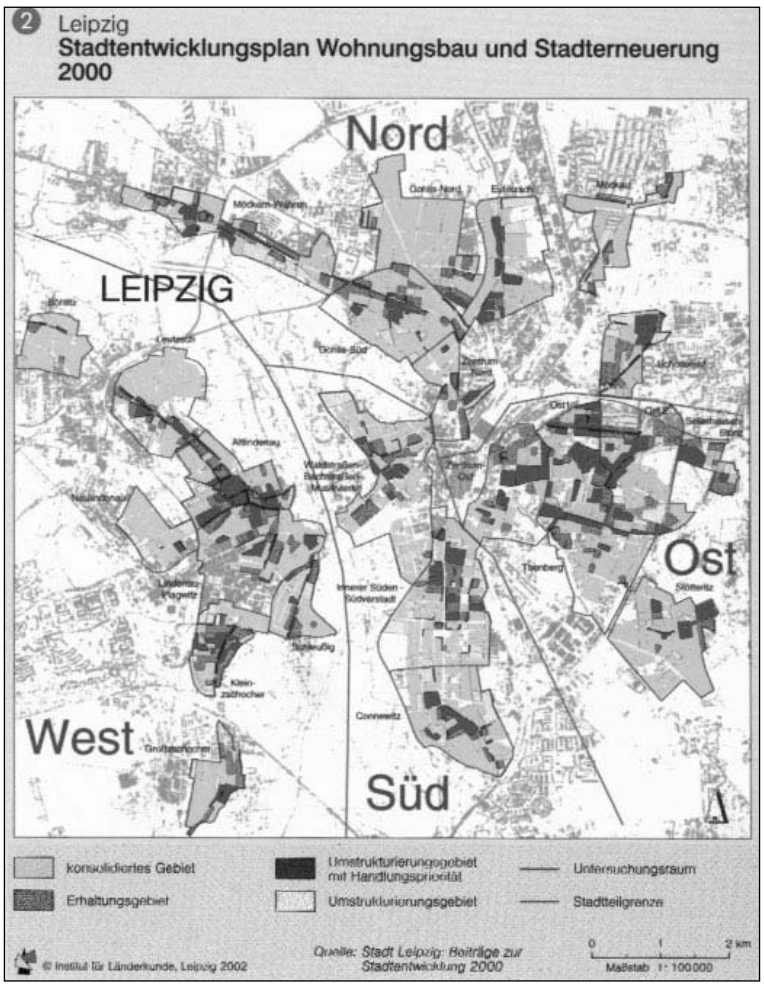


Abb. 3.7 Stadtentwicklungskonzept Leipzig 2000 (Stadt Leipzig)

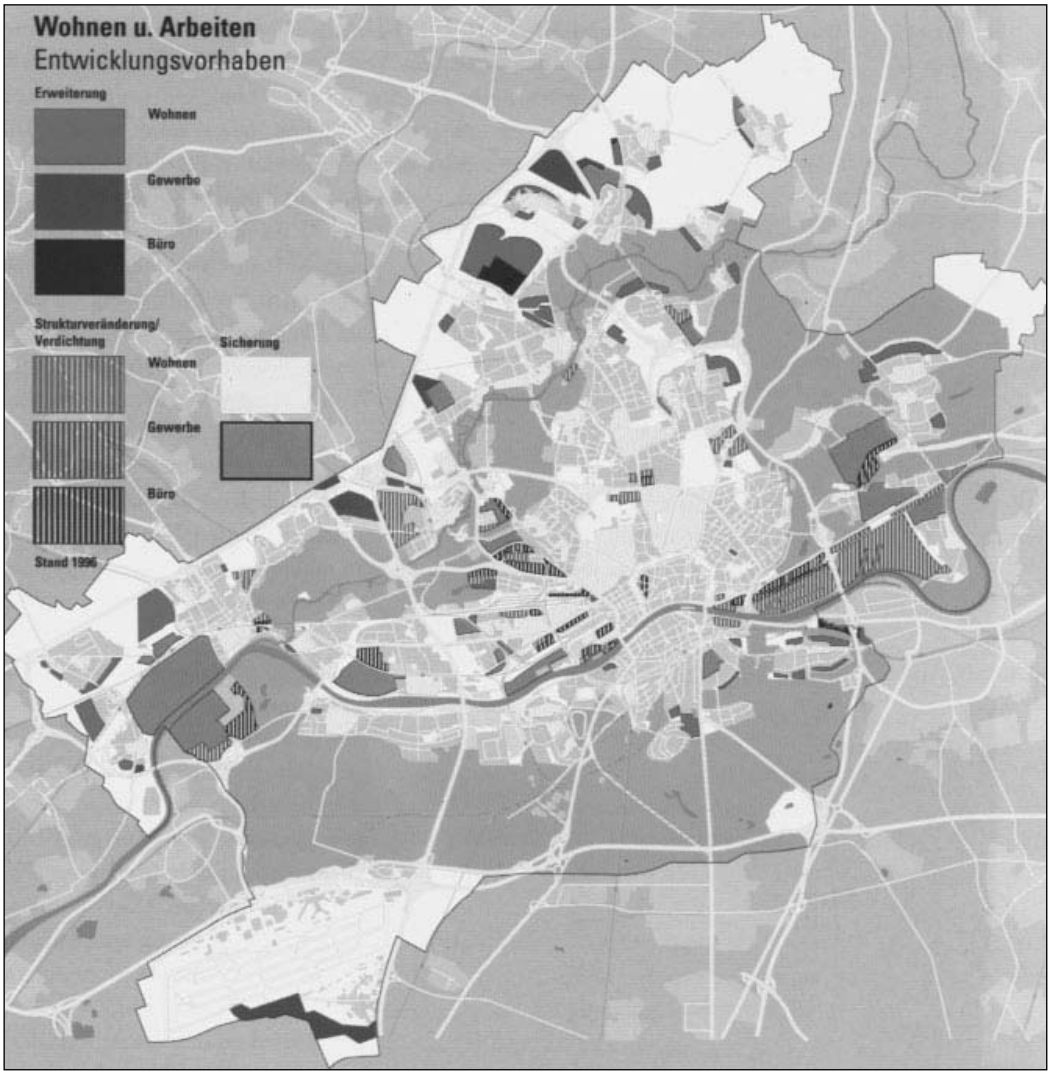


Abb. 3.8 Stadtentwicklung Frankturt am Main 1997. (Magistrat der Stadt Frankfurt a. M.)

besondere das innerstädtische Wohnen, und kleinräumige Versorgungsstrukturen sind zu erhalten. Der Stadtumbau auf Brachen soll genutzt werden, um Stadtteile untereinander besser zu verflechten, das innerstädtische Wohnen zu stärken und Flächen für Gewerbe auch in stadtnahen Lagen zu sichern. Gleichzeitig müssen ausreichend Erweiterungsflächen insbesondere für den Dienstleistungssektor bereitgestellt werden. Soweit Stadterweiterungen erforderlich sind, soll dies für alle Nutzungen möglichst in verdichteten und gemischten Formen geschehen. Die Ansprüche des wachsenden Verkehrs sind mit ökologischen Anforderungen in Einklang zu bringen. Der öffentliche Raum ist aufzuwerten, städtisches Grün muss ausgebaut und vernetzt werden. Die Umsetzung in Projekte und Programme dieser in beiden Städten nahezu gleichgerichteten Zielsetzungen stellt sich angesichts ihrer konträren

Ausgangslagen sehr unterschiedlich dar. Dies zeigt sich in den städtischen Strategien für die Gründerzeitquartiere, für den Citykern sowie für die Stadtumbauprojekte auf innerstädtischen Brachflächen. In Frankfurt stand und steht die Stadtplanung stets vor dem Problem, vorhandenen Entwicklungsdruck aufzufangen, ihn räumlich zu steuern und ökonomisch schwache, aber sozial, ökologisch oder kulturell wichtige Nutzungen zu schützen, um städtische Vielfalt zu erhalten und zu stärken. In Leipzig dagegen bedeutet Stadtentwicklung im innerstädtischen Bereich derzeit, für einen Überschuss an Gebäuden und Flächen tragfähige Nutzungen zu suchen oder zu erfinden, die Stadt für Investitionen attraktiv zu machen und teilweise auch den „Rückbau" bzw. die Ausdünnung der Stadtstruktur so zu gestalten, dass die Elemente der kompakten und nutzungsgemischten Stadt, also die Essenz des Urbanen, nicht verloren geht.

3.1.6.2 Potentialanalysen und Bodenflächenmanagementkonzepte

Voraussetzung für Stadtentwicklungskonzepte, die dem Leitbild der kompakten und durchmischten Stadt verpflichtet sind, bilden umfassende Kenntnisse über die vorhandenen Flächenpotentiale und die Voraussetzungen für ihre erfolgreiche Mobilisierung (vgl. Dosch, 2002; Landeshauptstadt Stuttgart, 2003). Modellbildend hinsichtlich Systematik und Methodik war für viele kommunale Ermittlungen der Flächenpotentiale im Bestand die Untersuchung von Lütke-Daldrup (1989), der am Beispiel des Umweltverbands Frankfurt/Main das Nachverdichtungspotential im regionalen Maßstab ermittelt hat.

Sehr viele Gemeinden haben in den vergangenen zehn Jahren Untersuchungen mit gleicher Zielsetzung und nach ähnlichem Muster durchgeführt, wenngleich meist räumlich begrenzter und methodisch weniger aufwendig – häufig im Zusammenhang mit der Vorbereitung von Stadtentwicklungsplänen oder Flächennutzungsplanfortschreibungen, in denen fast immer ein erhebliches Potential für Nachverdichtung im Bestand ermittelt wurde. In einer summarischen Bewertung für die Bundesrepublik kommt Dosch (2002) aufgrund der Baulandumfrage für neunzig Prozent aller Kommunen der Bundesrepublik zu dem Ergebnis, dass sie „unter Berücksichtigung vorhandener Baulandreserven (Wiedernutzungspotentiale, Baulücken) mittelfristig ... zurzeit vorhandene und mittelfristig erwartete Wohnbaulandbedarfe rechnerisch abdecken" können.

Grundlegend für die Potentialanalysen ist allerdings der Unterschied zwischen rechnerisch ermittelten und tatsächlich kurz-, mittel- und langfristig mobilisierbaren Flächen. Dabei erweist sich die Abschätzung der Restriktionen als schwierig. Ob Potentiale ausgeschöpft werden können, kann von vielen und sehr unterschiedlichen Umständen abhängen: Eigentümerinteressen, baurechtliche Engpässe, Widerstand von Bewohnern und Nachbarn, kommunalpolitische Konstellationen, technische Hindernisse (z.B. Leitungen, Stellplatzverpflichtungen, Altlasten) – um nur die wichtigsten zu nennen.

Einen Schritt weiter gehen Ansätze, die die Ergebnisse der Potentialanalysen in Datenbanksystemen verfügbar machen. Städtische Akteure können wichtige Daten einspeisen und abrufen. Ziel ist eine engere wechselseitige Information und Kooperation der zuständigen kommunalen Behörden (Stadtplanung, Wirtschaftsförderung etc.) untereinander sowie mit anderen beteiligten Institutionen und Akteuren. Aktuelle konkrete Informationen über verfügbare Flächen sollen möglichst einfach all denen zugänglich gemacht werden, die bei der Entwicklung der Nachverdichtungs- und Umnutzungsflächen hilfreich sein können. Auf diese Weise soll auch eine Informationsbasis für ein innerbehördliches Projektmanagement gelegt werden.

3.1.6.3 Neue Stadtteile

Leitbilder sind allgemeine Zielformulierungen, die in den weiteren Schritten der räumlichen Planungen konkretisiert werden müssen und als Leitlinie für Einzelentscheidungen dienen sollen. Entsprechend liegt auch städtebaulichen Einzelprojekten unterschiedlicher Körnung – vom komplexen Einzelvorhaben bis zur großflächigen Umnutzung innerstädtischer Brachen – vielfach das Leitbild der kompakten und durchmischten Stadt zugrunde. Besonders anschaulich wird dies in den neuen Stadtteilen, die in vielen Großstädten in Referenz zu diesem Leitbild in jüngerer Zeit entstanden sind oder derzeit errichtet werden. Städtebaulich hat sich dies in der Wiederaufnahme der Blockbebauung, der Rückkehr zur Korridorstraße und einer angestrebten kleinräumigen Nutzungsmischung bei der Planung neuer Stadtteile manifestiert. Es sollen Stadtteile statt Siedlungen entstehen. Begünstigend wirkt sich aus, dass seit Beginn der achtziger Jahre ökonomischer und politischer Wandel große Industrie-, Verkehrs- und Militärbrachen in innerstädtischen Lagen hinterlassen haben. Die zahlreichen Stadtumbauprojekte, die die Kommunen in den vergangenen Jahren auf ehemaligen Brachen in Angriff genommen haben, können wesentliche Beiträge zur Innenentwicklung leisten. Hierzu zählen zum Beispiel die Konversionsprojekte wie der neue Stadtteil Scharnhauser Park in Ostfildern bei Stuttgart und das Vauban Quartier in Freiburg, Umnutzungen von Industriebrachen zu neuen Quartieren wie das Deutschherrenviertel auf dem alten Frankfurter Schlachthofgelände oder die Rummelsburger Bucht in Berlin. Aber auch Stadterweiterungen orientieren sich an diesem Leitbild wie Potsdam-Kirchsteigfeld oder Hamburg-Allermöhe-West. Etwas ausführlicher vorgestellt wird das Tübinger Konversionsprojekt „Südstadt/Französisches Viertel“.

Durch den Abzug des französischen Militärs Anfang der neunziger Jahre war im Süden der Stadt Tübingen ein 60 Hektar großes Gelände frei geworden. Orientiert an dem Sanierungskonzept für die Tübinger Altstadt entsteht dort an der städtischen Peripherie ein urbanes Quartier. Um die Fläche flexibel nutzen zu können, ist es komplett als Mischgebiet ausgewiesen und klein parzelliert worden. Das Konzept zielt auf Nutzungsmischung, hohe Dichte, öffentlichen Raum und Bürgerengagement. Das gesamte Gebiet wird in geschlossener Bauweise mit drei- bis fünfgeschossigen Häusern bebaut. Es wird mit flexiblen Wohnformen experimentiert, die Arbeiten und Wohnen in eine enge Verbindung setzen. Mit der Aufteilung in kleine Grundstücke will man Monostrukturen vorbeugen. Eine Vielzahl von Einzeleigentümern unterschiedlicher sozialer Herkunft und ökonomischer Leistungsfähigkeit soll eine urbane Stadtteilöffentlichkeit begründen. Die von Hoffmann Axthelm schon 1990 (vgl. auch 1996) in die Fachdebatte gebrachte Reaktivierung der Parzelle als kleinster Stadtbaustein wurde zum ersten Mal und besonders konsequent in diesem Konzept für die Tübinger Südstadt umgesetzt (Feldtkeller, 2001). Diese Projekte erfordern von Stadtplanern neue Vorgehensweisen: Die Vermarktungsstrategien richten sich nicht mehr an den professionellen Investor, sondern an den Bürger, an Haushaltsgruppen, an kleinere Betriebe oder Gruppen von Betrieben.

Gesamtstädtische Strategien wie auch komplexere städtebauliche Vorhaben, die am Ziel einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung orientiert sind, werden durch Begleitforschungen vor allem des Bundes unterstützt. Als Beispiel wird auf die ExWost-Forschungsfelder „Städte der Zukunft“ und „Nutzungsmischung im Städtebau“ (Breuer et al., 2000) und deren Modellvorhaben verwiesen.

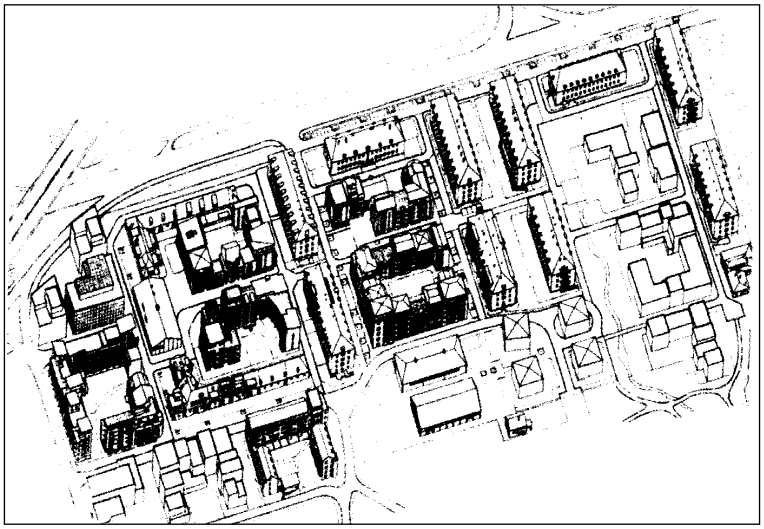


Abb. 3.9 Beispiel für die städtebauliche Umsetzung des Leitbilds der kompakten und nutzungsgemischten Stadt: Rahmenplan Tübingen Südstadt – Französisches Viertel. (Feldtkeller, 2001)

Abb. 3.10 Tübinger Südstadt – Französisches Viertel.
(Breuer et al., 2000)

3.1.7 Fazit

Angesichts der widersprüchlichen Anforderungen, mit denen räumliche Planung heute konfrontiert ist, sind in sich widerspruchsfreie Leitbilder der Stadtentwicklung nicht mehr möglich. So steht die Stadtplanung vor dem Widerspruch, einerseits ohne Leitbilder nicht planen zu können, und andererseits zu wissen, dass es umfassende und zugleich konsistente Leitbilder nicht geben kann. Darin spiegelt sich der unauflösliche Grundkonflikt in der Stadtentwicklung, der sich unter den Bedingungen sinkender finanzieller Spielräume und vor allem schrumpfender Stadtentwicklung weiter zuspitzen wird: Wie kann es in den Städten Auskommen, Unterkunft und Sicherheit für möglichst alle geben? Wie können gleichzeitig möglichst viele in den Genuss der Vorzüge städtischer Lebensweise wie indivi-

duelle Freiheit, Mobilität, Vielfalt, Unabhängigkeit kommen? Wie kann man gleichzeitig die natürlichen Ressourcen als ein Fundament der Stadtentwicklung dauerhaft sichern? Hierfür werden Leitbilder benötigt und gleichzeitig muss gewärtig bleiben, dass sie nur zeitlich und räumlich begrenzt Orientierung bieten können.

Literatur

Albers, G. (1965): Städtebau zwischen Trend und Leitbild. Dortmunder Vorträge Heft 45. Dortmund

Albers, G. (1992): Stadtplanung. Eine praxisorientierte Einführung. Darmstadt

Apel, D.; Lehmbrock, M.; Pharoah, T; Thiemann-Linden, J. (1997): Kompakt mobil, urban: Stadtentwicklungskonzepte zur Verkehrsvermeidung im internationalen Vergleich. Deutsches Institut für Urbanistik (DIfU) Berlin

Apel, D.; Henckel, D.; Bunzel, A.; Floeting, H.; Henkel, M. J.; Kühn, G.; Lehmbrock, M.; Sander, R. (1995): Flächen sparen, Verkehr reduzieren. Möglichkeiten zur Steuerung der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung. DIfU – Beiträge zur Stadtforschung 167. Berlin

Aring, J.; Schmitz, S.; Wiegandt, C.-C. (1995): Nutzungsmischung – planerischer Anspruch und gelebte Realität. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 6-7, S. 507-523.

Aring, J.; Altena, O.; Pfeiffer, U. (1997): Chancen für Nutzungsmischung aus der Sicht von Investoren. Materialien zur Raumentwicklung. Bonn Heft 81

Becker, H.; Jessen, J.; Sander, R. (Hrsg.) (1998): Ohne Leitbild? Städtebau in Deutschland und Europa. Stuttgart/Zürich

Beckmann, K. J. (1995): Stadtverkehr und Nutzungsmischung. Was kann Nutzungsmischung leisten? In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 6-7, S. 443-462

Bose, M. (1997): Aktuelle Leitbilder, Konzepte und Strategien im ideengeschichtlichen Kontext. In: Bose, Michael (Hrsg.): Die unaufhaltsame Auflösung der Stadt in der Region? Hamburg

Breuer, B.; Müller, W.; Wiegandt, C.-C. (2000): Nutzungsmischung im Städtebau. Endbericht. In: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Werkstatt: Praxis 2, Bonn.

Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumforschung (BfLR) (1996): Nachhaltige Stadtentwicklung. Herausforderungen an einen ressourcenschonenden und umweltverträglichen Städtebau. Bonn

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (BMBau) (Hrsg.) (1993): Raumordnungspolitischer Orientierungsrahmen – Leitbilder für die räumliche Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland, Bonn

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMVBW + BMZE) (Hrsg.) (2001): Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung. Nationalbericht der Bundesrepublik Deutschland zur 25. Sondersitzung der Generalversammlung der Vereinten Nationen („Istanbul+5“), Berlin

Cervero, R. (1989): Jobs – Housing Balancing and Regional Mobility. In: Journal of the American Planning Association. Vol. 55

Dörnemann, M.; Gertz, C.; Holz-Rau, C.; Rau, P.; Wilke, G. (1995): Verkehrsvermeidung. Siedlungsstrukturelle und organisatorische Konzepte. In: Materialien zur Raumentwicklung. Heft 73

Dosch, F. (2002): Auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Flächennutzung? In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1, S. 31-45

Durth, W. (1987): Leitbilder im Städtebau. In: Stadt, Kultur, Natur. Chancen künftiger Lebensgestaltung. Bericht der Kommission „Architektur und Städtebau von Baden-Württemberg“. Stuttgart, S. 42-49

Feldtkeller, A. (Hrsg.) (2001): Städtebau: Vielfalt und Integration. Neue Konzepte für den Umgang mit Stadtbrachen, Stuttgart/München

Gwiasda, P. (1999): Nutzungsmischung. Stadt der kurzen Wege für die Bewohner? In: Brunsing, J. u. Frehn, M. (Hrsg.): Stadt der kurzen Wege. Zukunftsfähiges Leitbild oder planerische Utopie? Dortmund, S. 23-36

Handy, S. (1992): Regional versus Local Accessibility. In: Built Environment. Heft 4, S. 253-267

Hesse, M. (1999): Die Logik der kurzen Wege: Räumliche Mobilität und Verkehr als Gegenstand der Stadtforschung. In: Erdkunde. Band 53, S. 317-329

Hoffmann-Axthelm, D. (1996): Anleitung zum Stadtumbau. Frankfurt/New York

Holz-Rau, C. (1991): Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Verkehr. Verkehrsverhalten beim Einkauf. In: Internationales Verkehrswesen Heft 7-8

Holz-Rau, C. (1997): Verkehrskonzepte für Stadtregionen. In: Bose, Michael (Hrsg.): Die unaufhaltsame Auflösung der Stadt in der Region? Hamburg, S. 57-76

Holz-Rau, C. u. Gwiasda, P. (1999): Nutzungsmischung und Stadt der kurzen Wege. Werden die Vorzüge einer baulichen Mischung im Alltag genutzt? In: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Werkstatt: Praxis, Nr. 7, Bonn.

Holz-Rau, C. u. Kutter, E. (1995): Verkehrsvermeidung. Siedlungsstrukturelle und organisatorische Konzepte. In: Materialien zur Raumentwicklung, Heft 73

Jenks, M.; Burton, E.; Williams, K. (Hrsg.) (1996): The Compact City. A Sustainable Form. London, New York

Jessen, J. (1997): Führt das städtebauliche Leitbild der kompakten und durchmischten Stadt zur Stadt der kurzen Wege? In: M. Bose (Hrsg.): Die unaufhaltsame Auflösung der Stadt in die Region? Harburger Berichte zur Stadtplanung Bd.9. Hamburg, S. 77-100

Jessen, J. (1999): Planung städtebaulicher Nutzungsmischung in Europa. Erfahrungen und Empfehlungen. In: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Werkstatt: Praxis Nr. 2, Bonn.

Jessen. J. (2002): Leitlinien der Stadtentwicklung – die Beispiele Frankfurt und Leipzig. In: Institut für Länderkunde, Leipzig (Hg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 5: Dörfer und Städte. Heidelberg/Berlin, S.152-153

Kutter, E. (1993): Eine Rettung des Lebensraumes Stadt ist nur mit verkehrs-integrierender Raumplanung möglich. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 5-6, S. 283-294

Landesentwicklungsplan Baden-Württemberg (LEP) (2002) Stuttgart

Landesentwicklungsplan Berlin/Brandenburg (LEP) (1993), Berlin, Potsdam

Landeshauptstadt München (1995): Stadtentwicklungsplan: kompakt – urban – grün, Neue Wege der Siedlungsentwicklung. München

Landeshauptstadt Stuttgart (2003): Nachhaltiges Bauflächenmanagement Stuttgart (NBS). Beiträge zur Stadtentwicklung 34. Stuttgart

Lütke-Daldrup, E. (1999): Stadtentwicklung im Zeitraffer. In: Ders. (Hrsg.) Leipzig: Bauten 1989-1999. Basel, Berlin, Boston

Lütke-Daldrup, E. (1989): Bestandsorientierter Städtebau. Möglichkeiten, Auswirkungen und Grenzen der Innenentwicklung, Dortmund.

Magistrat der Stadt Frankfurt, Dezernat Planung (1995): Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main

Müller-Raemisch, H.-R. (1990): Leitbilder und Mythen in der Stadtplanung 1945-1985. Frankfurt am Main

Newman P. W. G. u. Kenworthy, J. R. (1989): Cities and Automobile Dependancy. Aldershot

Pfeiffer, U. u. Aring, J. (1993): Stadtentwicklung bei zunehmender Bodenknappheit. Stuttgart.

Sieverts, T. (1996): Zwischenstadt. Braunschweig, Wiesbaden

Spengelin, F. (1983): Ordnung der Stadtstruktur. In: Akademie für Raum- und Landesplanung (ARL) (Hrsg.): Grundriss der Stadtplanung. Hannover, S. 255-385

Spiekermann, K. (2001): Leitbilder der räumlichen Stadtentwicklung. In: RaumPlanung, Heft 100, S. 38-43

Stadt, Kultur, Natur. Chancen künftiger Lebensgestaltung (1987). Bericht der Kommission „Architektur und Städtebau von Baden-Württemberg“ im Auftrag der Landesregierung Baden-Württemberg. Stuttgart

Stadt, Leipzig (2000): Stadtentwicklungsplan. Beiträge zur Stadtentwicklung 28 und 30 Leipzig 2000

Streich, B. (1986): Zum Begriff und zur Entstehung von städtebaulichen Leitbildern. In: Archiv für Kommunalwissenschaften Heft 1, S. 24-37

Topfstedt, T. (1999): Wohnen und Städtebau in der DDR. In: Flagge, Ingeborg (Hrsg.): Geschichte des Wohnens. Von 1945 bis heute. Aufbau – Neubau – Umbau. Band 5. Stuttgart, S. 419-529

Wentz, M. (1996): Strategien und Rahmenbedingungen von Stadtentwicklung. In: Ders. (Hrsg.): Stadtentwicklung. Frankfurt/Main, New York, S. 12-20

Wohnen in Berlin (1999): Ausstellung 100 Jahre Wohnungsbau in Berlin. Katalog. Hrsg. von der Arbeitsgemeinschaft der Berliner Wohnungsbaugesellschaft. Berlin

3.2 Szenarien zur künftigen Entwicklung

3.2.1 Rahmenbedingungen und Tendenzen

Die Zukunft des Stadtverkehrs bestimmt die Zukunft der Stadt. Diese Umkehrung der These – die Zukunft der Stadt determiniert den Verkehr – pointiert die Abhängigkeiten zwischen Stadt und Verkehr und soll deutlich machen, dass Verkehr ohne umweltgerechtes Leben sinnlos wird und vice versa Stadt ohne Verkehr nicht lebensfähig ist. Strategien und Handlungskonzepte müssen auf eine Versöhnung des Verkehrs mit der Stadt zielen. Die nicht erst seit der Formulierung der Charta von Athen (Le Corbusier, 1962) im Mittelpunkt der Stadt- und Verkehrsplanung stehende Frage, ob und inwieweit die Siedlungs- und Stadtstruktur auf eine Minimierung des Verkehrs ausgerichtet werden können, ob ein ökologischer Umbau der Stadt auch das Verkehrsaufkommen nachhaltig und langfristig beeinflussen könnte, blieb bis heute unbeantwortet. Die darauf abzielenden Konzepte verkennen, dass die „gebaute Umwelt“ eine statische, skalare, mittel- bis langfristig festgeschriebene Größe ist, die auch nur in längeren Zeiträumen verändert werden kann. Maßgebend für den vektoriell nach Quelle und Ziel definierten Verkehr aber sind die Nutzungen und die daraus ableitbaren Aktivitäten des Menschen im Raum, die zwar nicht unabhängig von dieser statischen Komponente sind, jedoch von sozialen, ökonomischen, technischen und zahlreichen anderen Einflüssen abhängen, die einem fortwährenden Wandel unterworfen sind und sich nicht einmal mittelfristig festschreiben lassen. Die Verkehrsinfrastruktur stellt in diesem Zusammenhang ein notwendiges, aber keineswegs hinreichendes Angebot dar, um diese Aktivitäten ausführen zu können. Der Verkehr übernimmt also eine zentrale, dienende Funktion, ist Folge der Aktivitäten des Menschen im Raum. Andererseits erweitert die Verkehrsinfrastruktur den Aktionsraum, ermöglicht neue Nutzungen und Substitutionen der Gelegenheiten und erhöht das Verkehrsaufkommen, insbesondere die Verkehrsleistung. Die Aktivitäten sind darüber hinaus abhängig von zahlreichen Rahmenbedingungen, deren Entwicklung den zukünftigen Verkehr ebenfalls beeinflussen. Diese Rahmenbedingungen umfassen demographische, wirtschaftliche, siedlungsstrukturelle, technische und andere, mit zahlreichen dynamischen Komponenten verbundenen Entwicklungen.

Die Abhängigkeit der unterschiedlichen Komponenten und ihr vielfältiger Einfluss auf die Mobilität machen den Verkehr zu einem komplexen System, das – geprägt durch das schon Vorhandene als „Fait accomplit“ – den Handlungsspielraum einschränkt (Marquard 1987) und in Modellvorstellungen nur unvollkommen darstellbar und prognostizierbar ist. Zielführende Lösungen sind daher nur erreichbar durch eine große Zahl kleiner, wohl aufeinander abgestimmter Schritte.

Die demographische Entwicklung mit der Tendenz einer Abnahme der deutschen und Zunahme der ausländischen Bevölkerung sowie zahlreichen Wanderungsbewegungen wird zunehmend die Verdichtungsräume erweitern und die ländlichen und strukturschwachen Räume schwächen. Der Versuch, das Wachstum der Verdichtungsräume an einer umwelt- und verkehrsgerechten Erschließung zu orientieren, wird nicht allein durch die bereits heute rechtlich fixierten Bauleitplanungen in den Gemeinden im Umland der Kernbereiche in Frage gestellt, sondern auch durch die Unmöglichkeit, die die Mobilität beeinflussenden Strukturen festzuschreiben. Der Druck auf die Ausweisung neuer Wohngebiete wird nicht nur durch die Wanderungsbewe-

gungen, sondern auch durch eine fortschreitende Erhöhung der spezifischen Wohnfläche verstärkt.

Ein ähnlich dynamischer Wandel kennzeichnet die Wirtschaftsstruktur mit der Tendenz zu einem weiteren Übergang vom primären zum sekundären und insbesondere zum tertiären Sektor, wobei die heutige statistische Abgrenzung den tatsächlichen strukturellen Wandel nicht einmal in Ansätzen wiedergibt, da ein großer Anteil der dem primären und sekundären Sektor zugeordneten Beschäftigten tatsächlich dem Dienstleistungssektor zugeordnet werden muss. Tertiärer Sektor aber bedeutet Zuwachs an Mobilität. Mit den modernen Informationssystemen tut sich ein Sektor auf, dessen Einfluss auf den Verkehr zurzeit kaum abschätzbar ist. Wenn auch das frei verfügbare Einkommen nicht mehr im selben Umfang ansteigt wie in der Vergangenheit, werden die zunehmende Emanzipation der Frau, der Übergang zu kleineren Haushaltsgrößen (Anwachsen der Ein- und Zweipersonenhaushalte) und die Flexibilisierung der Arbeitszeit und die durch Mobilität geprägte Lebenszeitverlängerung ebenfalls zu einer Zunahme der Mobilität beitragen. Aber auch hier vollziehen sich Wandlungsprozesse, deren Einflüsse auf das Mobilitätsverhalten nicht absehbar sind. Eine gewisse Dämpfung wird sicher der steigende Energiepreis bewirken.

Ähnliche und weitere strukturelle Änderungen beeinflussen auch den Güterverkehr. Die Zunahme der Gewerbegebiete an den Rändern der Verdichtungsräume und in der Nähe leistungsfähiger Straßen, die Abnahme der bahnaffinen Güter, die Zunahme der Konsumgüter, der internationale Warenaustausch gerade im Konsumgüterbereich, die Verlagerung lohnintensiver Produktionsbereiche in das Ausland und der sinkende Anteil der Transportkosten an den Stückkosten lassen die von allen Prognostikern dargestellten Zuwächse des Straßengüterverkehrs als sicher erscheinen (BMV, 1992).

Alle hier nur in Ansätzen dargestellten und darstellbaren Entwicklungen der den Verkehr beeinflussenden Determinanten zielen auf eine Zunahme der Anteile des motorisierten Individualverkehrs. Diese Tendenz gilt ebenso für den Stadtverkehr, wenn auch nicht in gleichem Umfang, da für ihn der nicht-motorisierte und öffentliche Personenverkehr Alternativen bieten. Obwohl viele Anzeichen dafür sprechen, dass in Zukunft erhebliche Trendbrüche oder Instabilitäten auftreten werden, ist zumindest kurz- bis mittelfristig noch mit einer Fortsetzung der bisherigen Entwicklung zu rechnen (in den Prognosen dargestellt als Trend), sofern nicht für den Verkehrsbereich eine Reihe selektiver, auch die Rahmenbedingungen beeinflussende Maßnahmen getroffen werden. Dazu gehören investive, betriebliche, siedlungsstrukturelle, technische, ordnungs-, finanz- und preispolitische Vorgaben, z.B. zur Stützung technischer Konzepte, deren Realisierung zur Reduktion des Verbrauchs, des Lärms und der Schadstoffe unabdingbar sind:

- Zunahme der variablen Kosten des Verkehrs,
- Erhöhung der Kraftfahrzeugsteuer auf Motoren mit hohem Verbrauch und Kohlendioxidausstoß,
- Vorgabe von Grenzwerten für einzelne Schadstoffkomponenten und
- Förderung alternativer Antriebe (Elektro- und Wasserstoffmotor, Dual-Mode-Antrieb),
- Straßennutzungsgebühren für Personen- und Güterverkehr auf ausgewählten Streckenabschnitten.

Diese auf den Fahrzeug- und Verkehrsbereich ausgerichteten Maßnahmen haben auch eine Reihe positiver Auswirkungen auf den Stadtverkehr. Wie zahlreiche Untersuchungen (z.B. Hopf et al., 1990) zeigen, weisen die techni-

schen Maßnahmen die größten Potentiale zur Reduktion von Schadstoffen auf. Sie sind jedoch teilweise wirkungslos, wenn sie nicht durch andere Maßnahmen gestützt und begleitet werden.

Neben den auf die Rahmenbedingungen ausgerichteten Konzepten müssen sich alle weiteren, direkten Strategien und Maßnahmen am Leitbild eines umweltgerechten Stadtverkehrs orientieren. Diese Maßnahmen sollten zu integrierten Verkehrskonzepten gebündelt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen analysiert werden. Eine solche Betrachtung bezieht sich dabei auf

- Einbeziehung aller Verkehrsarten (Personen- und Güterverkehr) und Verkehrsmittel (Fußgänger-, Rad-, motorisierter Individualverkehr und öffentlicher Personenverkehr),
- Berücksichtigung aller Maßnahmen,
- an Zielen orientierte, umfassende Bewertung der Konzepte.

Um möglichst zahlreiche Einflüsse zu erfassen, sollten derartige integrierte Verkehrskonzepte im Rahmen von Szenarien untersucht werden.

Im Mittelpunkt steht die Forderung nach Einheit von Stadt- und Verkehrsplanung. Ein bedeutender Schritt erfolgte durch Buchanan (1965) zu Beginn der sechziger Jahre mit seinem Vorschlag zur Einteilung der Stadt in Quartiere (Environmentzonen), die selbst in Form der in Deutschland seit den achtziger Jahren flächenhaften Verkehrsberuhigung den eigentlichen städtebaulichen Charakter dieser Vorschläge nur in Ansätzen erkennen lässt. Das Quartier macht die Stadt überschaubar und wird damit zu einem identitätsstiftenden Element der Stadtplanung, das neben dem kurzfristigen Effekt der Verkehrsberuhigung auch mittel- und langfristige Planungselemente einbeziehen sollte, langfristig im Sinne einer Umgestaltung der Stadt. Die Identifizierung des Bürgers mit „seinem“ Quartier führt durch zusätzliche, von ihm ergriffene Maßnahmen zu dieser Umgestaltung. Zunächst steht zwar die Forderung nach Verkehrsberuhigung im Vordergrund, d. h. nach Verlangsamung des Kraftfahrzeug- und Ausschluss des Durchgangsverkehrs. Dennoch muss die Quartierbildung die langfristigen städtebaulichen Potentiale berücksichtigen, ohne kurzfristige Änderungsmöglichkeiten auszuschließen – ausgehend von räumlichen und funktionalen städtebaulichen Aspekten, von der Nutzung und von der Gliederung und Gestaltung des Verkehrsnetzes.

Neben den städtebaulichen Zielen erhalten jene nach größerer Sicherheit, geringerem Lärm und weniger Schadstoffen Vorrang. Sie werden erreicht durch eine Reduktion der Geschwindigkeit der Kraftfahrzeuge, wobei Elemente der Möblierung, Aufpflasterungen und alternierendes Parken behutsam gewählt werden sollten. Sie erzeugen oftmals eine dynamische Fahrweise mit häufigen Beschleunigungs- und Bremsvorgängen und erhöhen damit die Emissionen. Die Gestaltung des Straßennetzes im Hinblick auf Fußgänger und Radfahrer auch unter Berücksichtigung des öffentlichen Verkehrs gewinnt höchste Priorität.

In Altbaugebieten bereiten die Parkmöglichkeiten große Probleme, deren Lösung dazu beitragen kann, ein Abwandern aus dem Quartier zu verhindern. Die Gegenüberstellung von Nachfrage und vorhandenem Angebot liefert eine Übersicht über die Notwendigkeit, Anwohner durch Anwohnerparkausweise zu bevorrechtigen, die marktwirtschaftlich orientiert mit Gebühren zu belegen sind, um damit künftige Parkmöglichkeiten zu schaffen und den Straßenraum als Wohnumfeld zu verbessern. Mit einer solchen Parkraumbewirtschaftung wird darüber hinaus der quartierfremde Verkehr verdrängt und die Verlagerung auf öffentliche Verkehrsmittel gefördert. Umfangreiche Analysen über Nutzungen sind notwendig, um Aufschluss auch über die Parkplatzanfor-

derungen für den Besucher- und Lieferverkehr zu geben.

Die Einteilung in Quartiere und die damit verbundene Verlagerung des Durchgangsverkehrs auf das umgebende Straßennetz bündeln den Verkehr und bieten große Vorteile im Hinblick auf die Lärm-, Schadstoff- und Unfallreduktionen. Die Forderung nach Funktionsfähigkeit des Hauptverkehrsstraßennetzes bedeutet keineswegs eine nachfrageorientierte Ausrichtung oder Bemessung der Straßen und Knotenpunkte, sie ist zu verbinden mit einer abgestuften, angebotsorientierten Gliederung des Straßennetzes nach hierarchischen Gesichtspunkten. Diese Hierarchisierung der Netzelemente basiert im städtischen Individualverkehr auf einer von außen nach innen abnehmenden Qualität (Leis-tungsfähigkeit). Am Beispiel des Radialringsys-tems führt dieses Prinzip

- zu einem hochleistungsfähigen äußeren Ring zur Aufnahme des Durchgangsverkehrs und Verteilung des Quell-Ziel-Verkehrs, aber auch mit der Möglichkeit, Teile des Binnenverkehrs über diesen Außenring zu führen,
- zu einem mittleren Ring mit ausreichender, guter Verkehrsqualität (je nach Stadtgröße zwei oder vier Fahrstreifen),
- zu einem inneren Ring geringer Verkehrsqualität, möglichst als Einbahn-Ring mit koordinierter Signalsteuerung.

Die Ringstraßen verbinden Radialen ebenfalls mit einer von außen nach innen abgestuften Qualität. Ein solches Prinzip gilt nicht nur für Radialringsysteme; die Hierarchisierung ist auch bei Rastersystemen möglich, bei denen eine Gleichverteilung des Verkehrs unbedingt zu vermeiden ist.

Im Gegensatz zu diesem Konzept für den motorisierten Individualverkehr sollte der ÖPNV auf den Kernbereich ausgerichtet werden mit einer Zunahme der Qualität (z.B. Zugfolge) in Richtung Stadtmitte, ohne jedoch die Tangentialströme zu vernachlässigen.

Betrachtet man die heute diskutierten Maßnahmen zur Verbesserung des städtischen Lebensraumes, so lässt sich eine Reihe von Szenarien entwickeln, die sich aus einer Vielzahl von zielorientierten Einzelmaßnahmen zusammensetzen und sich auf folgende Bereiche erstrecken

- Siedlungsstruktur und Ökologie,
- Neu-, Aus- und Umbau der Verkehrsinfrastruktur,
- Entwicklung der Fahrzeugtechnik,
- Betrieb und Organisation des Verkehrs,
- Ordnungs- und Preispolitik,
- Öffentlichkeitsarbeit,
- Finanzierung.

Eine Reihe von Maßnahmen entzieht sich dem direkten Einflussbereich der Gemeinden, der Kreise oder des Landes, sie unterliegen nationalen oder internationalen (EU-Recht) Bestimmungen. Dennoch haben sie einen großen Einfluss auf den Stadtverkehr und müssen daher in die Szenarien eingehen, die den zusätzlichen Vorteil bieten, auch unterschiedliche Randbedingungen zu integrieren.

Unabhängig von der Diskussion um die Realisierbarkeit einiger Konzepte lassen sich damit zunächst verschiedene Zukunftsbilder entwerfen und bewerten. Sorgfältig sind dabei Ziele, Strategien und Maßnahmen abzugrenzen (siehe Kap. A 1). Aus der Analyse der Wirkungen und deren Bewertung lassen sich für den Planungsraum weitere Konzepte entwickeln, die unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen zu einem stadt- und umweltverträglichen Verkehr führen sollten. Es bietet sich an, in einer ersten Stufe Szenarien zu entwerfen (Steierwald et al., 1993), die Eckwerte für weitere Konzepte liefern und hier nur angedeutet werden können, ohne sie im Einzelnen hinsichtlich ihrer Ergebnisse zu interpretieren. Ebenso ist es offensichtlich, dass Szenarien Bezug auf die lokale Situation, z.B. unterschiedliche Ausgangslagen von süd- oder ostdeutschen Städten, nehmen müssen. Die in

folgenden dargelegten Szenarien sind insofern als Beispiele zu interpretieren.

Ein *erstes Szenario* wird in der Regel die aus den Erfahrungen der Vergangenheit und aus der bisherigen Entwicklung ableitbaren Tendenzen aufzeigen. Es kann als „Trend-Szenario“ bezeichnet werden.

Ein *zweites Szenario* nimmt jene Versuche auf, die sich mit den Strategien „Vermeiden und Verlagern“ und einer Reihe restriktiver Maßnahmen für den motorisierten Individualverkehr befassen. Dieses Szenario enthält auch die bereits genannten Konzepte für einen ökologischen Umbau der Stadt und kann daher als ökologisches Szenario bezeichnet werden, ohne mit diesem Begriff bereits eine Bewertung zu antizipieren.

Ein *drittes Szenario* geht von einer weitgehenden Erhaltung der individuellen Mobilität und einer Freizügigkeit der Verkehrsmittelwahl aus, wobei alle technischen Potentiale genutzt werden sollten (Szenario „Technologische Entwicklung“).

Die in diese Szenarien eingehenden, zu Konzepten gebündelten Maßnahmen lassen sich zwar hinsichtlich ihrer Wirkungen nicht isoliert darstellen, aus den Ergebnissen können jedoch weitere Konzepte zusammengestellt werden, die im Sinne der Zielsetzungen zu bestmöglichen, auf den einzelnen Raum bezogenen Lösungen führen.

3.2.2 Szenario „Trend“

Die aus der Vergangenheit ableitbare Entwicklung lässt einige, die Nachfrage determinierende Tendenzen erkennen, von denen Prognostiker glauben, dass sie auch für die künftige Entwicklung gelten. Andererseits hat in den letzten Jahren ein Prozess eingesetzt, der keine einfache Fortschreibung dieser Entwicklung erlaubt. Der demographische Wandel, das geringere Wirtschaftswachstum, die strukturell bedingte Arbeitslosigkeit und zahlreiche andere Gegebenheiten sind Anlass, Strategien und Instrumente zu prüfen. Dennoch gibt das Szenario „Trend“ eine Fülle von Hinweisen über Defizite und Fehlentwicklungen, die in weiteren Szenarien zu berücksichtigen sind.

In der Siedlungs- und Stadtstruktur setzt sich im Trend-Szenario die derzeitige Entwicklung fort mit der Tendenz einer zunehmenden flächenhaften Streuung der Wohn- und Gewerbegebiete im weiteren Umfeld der Stadt. Neben den in den rechtsgültigen Bebauungsplänen ausgewiesenen Siedlungsflächen werden von den für die Aufstellung der Bauleitpläne zuständigen Gemeinden – auch unter dem Druck der Wohnungsnachfrage – weitere Flächen zur Bebauung ausgewiesen, die nur bedingt durch öffentliche Verkehrsmittel zu erschließen sind. Die Zunahme der Motorisierung durch die schon genannten Einflüsse wird zu einem Sättigungswert führen, der jenseits von 600 Pkw je 1000 Einwohner anzusiedeln ist. Eine gemäßigte Erhöhung der Kraftstoffpreise wird ohne größere Auswirkungen auf die Fahrleis-tung im motorisierten Individualverkehr bleiben, da die Preiselastizität gering ist und nicht einmal die jährlichen Zuwachsraten der Fahrleistung kompensieren wird.

Ordnungspolitische Vorgaben für die Emissionsgrenzwerte führen mit den Maßnahmen zur Luftreinhaltung zu einer Reduktion der Schadstoffemissionen. Die Höhe der Reduktion hängt ab vom Zuwachs der Motorisierung, insbesondere aber von der Entwicklung des Güterverkehrs. Der Trend geht hier eindeutig zu einer Zunahme des Straßengüterverkehrs, auch des Lieferverkehrs in der Stadt. Durch Begrenzung der Emissionsfaktoren für Nutzfahrzeuge, durch den Neu- und Ausbau der Güterverkehrszentren und eine verbesserte Organisation und Logistik wird auch im Güterverkehr eine Belastungsminderung erreichbar sein. Die bereits dargestellte Ausdehnung der

Tempo-30-Zonen im Sinne einer Verkehrsberuhigung führt dazu, den Verkehr auf Hauptverkehrsstraßen zu bündeln, die Sicherheit zu erhöhen und die Emissionen zu verringern, sofern die Maßnahmen häufiges Bremsen und Verzögern ausschließen.

Eine verbesserte Erschließung durch öffentliche Verkehrsmittel, der Ausbau der Nahverkehrssysteme durch weitere Fördermittel des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (GVFG), durch Priorisieren, Rationalisieren und Automatisieren des öffentlichen Verkehrs, durch Ausbau der Kooperation z.B. durch P+R- und Fahrgastinformationssysteme; alle diese Maßnahmen bilden weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssituation, ohne jedoch den Anteil des öffentlichen Verkehrs am Gesamtverkehr deutlich zu erhöhen. Die erkennbaren Tendenzen zur Parkraumbewirtschaftung durch höhere Preise und Vergabe von Parklizenzen an Anwohner tragen dazu bei, das Wohnumfeld zu verbessern. Sie werden – sofern eine Verdrängung in andere Räume verhindert wird – zu einer (gemäßigten) Verlagerung auf das öffentliche Verkehrsmittel führen. Obwohl das Instrument der Ablöse von Stellplatzverpflichtungen zunehmend eingesetzt wird, muss man bei Um- und Neubaumaßnahmen in Bestandsgebieten doch immer noch davon ausgehen, dass sich die Stellplatzzahlen erhöhen werden.

Der Umbau der Erschließungs- und Hauptverkehrsstraßen im Sinne der Regelwerke für Stadtstraßen (z.B. FGSV, 1985/95; FGSV, 1993 und FGSV 1996) verbessert das Wohnumfeld und wertet die öffentlichen Räume gestalterisch auf. Geschlossene, umwegfreie Fuß- und Radwegenetze fördern die nicht-motorisierte Fortbewegung. Die Erweiterung des Straßennetzes, um sensible Wohnbereiche oder zentrale Geschäfts- und Aufenthaltsbereiche zu entlasten und zu umfahren, ist situativ abzuwägen und nur mit erheblichem Aufwand für Umweltschutzmaßnahmen möglich.

Eine Reihe von Maßnahmen kann diese Liste ergänzen, so individuelle und kollektive Verkehrsleitsysteme wie Geschwindigkeitsbeeinflussung, Fahrstreifensignalisierung, Parkleitsysteme, Informations- und Kommunikationssysteme und Routenführung oder Maßnahmen der Mobilitätsberatung.

Die Konzepte sind geeignet,
- das Wohnumfeld zu verbessern,
- die Schadstoffemissionen zu reduzieren,
- den Anteil des öffentlichen Verkehrs auf heutigem Niveau zu stabilisieren und
- die Erreichbarkeiten zumindest in Zeiten außerhalb des Berufsverkehrs zu gewährleisten.

Sie erlauben jedoch nicht, die heutige Verkehrssituation wesentlich zu ändern und die Umwelt erheblich zu entlasten.

3.2.3 Szenario „Ökologischer Stadtverkehr“

Die mit dem Trend-Szenario verbundenen negativen Auswirkungen auf Ökologie und Städtebau führen zu der Forderung nach einem radikalen Umbau des Systems Verkehr, der mit den Strategien „Vermeiden und Verlagern“ (des motorisierten Individualverkehrs) nur pauschal umschrieben werden kann. Die hinter diesem Schlagwort stehenden Konzepte bedürfen einer umfassenden Bewertung der mit diesen Maßnahmen verbundenen Wirkungen. Die Stadtverkehrsplanung agiert vor dem Hintergrund zahlreicher Rahmenbedingungen, die von der genannten Strategie dominiert werden, und von denen hier folgende genannt werden sollen:
- überproportional höhere Kfz-Steuer für Fahrzeuge mit hohen CO_2-Emissionen,
- erheblich höhere Kraftstoffpreise: Für eine Abnahme der Fahrleistung müsste dies aufgrund der geringen Preiselastizität wenigstens zu einer Vervielfachung des heutigen Preises führen,

– Herabsetzen der Grenzwerte für die Schadstoffemissionen.

Durch Änderung der Bauleitplanung – z.B. Verschärfen im Baugesetzbuch (BauGB, 1986) – müsste darauf hingewirkt werden, in weit stärkerem Maße als bisher eine flächenhafte Erweiterung der Wohn- und Gewerbestandorte zu verhindern und durch Konzentration der Siedlungen im Bereich des öffentlichen Verkehrs den Anteil dieses Verkehrssystems sowie des nicht-motorisierten Verkehrs zu erhöhen. Zwischen den damit ausgewiesenen Netzen müßten Räume für die Erholung freigehalten werden. Diesem Ziel dient auch das in den letzten Jahren verstärkt propagierte Leitbild der „kompakten und durchmischten Stadt", das auf den Elementen hohe Baudichte, Nutzungsmischung und ökologisch aufgewertete Räume aufbaut (siehe Kap. A 3.1). Dieses Leitbild will ökologische, soziale, ökonomische und kulturelle Anforderungen an die zukünftige Stadtentwicklung erfassen und liefert damit Ansätze für das Szenario „Ökologischer Stadtverkehr".

Einige dieser Elemente bedingen einen Ausbau bzw. das Fördern des öffentlichen Verkehrs bei gleichzeitigen einschränkenden Eingriffen im individuellen Autoverkehr, z.B. durch

– Neubau von S-, Stadt- und Straßenbahnen bzw. neue Linien für Omnibusse, kombiniert mit Taktverdichtungen, Nachtbussen, Anrufsammeltaxen,
– Einführung von Kombi- und Job-Tickets,
– Rückbau von mehrstreifigen Straßen oder Einrichten von Busspuren oder Ausweisen von Spuren für Pkw mit hohem Besetzungsgrad (> 2 Personen),
– restriktive Parkraumbewirtschaftung, z.B. durch höhere Preise für öffentliches Parken, verstärktes Anwohner-Parken, stärkere Besteuerung (geldwerter Vorteil) von privaten Stellplätzen oder vollständige Ablöseverpflichtung beim Aus- oder Neubau von Bürogebäuden im innerstädtischen Bereich,
– Ausschöpfen der nach BauGB gegebenen Möglichkeit, die Anlage von Stellplätzen zu untersagen,
– Mautregelungen für bestimmte Fahrzeuge, Tageszeiten oder Streckenabschnitte.

Weitere Restriktionen bieten flächenhafte Geschwindigkeitsbegrenzungen auf 30 km/h auf Stadtstraßen (mit Ausnahme weniger Vorbehaltsstraßen) und Zugangsregelungen für Kernstadtbereiche.

Für den Güterverkehr bedarf es zahlreicher organisatorischer und ordnungspolitischer Maßnahmen, z.B. Sperrung von Straßen für Lkw ab einem bestimmten Gesamtgewicht, Ausbau von Güterverkehrszentren zur stärkeren Nutzung der Schiene.

Derartige Konzepte können zu einer deutlichen Abnahme des motorisierten Individualverkehrs führen, sie können sich jedoch negativ auswirken auf

– die Erreichbarkeit zentraler Einrichtungen und Arbeitsplätze,
– die Kraftfahrzeugindustrie und ihre Zulieferer,
– die Wirtschaftskraft von Handel und Gewerbe in Stadtkernen.

Auch ein solches Szenario bedarf einer umfassenden Wirkungsanalyse und Bewertung. Die mit derartigen Eingriffen verbundenen politischen Reaktionen dürfen ebenfalls nicht ignoriert werden. Es stellt sich auch die Frage, ob es nicht an Leichtfertigkeit grenzt, alle Handlungskonzepte nur auf den häufig zitierten Umweltverbund (Fußgänger, Rad, öffentlicher Verkehr) zu konzentrieren und das Automobil aus diesem Verbund auszugrenzen. Planung kann nicht gegen den Bürger durchgesetzt werden.

3.2.4 Szenario „Technologische Entwicklung“

Eine Reihe von Verbesserungen lässt sich – auch für den Stadtverkehr – durch technische Entwicklungen erzielen. Dies betrifft sowohl das Kraftfahrzeug als auch das öffentliche Verkehrsmittel und darüber hinaus die Informations-, Kommunikations- und Leitsysteme. Technische Maßnahmen können die Konzepte, die in den vorangehenden Szenarien beschrieben wurden, ergänzen oder substituieren, sofern sich deren Wirkungen als weniger effizient oder sogar kontraproduktiv im Hinblick auf einige wesentliche Zielsetzungen der Stadt- und Verkehrsplanung erweisen. Zu diesen Maßnahmen gehören auch jene, mit denen marktwirtschaftlich orientierte Straßennutzungsgebühren (Road Pricing) zu realisieren sind.

Die technische Entwicklung wird immer dann mit geringen positiven Wirkungen verbunden sein, wenn sie nicht durch ordnungs-, preis- und finanzpolitische Maßnahmen gestützt und zielorientiert beeinflusst wird. Die Entwicklung schadstoff- und verbrauchsarmer Fahrzeuge wird umso erfolgreicher sein, wenn ihr Erwerb durch steuerliche Anreize gefördert wird bzw. wenn hohe Verbrauchs- und Emissionswerte stärker besteuert werden. Ähnliche Anreize bzw. Restriktionen können auch im Stadtverkehr zu einer Verbesserung beitragen, z.B. durch Bevorzugung schadstoffarmer Fahrzeuge bzw. Verbot nicht schadstoffarmer Fahrzeuge beim Zugang in die Stadt.

Die technologische Entwicklung umfasst nicht nur die Antriebe und Fahrzeuge, sondern auch den Betrieb und die Organisation, z.B. die Verbesserung der Informationssysteme (dynamische Fahrgastinformation, Hinweise auf P+R-Plätze, Stauungen, Unfälle). Potentiale zeigen sich ebenfalls im Bereich der Organisation des Betriebs, z.B. durch Parkleitsysteme (individuell oder kollektiv) oder eine verbesserte verkehrsabhängige Signalsteuerung zur Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs.

Für den Güterverkehr ergeben sich erhebliche Entlastungen z.B. in Folge einer verbesserten Auslastung (Vermeidung von Leerfahrten), einer schnellen Abwicklung des kombinierten Ladungsverkehrs, dem Einrichten von Güterverkehrszentren und der Optimierung des Lieferverkehrs in Städten, z.B. durch City-Logistik. Die fortschreitende technische Entwicklung auf dem Gebiet der Sicherheit, der Reduktion des Verbrauches und der Emissionen sollte ebenso gefördert werden wie jene Systeme, die sich auf die Aspekte

– Informieren und Kommunizieren,
– Warnen und schließlich
– Eingreifen

beziehen. Fahrerassistenzsysteme erlauben durch eine stärkere Vernetzung von Informationen der Fahrzeuge untereinander und mit dem Umfeld eine weitere Effizienzsteigerung.

Weitere Möglichkeiten bieten marktwirtschaftlich orientierte Straßennutzungsgebühren (Road Pricing) (vgl. z.B. Steierwald et al., 1996) (vgl. auch Kap. D 4), sofern die technischen Voraussetzungen die finanzielle Transaktion gelöst sein werden, z.B. für Autobahnen, auf denen zeit- und fahrleistungsabhängig automatische Gebührenerfassungssysteme kurz- und mittelfristig realisierbar sind. Diese Form des Road Pricing hat jedoch in den Verdichtungsräumen, in denen die Autobahnen einen großen Anteil des regionalen und sogar innerörtlichen Verkehrs aufnehmen und Innerortsstraßen entlasten, erhebliche Nachteile, da sie bei hohen Gebühren zu umweltbelastenden Verdrängungseffekten führen können. Für den Verkehr in Verdichtungsräumen und Großstädten müssen andere Konzepte entwickelt werden. Straßennutzungsgebühren verfolgen das Ziel, den knappen Verkehrsraum zu verteuern, d. h. insbesondere in Spitzenzeiten hochbelas-

tete Straßen mit hohen Gebühren zu belegen. Dies gilt vor allem für die Radialstraßen, deren Verkehrsaufkommen durch das gute Angebot der öffentlichen Verkehrsmittel substituiert werden kann. Für Verdichtungsräume und Großstädte sollten Systeme eingesetzt werden,

– die flächenhaft wirken und in Zonen hoher Verkehrsbelastungen zur Entlastung beitragen und
– eine fahrleistungs- und zeitabhängige Gebührenstaffelung erlauben.

Darüber hinaus muss ein ausreichendes Angebot öffentlicher Verkehrsmittel vorhanden sein, um die Erreichbarkeit auch in den Spitzenstunden zu gewährleisten.

Ein solches Konzept wäre in der Lage, Zeiten hoher Verkehrsbelastung mit hohen, fahrleistungsabhängigen Gebühren zu belegen, um die Nachfrage zu dämpfen und die Qualität (Reisegeschwindigkeiten, Erreichbarkeiten) zu erhöhen. Die Verkehrsanteile im motorisierten Individualverkehr (z. B. Wirtschafts- und Lieferverkehr) könnten durch Zeitgewinne schneller und kostengünstiger abgewickelt werden, während die weniger zeitsensitiven Verkehrsanteile durch öffentliche Verkehrsmittel substituiert werden. Für den Stadtverkehr führt eine derartige flächenhafte (zonale), zeit- und fahrleistungsabhängige Straßennutzungsgebühr zur Entlastung der Umwelt und zur Verbesserung der Erreichbarkeiten. Die technischen Lösungen sind jedoch aufwendig sowohl für die Geräte in den Fahrzeugen als auch für die notwendige Infrastruktur, die nur langfristig zu konzipieren ist.

3.2.5 Ausblick

Zur Bewältigung der Verkehrsprobleme gibt es kein Patentrezept. Jede Gemeinde, jeder Kreis und jede Region bedarf eines auf die individuellen Belange ausgerichteten Handlungskonzeptes zur Verbesserung der Verkehrssituation, zur Erhöhung der Lebensqualität in der Stadt, zur Bewahrung von Identität und zur Förderung der Identifikation des Bürgers mit der Stadt. Die darin formulierten Ziele lassen sich nur durch ein Bündel von Maßnahmen erreichen, die als integrierte Konzepte im Rahmen unterschiedlicher Szenarien zu formulieren sind. Die Bedeutung derartiger integrierter Konzepte ergibt sich aus der Definition: ein integriertes Konzept ist ein Katalog sich ergänzender, in der Regel abhängiger Maßnahmen, die im Sinn der dem Konzept unterlegten Zielsetzungen als bestmöglich anzusehen sind. Die Optimalität lässt sich nur durch eine umfassende Bewertung der Wirkungen dieser Konzepte nachweisen.

Die Einzelmaßnahmen können nicht isoliert betrachtet werden. Sie sind weitgehend komplementär; jede Art von gegenseitiger Substitution sollte vermieden werden. Da dies nicht unmittelbar zu erkennen ist, wird eine Lösung erst aus einer Vielzahl von Konzepten ableitbar sein. Dies kann in Form von Szenarien untersucht werden, die modulartig aufgebaut sein sollten. Jeder einzelne Baustein sollte sich geänderten (Rahmen-)Bedingungen anpassen lassen.

Restriktive Eingriffe sollten nicht irreparabel sein, eine Ausgrenzung des individuellen Verkehrsmittels aus dem so genannten Umweltverbund ist keine zielführende Lösung. Da strukturelle und soziale, ökologische und ökonomische Auswirkungen nicht kurzfristig erkennbar werden, ist eine fortwährende Überprüfung der Handlungskonzepte notwendig. Jede Festschreibung, sofern sie nicht gesetzlich unveränderbar ist, sollte vermieden werden. Langfristig wirkende Investitionen wie Verkehrsinfrastrukturen müssen sorgfältig geplant und hinsichtlich ihrer Folgen (auch der Folgekosten) überprüft werden. Stadtplanung dürfte nach (Albers 1988) „weiterhin eine heuristische, auf die stets von neuem geforderte

Suche nach angemessenen praktischen Leistungen angewiesene Disziplin bleiben“. Das gilt insbesondere für die Stadtverkehrsplanung als integraler Teil der Stadtplanung. Jede nicht vom Bürger angenommene Lösung ist als Fehlplanung mit nachhaltigen finanziellen Folgen belastet.

Literatur

Albers, G. (1988): Stadtplanung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt

Baugesetzbuch (BauGB) i. d. F. d. Bekanntmachung vom 8.12.1986

Buchanan, C. (1965): Verkehr in Städten. Vulkan-Verlag Dr. W. Claasen, Essen

Bundesministerium für Verkehr (BMV) (Hrsg.) (1992): Bundesverkehrswegeplan 1992 (BVWP ‘92), Bonn

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Bundesverkehrswegeplan 2003 (BVWP ‘03). Grundlagen für die Zukunft der Mobilität in Deutschland. Beschluss der Bundesregierung vom 2. Juli 2003. Berlin

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln:

– FGSV (1985/95): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE 85/95)
– FGSV (1993): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV)
– FGSV (1996): Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete (ESG 96)

Hopf, R.; Schallaböck, K.O.; Steierwald, G.; Wakker, M. (1990): Konzeptionelle Fortentwicklung des Verkehrsbereichs – Zusammenfassung der Ergebnisse des Studienkomplexes A.6.In: Energie und Klima, Band 7 „Konzeptionelle Fortentwicklung des Verkehrsbereichs“, Hrsg. Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, Bonn Economica-Verlag und Karlsruhe, Verlag C. F. Müller, S.777/897

Le Corbusier (1962): An die Studenten – Die „Charte d`Athènes“. Rowohlts Deutsche Enzyklopädie, Nr. 141, Hamburg

Marquard, O. (1987): Abschied vom Prinzipiellen. Philipp Reclam, Stuttgart

Steierwald, G.; Schönharting, J.; Heimerl, G.; Kaule, G.; Rothengatter, W.; Köhl, W. u.a. (1993): Ansätze für ein integriertes Verkehrskonzept für den Verkehrsraum Stuttgart, Stuttgart

Steierwald, G; Hecht, C.; Kolb, A.; Vogt, W.; Engkuam, C.; Krostitz, B. (1996): Analyse, Systematisierung und Bewertung von Road-Pricing-Systemen in städtischen Räumen. Forschungsbericht des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen und des Instituts für Sozialforschung i. A. des BMV, Universität Stuttgart. Stuttgart.

Teil B
Zustandsbestimmung, Prognose und Bewertung

1 Nutzungen – Strukturen – Verkehr

1.1 Hintergrund und Entwicklungstrends

In den letzten fünf Jahrzehnten hat die größte Völkerwanderung der Geschichte stattgefunden: die Besiedelung des städtischen Umlands in den Industrieländern durch die dort lebende Bevölkerung und die dort arbeitende Industrie, respektive die Wanderung in die Metropolen der Entwicklungsländer: Prozesse, die durch die Globalisierung der Wirtschaft und das durch sie mögliche Einkommenswachstum miteinander verknüpft sind. Die Tertiärisierung der Beschäftigung ist ein parallel laufender Prozess. Diese Umorganisation der räumlichen Strukturen ist in Deutschland und vergleichbaren Industrieländern eng mit der Motorisierung der Bevölkerung verbunden. Es ist an dieser Stelle müßig, über die Kausalitäten nachzudenken, aber es sollte betont werden, dass Einkommenswachstum, steigende Pkw-Verfügbarkeit und Suburbanisierung in den letzten Jahrzehnten zusammengehörten. Die Veränderungen sind auch noch nicht abgeschlossen, da in Europa erst in 30 Jahren eine vollständig motorisierte Bevölkerung zu erwarten ist: Erst dann werden praktisch alle Erwachsenen über einen Führerschein verfügen (siehe Abb. 1.1). Ob die Sättigung bei 90% oder 95% der Erwachsenen erreicht werden wird, ist im Vergleich bedeutungslos.

Es ist nicht Ziel dieses Kapitels, diese Entwicklungen nachzuzeichnen oder zu prognostizieren, sondern es möchte das durchschnittliche Verkehrsverhalten in einem europäischen Industrieland heute darstellen, wobei im Weiteren vor allem auf Quellen aus der Schweiz zurückgegriffen wird, mit denen wir vertrauter sind, da der Schweizer Mikrozensus Verkehr 2000 (BFS und ARE, 2003) schon länger vorliegt als die KONTIV 2002.

Nach einer Kategorisierung und Definition des Verkehrsverhaltens und einer Diskussion seines Kontextes werden in den folgenden Abschnitten die wichtigsten Dimensionen des Verhaltens illustriert: die Nachfrage nach Wegen und deren Intensität, d.h. Dauern und

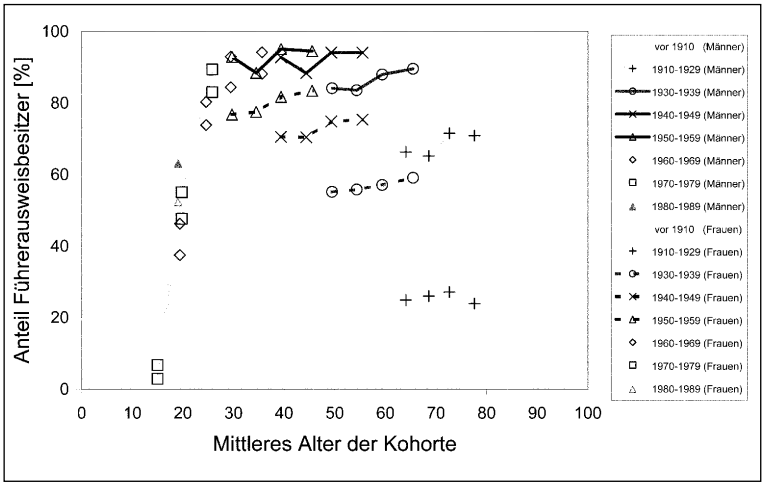


Abb. 1.1 Führerscheinbesitz und Pkw-Besitz nach Alterskohorte in der Schweiz.
Männer: durchgezogene Linien;
Frauen: gestrichelte Linien.
(Axhausen et al., 2004 aus den Mikrozensen Verkehr 1984 bis 2000)

Distanzen. Das Kapitel stellt damit Vergleichswerte für weitere Untersuchungen zur Verfügung, die es erlauben sollten, neue Ergebnisse in ihrer Besonderheit einzuordnen und zu würdigen.

1.2 Definitionen

Die Verkehrsplanung betont bei ihrer Analyse des Alltags die Bewegung, den Verkehr. Es ist daher konsistent, dass Aktivitäten und Wege getrennt betrachtet werden, obwohl es offensichtlich ist, dass Bewegung auch eine Aktivität ist, und dass es bei bestimmten Bewegungen möglich ist, sekundäre Aktivitäten durchzuführen, z.B. Musik hören beim Autofahren oder Telefonieren beim Zugfahren. Zur Beschreibung des Raum-Zeit-Pfades (siehe auch Hägerstrand, 1970) werden sieben Begriffe und damit Elemente unterschieden (siehe auch Axhausen, 2000 und 2003a) (siehe Abb. 1.2 und Tabelle 1.1 für ein Beispiel).

– Eine *Etappe* ist die Bewegung mit einem Verkehrsmittel oder Fahrzeug[1], einschließlich aller reinen Wartezeiten während der Bewegung und vor Beginn der nächsten Etappe oder Aktivität.
– Ein *Weg* ist die Sequenz der Etappen zwischen zwei Aktivitäten.[2]
– Eine *Tour* ist eine Sequenz von Wegen, weg und wieder zurück zum selben Ort.
– Ein *Ausgang* oder eine *Reise* ist eine Tour, die am aktuellen Standort, d.h. in der Regel Zuhause, beginnt und endet.
– Eine *Aktivität* ist ein Strom von Handlungen in einem gleich bleibenden räumlichen und sozialen Umfeld, die einen gemeinsamen Zweck erfüllen.
– Ein *Beförderungsfall* ist eine Sequenz von Etappen während eines Weges mit demselben Anbieter von öffentlichem Verkehr z.B. Unternehmen oder Verkehrsverbund, respektive mit derselben Art von öffentlichem Verkehrsmittel, z.B. dem Bus oder der Eisenbahn.

Weg und Aktivität bedingen sich in diesen Definitionen. In der Regel signalisiert der Fragebogen, welches Detail von der Studie erwartet wird: Ein Fragebogen mit 10 Spalten und 8 Aktivitätskategorien fragt offensichtlich nach etwas anderem als die Tabellen in Zeitbudget-

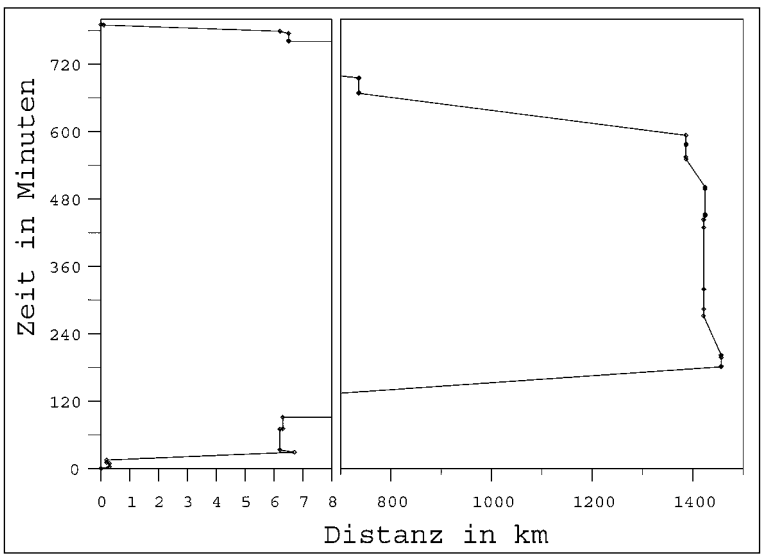


Abb. 1.2 Etappen, Wege, Reisen. 2D-Weg-Zeit-Diagramm. (Eigene Darstellung)

Tabelle 1.1 Etappen, Wege und Reisen. (Eigene Darstellung)

Verkehrsmittel	Aktivität/Ereignis	Nummer			Kundentransport nach	
		Aktivitäten	Wege	Etappen	Transporteur	Verkehrsmittel
	Zuhause					
Fußweg			1	1.1		
	Kauf einer S-Bahn-Fahrkarte	1				
	Wartezeit am Bahnsteig					
Fußweg			2	2.1		
S-Bahnfahrt			2	2.2	1	1
Fußweg			2	2.3		
	Einchecken, Arbeiten unterwegs	2				
Fußweg			3	3.1		
Flug nach London Luton			3	3.2	2	2
Fußweg			3	3.3		
Bus			3	3.4	3	3
Fußweg			3	3.5		
	Mittagessen/Kundengespräch	3				
Fußweg			4	4.1		
U-Bahn			4	4.2	4	4
Fußweg			4	4.3		
	Einkauf	4				
Fußweg			5	5.1		
Bus			5	5.2	3	3
Fußweg			5	5.3		
	Einchecken, Arbeiten unterwegs	5				
Fußweg			6	6.1		
Flug nach Köln			6	6.2	2	2
Fußweg			6	6.3		
	Umsteigen, Wartezeit Flughafen					
Fußweg			6	6.4		
Flug n. Zürich			6	6.5	5	2
Fußweg						
Taxi			6	6.6	6	5
Fußweg			6	6.7		
	Zuhause					

untersuchungen mit ihren 96 Zeilen für jede Viertelstunde des Tages und 140 Kategorien. Das wachsende Interesse an den Freizeitwegen hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass hier öfter Zusatzfragen zur Detaillierung der Aktivität gestellt werden: „Freizeit, und zwar". Dieser Ansatz sollte auch für die Kategorie „Sonstige Aktivitäten" angewandt werden, um Fehlkodierungen zu verringern (Götz et al., 1998; Schlich et al., 2003).

Die Definition des Weges als Sequenz von Etappen erfordert die Bestimmung eines Hauptverkehrsmittels zu seiner Klassifikation. Hier kommen entweder heuristische Regeln zum Einsatz, die die verschiedenen Verkehrsmittel in eine Rangreihenfolge bringen, oder es wird das Verkehrsmittel zugeordnet, das für die längste Etappe verwendet wurde. Analoges gilt für Verkehrsmittel und Zweck bei Touren, Ausgängen und Reisen.

Reisen enden am aktuellen Standort, der anlässlich eines Urlaubs, eines Umzugs, auch eines temporären Umzugs, wie ihn Wochenpendler oder Studenten durchführen, wechselt. In diesem Fall endet die Reise ausnahmsweise an diesem neuen Standort.

1.3 Verkehrsverhalten im Kontext

Der einzelne Verkehrsteilnehmer kann seinen Kontext weitgehend wählen, wobei die langfristigen – teuren und schwierigen – Entscheidungen den kurzfristigen den Rahmen vorgeben. Aus verkehrlicher Sicht sind die wichtigsten langfristigen Entscheidungen respektive der Lebensstil definiert durch:

- die *selbst gewählten Standorte* der Wohnungen und der Arbeitsplätze, wobei jeweils der primäre Wohnort und der primäre Arbeitsplatz dominieren;
- die *selbst gewählten kurzfristigen Grenzkosten* der Bewegung durch die Verfügbarkeit, sprich den Besitz von Mobilitätswerkzeugen, d.h. Kraftfahrzeugen, Fahrrädern oder Zeitkarten des Öffentlichen Verkehrs (siehe Tabelle 1.2 und Tabelle 1.3 – man beachte den hohen Anteil an Netzkartenbesitzern. In der Schweiz schließt dieses Generalabonnement auch den Nahverkehr ein);
- die *langfristigen zeitlichen* und damit auch *räumlichen Verpflichtungen,* die man gegenüber Familie, Freunden, Vereinen, Arbeitgeber usw. eingegangen ist;
- das *Einkommen,* das man durch Investitionen in Ausbildung ermöglicht und durch Ansammeln von Kapital erworben hat respektive durch die gewählte Arbeitszeit variiert.

Es ist klar, dass der Einzelne diese Entscheidungen nicht alleine fällt und ihm in vielen Fällen bestimmte Alternativen nicht zur Verfügung stehen. Die Biographie, die Familie und das soziale Netz binden den Einzelnen. Trotzdem sollte man die Freiheitsgrade des Einzelnen und seiner Familie insbesondere über die Zeit nicht unterschätzen.

Im Alltag können diese langfristigen Entscheidungen kurzfristig nicht aufgehoben oder verändert werden, weswegen sie bei der Beurteilung und Analyse des Verkehrsverhaltens immer mitbedacht werden sollten. Im Rahmen der so verfügbaren Aktivitätsalternativen versucht der Reisende, seine Aktivitäten optimal abzuwickeln, wobei sein Wissen und die oft knappe verfügbare Zeit zur Suche und Konstruktion von Alternativen, von außen betrachtet, oft zu suboptimalen Entscheidungen führt. Dieses Wissen hat oft die Form früherer Lösungen, d.h. früher realisierter Aktivitätenketten einschließlich Orten und Verkehrsmitteln. Bei Zeitknappheit sind diese Lösungen sehr willkommen. Sie erlauben aber auch eine einfache und sichere Koordination mit anderen Beteiligten. Die Rolle des sozialen Netzes

beim Kennenlernen und Testen von neuen Alternativen (Routen, Ziele, Aktivitäten und Verkehrsmitteln) darf nicht unterschätzt werden. Diese Wechselwirkung in der Verkehrsplanung wird zu wenig erfasst (siehe auch Axhausen, 2003b).

Tabelle 1.2 Schweiz 2000: Anteil der Befragten nach Besitz von Mobilitätswerkzeugen und Bruttohaushaltseinkommen. Daten: Mikrozensus 2000 (für Details zum Mikrozensus Verkehr 2000 siehe die Webseiten des Bundesamts für Raumentwicklung: www.are.admin.ch oder das elektronische Datenarchiv des IVT: http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp).
Die Antwort „Pkw immer verfügbar" wird hier als Besitz interpretiert; siehe auch Tabelle 1.3 für die Bestätigung dieser Interpretation.

Mobilitätsbesitz				**Brutto Haushaltseinkommen [sFr/Monat]**						
Pkw	GA	Regionale Zeitkarte	Halbtax	Keine Angabe	Bis 4000	4001-6000	6001-8000	8001-12000	12001 u. mehr	Alle
Nein	Nein	Nein	Nein	39.0	33.9	36.1	34.8	26.0	20.7	33.6
			Ja	16.2	21.1	15.1	16.8	16.8	14.9	16.9
		Ja	Nein	4.2	3.5	3.1	2.4	2.7	1.7	3.2
			Ja	1.3	2.5	1.7	1.4	1.3	1.4	1.6
	Ja	Nein	Nein	4.8	5.1	3.5	3.5	4.3	5.0	4.3
Ja	Nein	Nein	Nein	23.2	23.5	28.6	26.6	30.6	30.8	26.6
			Ja	8.1	8.0	9.1	11.6	14.5	21.4	10.7
		Ja	Nein	0.7	0.5	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6
			Ja	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.2	0.3
	Ja	Nein	Nein	1.3	0.4	0.9	0.9	1.8	2.4	1.1
Mit Pkw [%]				33.6	32.7	39.7	40.0	47.9	55.5	39.4
Mit Generalabonnement [%]				6.1	5.5	4.4	4.4	6.1	7.4	5.4
Mit regionaler Zeitkarte [%]				6.5	6.7	5.9	4.7	5.1	4.0	5.8
Mit Halbtaxabonnement[1] [%]				25.9	31.9	26.2	30.1	33.1	38.0	29.6
In Einkommensklasse [%]				22.0	17.9	22.5	16.2	14.9	6.6	100.0

[1] Schweizer Version der Bahncard, die aber auch den Nahverkehr einschließt.

Tabelle 1.3 Interpretation von verschiedenen Arten der Pkw-Verfügbarkeit. (Beige u. Axhausen, 2003 auf der Grundlage der Univox-Befragung 2003).

Pkw-Verfügbarkeit	Immer	Häufig	Selten	Nie
Besitz eines eigenen Autos	92.9%	31.1%	17.9%	0.0%
Jemand im Haushalt besitzt ein Auto	4.0%	59.5%	46.2%	42.9%
Ein Freund/eine Freundin besitzt ein Auto	0.7%	4.1%	25.6%	14.3%
Zugang zu einem Dienstauto, auch für private Zwecke nutzbar	1.7%	1.4%	2.6%	0.0%
Zugang zu einem Dienstauto, nicht für private Zwecke nutzbar	0.5%	1.4%	2.6%	0.0%
Nutzung der Möglichkeit des CarSharings	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
Andere Formen der Pkw-Verfügbarkeit	0.0%	2.7%	5.1%	42.9%

1.4 Verkehrsnachfrage

Die tägliche Nachfrage nach Wegen variiert international um einen Mittelwert von 3.5 über alle Personen und 3.8 für mobile Personen (Madre et al., 2003). Diese Zahlen und ein zugehöriges Budget für Unterwegszeiten von 75-85 min/Tag werden seit vier Jahrzehnten in nationalen und regionalen Befragungen beobachtet. Die Frage, ob es sich hier um eine biologisch oder soziologisch begründbare Konstante handelt, ist fast genau so alt (siehe Mokhtarian u. Chen (im Druck) und die dort umfassend dokumentierte Literatur zum Thema). In den Ländern mit entsprechend langen Serien nationaler Verkehrsbefragungen gibt es zu starke Brüche in den Erhebungsprotokollen, um diese Frage beantworten zu können. In der Schweiz scheint es einen leicht anwachsenden Zeitverbrauch für Verkehr zu geben, aber auch hier ist der Trend durch Methodenwechsel zwischen den Befragungen schwierig zu erkennen.

Die folgenden Tabellen und Abbildungen illustrieren den Einfluss der oben benannten langfristigen Entscheidungen und Bindungen: Haushaltsgröße (Tabelle 1.4), Status, insbesondere Berufstätigkeit (Tabelle 1.5) und Besitz von Mobilitätswerkzeugen (Tabelle 1.6). Man beachte die ausgeprägten Wirkungen der Berufstätigkeit, des Pkw- und Zeitkartenbesitzes auf die Anzahl der Wege. Die Wirkung des Einkommens ist ähnlich, wie am Beispiel des Fernverkehrs gut gezeigt werden kann. Die Befragung INVERMO hat von 2001 bis 2003 die Fernreisen einer repräsentativen Stichprobe der Bevölkerung Deutschlands erfasst. Abbildung 1.3 zeigt, wie in Abhängigkeit von Alter, Einkommen und Geschlecht die Werte um das nationale Mittel von 7.5 Reisen/Jahr zu Zielen in über 100 km Luftlinie Entfernung variieren.[3] Die Wechselwirkung zwischen Geschlecht und Einkommen wird dabei genauso deutlich wie die problematische Zuordnung des Haushaltseinkommens beim Verhalten der jüngeren Befragten.

Die Verteilung der Anzahl der Wege/Tag und Person ist linksschief, wenn man einzelne Tage betrachtet. Die Verteilung beginnt sich einer Normalverteilung anzunähern, wenn man die mittlere Anzahl Wege/Tag und Person über einen längeren Zeitraum berechnet. Abbildung 1.4 zeigt diese beiden Verteilungen für die Teilnehmer an dem 6-Wochen Verkehrstagebuch Mobi*drive*, das 1999 in Karlsruhe und

Tabelle 1.4 Anzahl Personen- und Haushaltswege nach Haushaltsgröße. Daten: Mikrozensus 2000 (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp); KONTIV 2002 über MiT-Tabulationsprogramm (www.kontiv2002.de).

Haushaltsgröße [Anzahl Personen]	Schweiz 2000	Deutschland 2002	
	Wege pro Person	Wege pro Person	Wege pro Haushalt
1	3.34	3.06	3.13
2	3.33	3.18	6.28
3	3.67	3.35	10.03
4	3.88	3.56	14.30
5	3.94	3.42	20.05
Durchschnitt	3.58	3.30	7.22

Tabelle 1.5 Schweiz 2000: Wege/Person und Tag nach ausgewählten Zwecken und Status. Daten: Mikrozensus 2000 (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp); * hier einschließlich Geschäftsreisen; ** Diese Summen enthalten zusätzliche Wegzwecke, die in der Tabelle nicht aufgeführt sind.

	Arbeit	Ausbildung	Einkaufen	Geschäftlich*	Freizeit	Erledigung	Begleitung	Alle**
Voll erwerbstätig	1.68	0.02	0.53	0.27	1.32	0.11	0.04	4.01
Teilzeit, 1 Stelle	0.99	0.05	0.93	0.12	1.39	0.17	0.09	3.75
Teilzeit, mehrere Stellen	1.19	0.02	1.03	0.32	1.41	0.18	0.10	4.12
Nicht erwerbstätig	0.09	0.13	0.90	0.10	1.83	0.21	0.13	3.31
Hausarbeit	0.05	0.01	1.11	0.05	1.53	0.30	0.14	3.22
In Ausbildung	0.21	1.44	0.35	0.03	1.57	0.06	0.04	3.73
Rentner, pensioniert	0.02	0.00	0.99	0.03	1.41	0.06	0.03	2.59
Andere und keine Angabe	0.08	0.39	0.69	0.04	1.69	0.14	0.09	2.78
Alle	0.83	0.30	0.69	0.14	1.42	0.12	0.05	3.58

Tabelle 1.6 Schweiz 2000: Wege/Person und Tag nach Alter, Geschlecht und Besitz von Mobilitätswerkzeugen Daten: Mikrozensus 2000 (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp). Die Antwort „Pkw immer verfügbar" wird hier als Besitz interpretiert; siehe auch Tabelle 1.3.

Männer				**Alter**							
Pkw	GA	Halb-tax	Regionale Zeitkarte	0 - 17	18 -29	30 -39	40 -49	50 -59	60 -69	>69	Alle
Nein	Nein	Nein	Nein	3.74	3.63	3.93	4.14	4.03	3.01	2.27	3.68
			Ja	3.73	3.31	2.80	3.57	3.05	2.22	2.50	3.33
		Ja	Nein	4.52	4.10	3.99	4.04	4.09	3.29	2.81	3.82
			Ja	3.60	3.33	3.66	4.07	3.94	3.56	2.09	3.55
	Ja	Nein	Nein	4.02	3.85	4.04	3.63	4.07	3.05	2.53	3.68
Ja	Nein	Nein	Nein	-	4.56	4.16	4.01	3.98	3.31	2.96	3.98
			Ja	-	3.74	4.68	3.54	3.06	3.35	4.59	3.87
		Ja	Nein	-	4.37	3.93	4.44	4.16	3.66	3.31	3.99
			Ja	-	4.15	4.19	4.09	3.58	2.00	1.23	3.89
	Ja	Nein	Nein	-	3.64	4.83	4.34	3.48	4.36	2.75	3.84
Frauen											
Nein	Nein	Nein	Nein	3.65	3.41	3.41	3.20	3.03	2.24	1.50	3.07
			Ja	3.84	3.53	3.08	3.08	3.11	3.55	2.15	3.33
		Ja	Nein	3.86	3.59	3.69	3.72	3.39	3.00	2.48	3.24
			Ja	3.52	3.56	2.79	3.47	3.17	3.01	2.10	3.05
	Ja	Nein	Nein	3.97	3.55	3.70	3.33	3.35	2.81	2.59	3.32
Ja	Nein	Nein	Nein	-	4.27	3.84	3.91	3.58	2.85	2.68	3.75
			Ja	-	3.44	3.31	3.84	3.26	5.28	3.98	3.61
		Ja	Nein	-	4.11	3.93	4.21	3.62	3.20	2.83	3.73
			Ja	-	4.03	4.02	3.55	3.56	4.02	3.17	3.79
	Ja	Nein	Nein	-	3.52	3.68	3.72	3.43	3.32	2.78	3.49
Alle Befragten				3.74	3.93	3.83	3.89	3.70	3.06	2.40	3.58

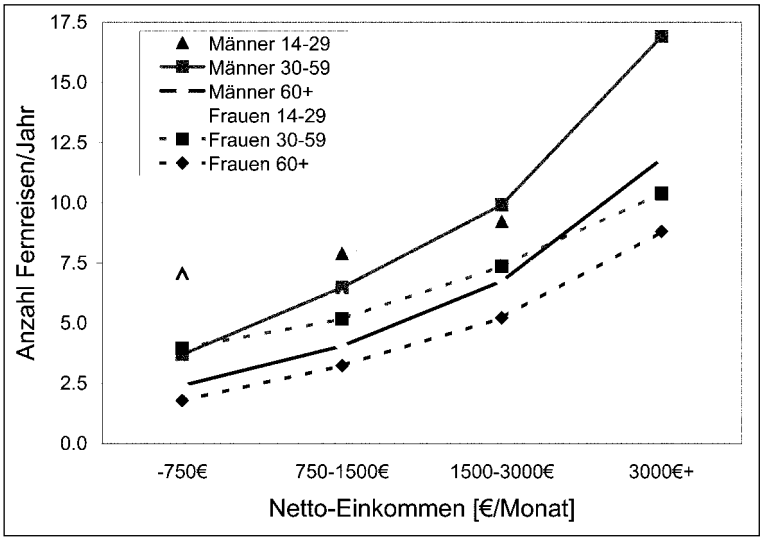


Abb. 1.3 Deutschland 2001-2003: Anzahl Fernreisen (zu Zielen in über 100 km Entfernung) nach Alter, Geschlecht und Einkommen. Daten: INVERMO* (siehe auch http://verkehrspanel.ifv.uni-karlsruhe.de/) *erstellt von W. Manz, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe

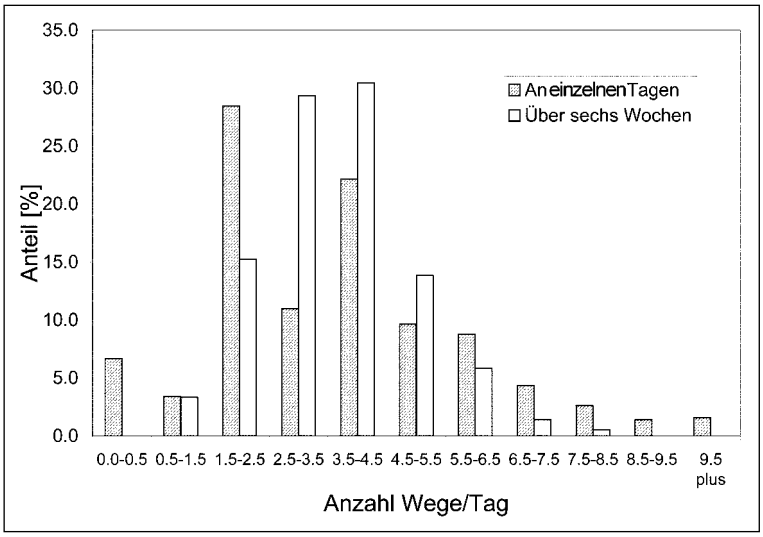


Abb. 1.4 Verteilung der Verkehrsnachfrage:Wege/Tag und Person und mittlere Anzahl Wege/Tag und Person über 6 Wochen. Daten: Mobi*drive;* (siehe Axhausen et al., 2002)

Halle durchgeführt wurde (Axhausen et al., 2002). Der Anteil der immobilen Tage ist hier vergleichsweise gering, was auf das Befragungsverfahren zurückzuführen ist. Ein realis tischer Anteil für eine repräsentative Stichprobe sollte bei 12-15% Immobile je Tag liegen.

Die Variabilität des Verhaltens von Tag-zu-Tag sollte bei allen diesen Betrachtungen nicht vernachlässigt werden. Schlich und Axhausen (2003) zeigen an den Mobi*drive*-Daten den Umfang dieser Variabilität, mit drei verschiedenen Maßzahlen, die jede auf Grund ihrer jeweiligen Konstruktion einen anderen Aspekt der Variabilität betont (Abb. 1.5).

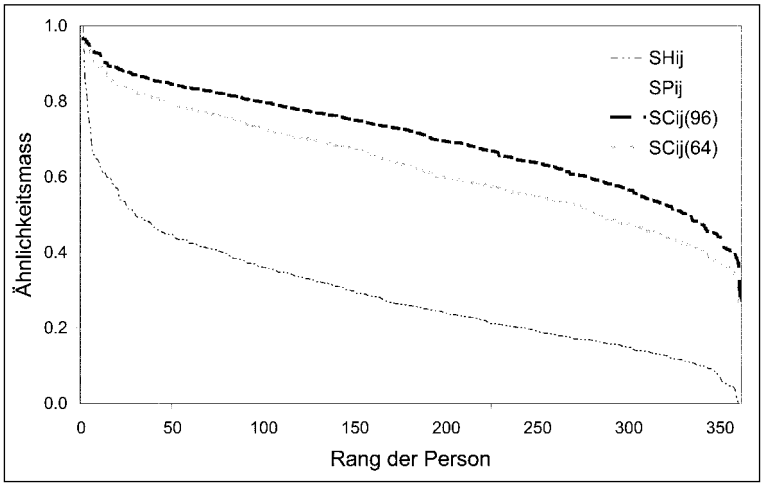


Abb. 1.5 Variabilität der täglichen Nachfragemuster. (Schlich u. Axhausen, 2003, Abb. 4)
SHij: Ähnlichkeitsmaß Hanson; SPij: nach Pas; SCij: nach Clark und Jones mit und ohne Nachtstunden (96, 64)

1.5 Intensität und Art der Verkehrsnachfrage

1.5.1 Dauer und Länge der Wege

Die Verteilung der Wegedauern (Abb. 1.6) und -längen (Abb. 1.7) sind beide linksschief und dominiert von den kurzen Wegen. Der Vergleich der deutschen und der Schweizer Daten zeigt auch die Unterschiede in der Befragungsmethodik: ein schriftlicher Fragebogen zum Selbstausfüllen im einen Falle und ein CATI-gestütztes Interview im anderen. Im Schweizer Fall werden deutlich mehr zeitlich kurze Wege erfasst, respektive die Fußwege-Etappen überhaupt erfasst. Die Verteilungen nach Hauptverkehrsmittel des Weges (Tabelle 1.7 und Tabelle 1.8) zeigen die erwarteten Muster, wobei insbesondere der öffentliche Verkehr mit seinen längeren Wegen auffällt. Die mittleren Wegelängen und -dauern (Tabelle 1.9) sind

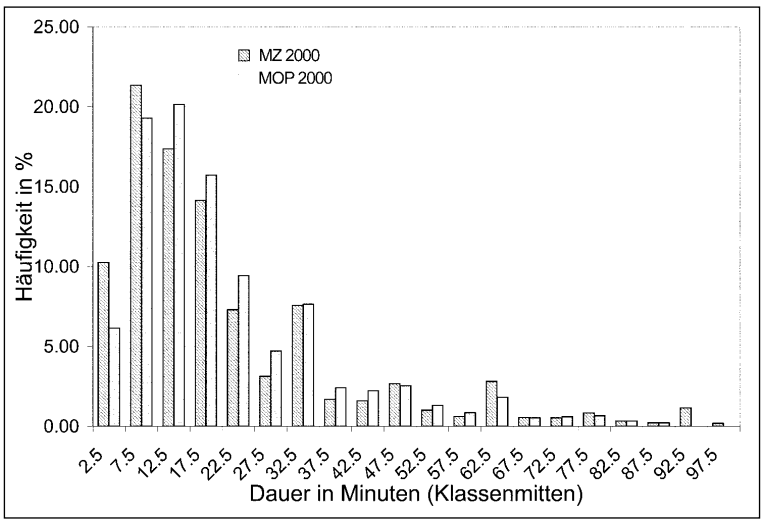


Abb.1.6 Schweiz und Deutschland 2000: Verteilung der Wegedauern*. Daten: Mikrozensus 2000 (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp) und Deutsches Mobilitätspanel 2000; *hier Summe der Etappenzeiten und der Wartezeiten.

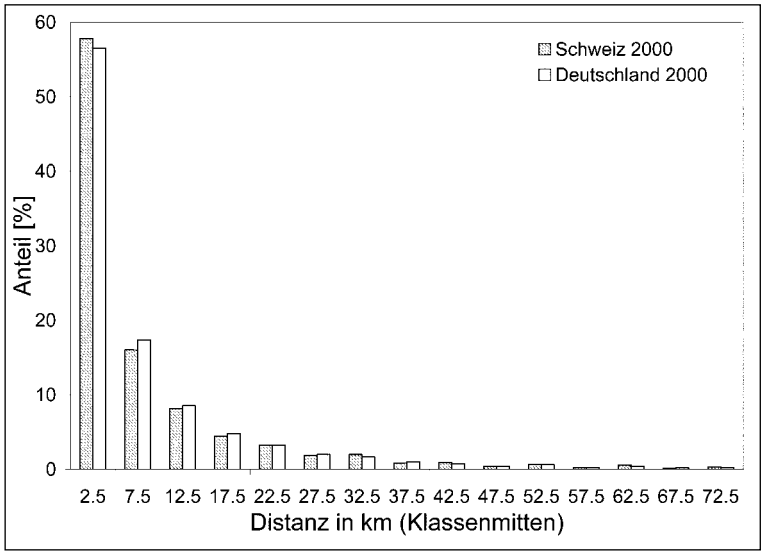


Abb. 1.7 Schweiz und Deutschland 2000: Verteilung der Wegelängen. Daten: Mikrozensus 2000 (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp) und Deutsches Mobilitätspanel 2000

Tabelle 1.7 Schweiz 2000: Verteilung der Wegedauern* [%] nach Hauptverkehrsmittel des Weges. Daten: Mikrozensus 2000 (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp); *hier Summe der Etappenzeiten und der Wartezeiten.

Dauer	Individual-verkehr	Öffentlicher Verkehr	Langsamer Verkehr	Sonstige	Alle
1 - 5 min	23.4	2.1	41.9	11.7	27.3
5 - 10 min	20.5	6.8	20.5	7.8	18.8
10 - 30 min	39.0	42.3	24.1	29.3	34.0
30 - 60 min	9.9	26.5	7.5	32.6	11.3
1 - 5 Std.	6.9	20.0	5.8	17.0	8.1
> 5 h	0.5	2.2	0.2	1.6	0.5
Anteil an allen Wegen	53.0%	10.6%	34.4%	2.1%	100.0%

Tabelle 1.8 Schweiz 2000: Verteilung der Wegelängen [%] nach Hauptverkehrsmittel des Weges. Daten: Mikrozensus 2000

Distanz in km	Individual-verkehr	Öffentlicher Verkehr	Langsamer Verkehr	Sonstige	Alle
Bis 1 km	10.4	3.3	69.7	15.6	30.1
1 bis 10 km	56.2	56.6	28.6	59.3	46.9
10 bis 100 km	31.4	34.0	1.4	19.8	21.2
100 bis 1000 km	1.7	4.7	0.0	0.8	1.4
Über 1000 km	0.0	0.6	-	-	0.1
Anteil an alle Wegen	53.0%	10.6%	34.4%	2.1%	100.0%

Tabelle 1.9 Schweiz 2000: Mittlere Wegedauer* und -länge und Anteil am Verkehrsaufkommen nach Hauptverkehrsmittel des Weges. Daten: Mikrozensus 2000 (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp); *hier Summe der Etappenzeiten und der Wartezeiten.

Hauptverkehrsmittel	Mittlere Dauer [min]	Mittlere Distanz [km]	Anteil am Verkehrsaufkommen (Personenkilometer) [%]
Individualverkehr	25.2	15.0	60.6
Öffentlicher Verkehr	58.7	45.4	33.8
Langsamer Verkehr	20.1	1.7	4.3
Andere	51.1	8.7	1.3
Gesamt	27.3	13.3	100.0

konsistent mit diesen Verteilungen. Bei den Fahrleistungen fällt der hohe MIV-Anteil auf, da auch in der Schweiz der MIV als Fahrer und Mitfahrer den Markt dominiert.

1.5.2 Verkehrsmittelwahl

Die Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen dominiert die Verkehrsmittel. Abbildung 1.8 vergleicht deren Wirkung in Deutschland, der Schweiz und dem Vereinigten Königreich. Die durch den Pkw-Besitz und Zeitkartenbesitz definierten Gruppen differenzieren sich klar, wobei die Gruppe mit beiden Vorinvestitionen ihr Verhalten entsprechend mischen. Hier wird schon klar, dass die wenigsten Personen ausschließlich ein Verkehrsmittel verwenden. Abgesehen von der offensichtlichen Nutzung der eigenen Füße auf dem Weg zu einem Fahrzeug, verwenden die Verkehrsteilnehmer die verschiedenen Verkehrsmittel situationsabhängig.

Die Befragung Mobi*drive* erlaubt mit ihrem sechswöchigem Tagebuch Einblick in diese Mischung (Abb. 1.9). Die Dreiecksdiagramme erlauben es, die Anteile der drei Verkehrsmittelarten (ÖV, MIV und Langsamverkehr) gleichzeitig darzustellen. Zwar konzentriert sich ein Teil der Befragten in dem Bereich des Diagramms, das einer geringen oder keiner

Abb. 1.8 Verkehrsmittelwahl als Funktion des Besitzes der Mobilitätswerkzeuge (Schweiz, Deutschland, UK). Zeitkarten umfassen hier nur lokale und regionale Zeitkarten sowie nationale Netzkarten. (Eigene Darstellung)

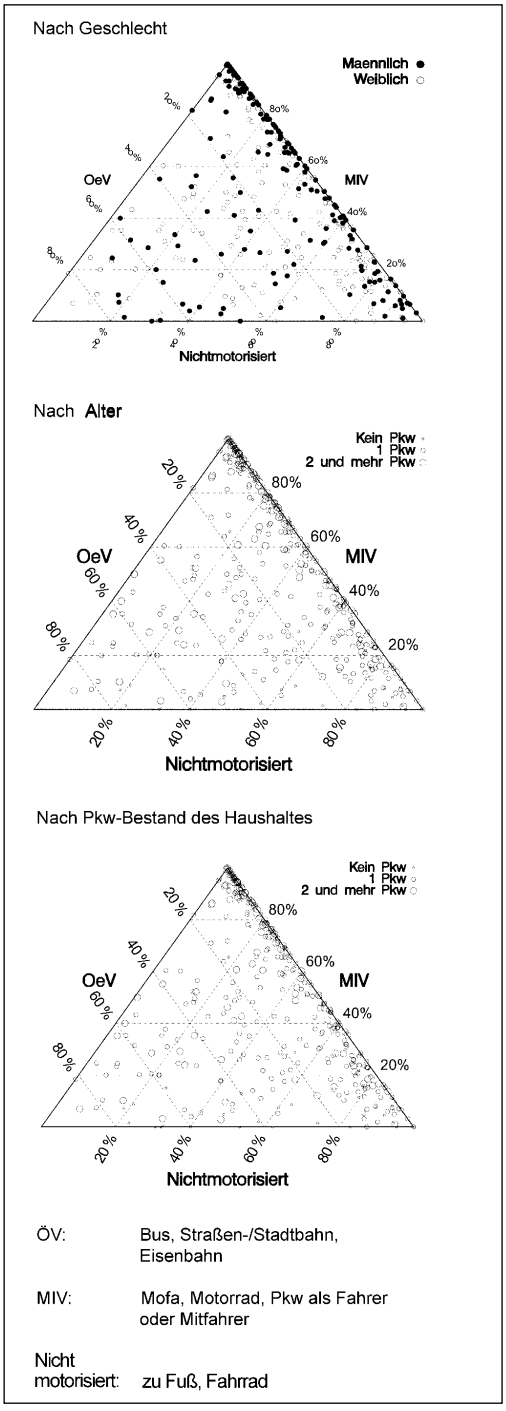


Abb. 1.9 Mobidrive: Mischung der Verkehrsmittelnutzung über 6 Wochen. Daten: Mobidrive. (Schlich et al., 2000).

ÖV-Nutzung entspricht, aber selbst diese Verkehrsteilnehmer mischen dann ihre Pkw-Nutzung mit Wegen zu Fuß und mit dem Fahrrad. Andererseits nutzen die verbleibenden Befragten alle drei Verkehrsmittelarten in weit verschiedenen Verhältnissen. Diese Beobachtungen treffen zu, wenn man die Befragten nach Geschlecht, Alter oder Pkw-Besitz des Haushalts differenziert.

Der differenzierte Einsatz der verschiedenen Verkehrsmittel wird auch dann deutlich, wenn man die Anteile nach Wegezweck betrachtet (Tabelle 1.10). Dies setzt sich bei der Nutzung spezifischer Verkehrsmittel im Rahmen eines Weges fort, wie die Verteilung der Verkehrsmittelketten über die Etappen in Tabelle 1.11 zeigt. Nachfrageelastizitäten sind eine gute, wenn auch gleichzeitig problematische Zusammenfassung des Wissens über das Verhalten der Verkehrsteilnehmer (Cerwenka, 2002): gut, da die in einer Zahl zusammengefasste Reaktion zur weiteren Anwendung zur Verfügung steht; problematisch, da oft vergessen wird, dass diese Zahl in einer bestimmten Situation für einen bestimmten Wertebereich und Satz an Alternativen bestimmt wurde.

Die in Tabelle 1.12 vorgestellten Schweizer Werte sind aber trotzdem wertvoll, da sie die Situation in einer polyzentrischen Großregion abbilden, wie sie ja auch in Deutschland oft vorzufinden ist. Die Werte sind auch ungewöhnlich vollständig, weil sowohl die Eigen- als auch die entsprechenden Kreuzelastizitäten angegeben werden.

Die in Tabelle 1.13 vorgestellten Zeitwerte und relativen Bewertungen reflektieren die relativ langen Fahrtweiten der zugrunde liegenden Befragungen. Im innerstädtischen Verkehr wären niedrigere Werte zu erwarten, zum Beispiel liegen die innerstädtischen Werte bei der Bewertung des Umsteigens typischerweise um 10-12 Minuten pro Umsteigen. Für Deutschland sind bisher keine derartigen Schätzungen bekannt.

Tabelle 1.10: Schweiz 2000: Hauptverkehrsmittel nach ausgewählten Wegezwecken [%]. Daten: Mikrozensus 2000 (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp); [1] hier einschließlich Geschäftsreisen; [2] hier Anzahl Personen im Pkw gewichtet mit der Länge der Etappe; nur Inlandsetappen und befragte Personen als Fahrer berücksichtigt.

Hauptverkehrsmittel	Arbeit	Ausbildung	Einkaufen	Geschäftlich[1]	Freizeit	Erledigung	Begleitung	Alle
Langsamer Verkehr	24.9	65.2	39.4	15.8	38.6	14.7	24.6	35.9
MIV	58.6	10.8	50.1	69.9	50.4	82.8	70.8	51.1
Bus und Tram	5.4	11.3	6.0	1.6	4.3	1.1	1.9	5.3
Eisenbahn und Flugzeug	5.8	7.3	2.0	3.2	3.0	0.4	0.9	3.7
Andere	5.2	5.3	2.5	9.6	3.8	1.1	1.9	4.1
Mittlerer Besetzungsgrad[2]	1.15	1.12	1.62	1.27	1.90	2.27	2.47	1.59
Anteil an allen Wegen	23.43	8.46	19.31	3.88	40.05	3.34	1.53	100

Die Bewertung der Unzuverlässigkeit ist relativ grob, da sie in der stated-preference-Befragung nur als die Wahrscheinlichkeit einer 10-minütigen Verspätung dargestellt wurde. Ihre Präsenz verbessert aber die Schätzung des Wertes des Umsteigens, respektive das Taktes (Intervalls), da sie als selbständiges Element auftritt. In vielen früheren Schätzungen vermischt sich der Einfluss der Verlässlichkeit mit der Bewertung des Umsteigens und führt zu zu hohen Werten.

Die Wartezeit bei der ersten Etappe eines ÖV-Weges muss getrennt von den Wartezeiten beim Umsteigen und bei der Ankunft behandelt werden. Die Wartezeit bei der ersten Etappe ist relativ gering und kann vom Verkehrsteilnehmer selbst gewählt werden. Bei aktuellen Befragungen und Beobachtungen des Instituts in Zürich betrug diese Erstwartezeit zwischen 3-5 Minuten unabhängig von der Länge des Taktes. Die übliche Praxis die Erstwartezeit als den halben Takt zu berechnen ist nicht gerechtfertigt.

Die Wirkung des Taktes liegt in den geplanten Verfrühungen und Verspätungen, die durch ihn entstehen. In einem getakteten System kommt der Fahrgast praktisch immer entweder zu früh oder zu spät an; respektive er muss früher oder später gehen als gewünscht. Diese Wartezeiten werden durch die Veränderung des Taktes oder des Fahrplans reduziert oder vergrößert. Für den deutschen Sprachraum liegen noch keine Schätzungen für die Bewertung dieser Wartezeiten vor, es gibt aber keinen Grund zur Annahme, dass sie sich sehr von den sonst vorliegenden Werten unterscheiden sollten: Gewicht 0.5 für Verfrühungen; 1 für die Fahrtzeit im Fahrzeug und 1.5-2 für Verspätungen (siehe Noland u. Small, 1995 oder de Palma et al., 2003).

Tabelle 1.11 Schweiz 2000: Anteile der zwanzig wichtigsten Verkehrsmittelkombinationen (Intermodalität) nach ausgewählten Wegezwecken. (Mikrozensus 2000 mit korrigiertem Etappendatensatz, d.h. alle notwendigen zu-Fuß-Etappen wurden eingefügt (www.are.admin.ch und http://129.132.96.89/nesstarlight/index.jsp).)

Verkehrsmittelkette	Arbeit	Ausbildung	Einkaufen	Geschäftlich	Freizeit	Erledigung	Begleitung	Alle
1_6_1	51.2	4.5	35.2	57.0	30.5	65.9	52.4	36.3
1_	15.5	45.6	29.9	12.8	29.8	11.9	22.2	26.4
1_7_1	4.5	5.8	10.7	5.0	16.0	10.5	13.7	10.7
1_2_1	7.2	16.8	6.5	3.0	6.5	2.1	1.1	7.1
1_10_1	3.7	9.2	3.7	0.7	2.4	0.7	1.0	3.4
1_6_1_6_1	1.3	0.0	2.3	4.1	1.4	4.5	2.7	1.7
1_11_1	1.4	1.2	1.8	0.4	1.2	0.3	0.7	1.3
1_8_1	1.7	1.6	1.0	0.8	0.9	0.1	0.2	1.1
1_4_1	2.1	0.6	0.5	1.0	0.9	0.4	0.9	1.1
1_90_1	0.7	2.0	0.4	4.7	0.9	0.1	0.2	0.9
1_3_1	1.0	1.7	0.6	0.3	0.7	0.1	0.1	0.8
1_23_1	1.0	0.8	0.3	0.1	0.4	0.1	0.8	0.5
1_7_1_7_1	0.1	0.1	0.6	0.2	0.7	0.5	0.9	0.5
1_10_1_10_1	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.4
1_9_1	0.3	0.9	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.3
1_8_1_10_1	0.5	0.7	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3
1_10_1_8_1	0.4	0.6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2
1_5_1	0.2	0.1	0.3	0.0	0.3	0.1	0.1	0.2
1_8_1_8_1	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2
1_14_1	0.3	0.0	0.0	1.6	0.1	0.1	0.0	0.2
Restliche Ketten	6.0	7.1	5.6	7.7	6.5	2.7	2.5	6.3

Kodierung der Verkehrsmittel

1	Zu Fuß	6	Auto, als Fahrer	14	Lastwagen
2	Fahrrad	7	Auto, als Mitfahrer	23	Kleines Motorrad
3	Moped	8	Zug	90	Andere
4	Motorrad, als Fahrer	9	Postbus		
5	Motorrad, als Beifahrer	10	Bus		

Tabelle 1.12 Schweiz 1999: Nachfrageelastizitäten im MIV und ÖV nach Zweck für Fahrtweiten über 10 km. (Vrtic et al., 2003); (*) Wahrscheinlichkeit für eine Verspätung von mindestens 10 min.

Variablen-Veränderung	Verkehr-mittel	Alle Fahrt-zwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit/ Urlaub
		Aus SP-Modellparameter und RP-Variablenmittelwert berechnete Nachfrageelastizitäten				
Reisezeit Pkw	Pkw	-0.425	-0.665	-0.680	-0.545	-0.530
	ÖV	0.671	0.776	1.531	1.008	0.937
Preis Pkw	Pkw	-0.121	-0.312	-0.076	-0.156	-0.174
	ÖV	0.191	0.365	0.171	0.288	0.308
Fahrzeit ÖV	Pkw	0.365	0.480	0.615	0.460	0.456
	ÖV	-0.575	-0.560	-1.386	-0.850	-0.805
Preis ÖV	Pkw	0.157	0.435	0.092	0.223	0.217
	ÖV	-0.247	-0.508	-0.206	-0.412	-0.383
Zugangszeit	Pkw	0.172	0.272	0.111	0.279	0.127
	ÖV	-0.272	-0.318	-0.249	-0.515	-0.224
Intervall	Pkw	0.144	0.320	0.154	0.121	0.116
	ÖV	-0.227	-0.374	-0.346	-0.224	-0.205
Umsteigezahl	Pkw	0.115	0.133	0.151	0.101	0.134
	ÖV	-0.181	-0.156	-0.339	-0.186	-0.237
		Nur aus SP-Daten berechnete Nachfrageelastizitäten				
Verlässlichkeit Pkw*	Pkw	-0.024		-0.064		-0.024
	ÖV	0.049		0.146		0.044
Verlässlichkeit ÖV*	Pkw	0.016		0.050		0.015
	ÖV	-0.035		-0.114		-0.030

Tabelle 1.13 Schweiz 1999: Zeitkostensätze und relative Bewertungen der Elemente der generalisierten Kosten nach Zweck für Fahrtweiten über 10 km. (Angepasst nach Vrtic et al., 2003); (*) Wahrscheinlichkeit für eine Verspätung von min. 10 min.

	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit/ Urlaub
Zeitwert Pkw-Fahrtzeit [CHF/h]	27.7	15.2	74.6	25.3	25.3
Zeitwert ÖV-Fahrtzeit [CHF/h]	18.5	8.7	55.8	16.0	16.7
Zeitwert Intervall [CHF/h]	8.3	4.5	23.7	3.1	6.6
Umsteigewert [CHF/Umsteigen]	7.6	2.6	21.0	3.9	7.2
Verlässlichkeit Pkw* [CHF/Wahrsch.%]	0.1		0.7		0.1
Verlässlichkeit ÖV* [CHF/Wahrsch.%]	0.1		0.6		0.1
Fahrtzeit Pkw/ÖV	1.5	1.8	1.3	1.6	1.5
Umsteigezahl/Fahrtzeit ÖV [min/Umsteigen]	24.6	18.1	22.6	14.6	25.8
Intervall/Fahrtzeit ÖV	0.4	0.5	0.4	0.2	0.4
Zugangszeit ÖV/Fahrtzeit ÖV	2.7	2.0	1.5	2.2	2.4

1.5.3 Abfahrtszeiten

Die Flexibilisierung der Arbeitszeiten und die Ausdehnung der Öffnungszeiten vieler Einrichtungen und Geschäfte haben den Verkehrsteilnehmern in den letzten zwei Jahrzehnten einen größeren Spielraum bei der Wahl der Abfahrtszeit eingeräumt. In vielen Fällen ist es für die Reisenden am einfachsten, ihr Verhalten in dieser Dimension zu ändern: spätere Rückkehr am Abend, um den Stau zu vermeiden, früherer Aufbruch in den Urlaub usw. Abbildung 1.10 illustriert diese Möglichkeiten am Beispiel des Baregg-Tunnels bei Baden, einem notorischen Engpass zwischen den Wohngebieten im Kanton Aargau und den Arbeitsplätzen im Ballungsraum Zürich und zeigt die Verbreiterung der Spitzen und ihrer relativen Einebnung. Angesichts der Bedeutung dieser Verhaltensdimension ist es bedauerlich, dass sie in praktisch keinem Fall bei der Beurteilung von verkehrspolitischen Maßnahmen berücksichtigt wird.

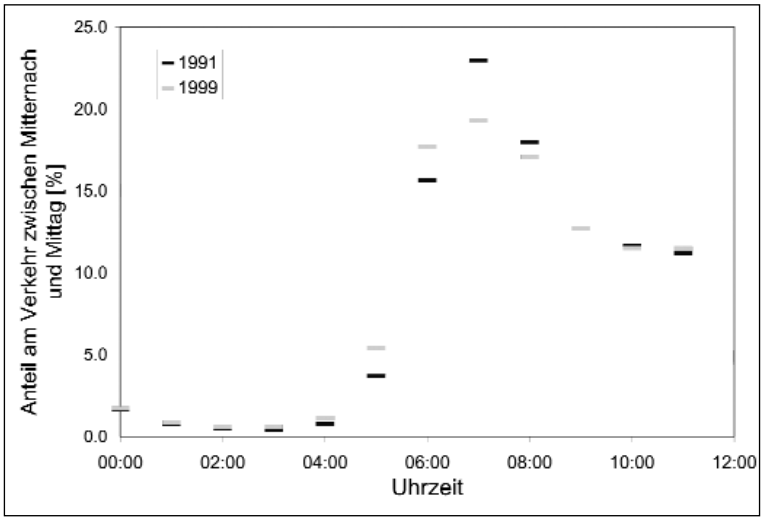


Abb. 1.10 Verschiebung und Veränderung der Morgenspitze Richtung Zürich am Baregg-Tunnel bei Baden zwischen 1991 und 1999. Daten: Tiefbauamt des Kanton Aargau.

1.6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Verkehrsteilnehmer lösen ihre täglichen Aufgaben mit dem ihnen vorhandenen Wissen und ihren Ressourcen und müssen dabei die langfristigen Bindungen und Verpflichtungen respektieren, die sie eingegangen sind. Ein Teil des andauernden Lernprozesses ist natürlich auch die Veränderung dieser langfristigen Bindungen und Verpflichtungen, wenn damit der Alltag besser bewältigt werden kann. In diesem Rahmen ist das Verhalten variabel und anpassungsfähig, wie an verschiedenen Beispielen, unter anderem den Elastizitäten der Verkehrsmittelwahl, gezeigt wurde.

Die präsentierten Zahlen zum Verkehrsverhalten sind immer auch als Produkt der sie erzeugenden Definitionen und Befragungen zu verstehen. Die vorgeschlagene Systematik von Etappe, Weg und Aktivität samt der abgeleiteten Konzepte sind in sich nur schlüssig, wenn der Begriff Aktivität für die Befragten klar wird. Die umgangssprachliche und alltägliche Definition ist zum Beispiel in manchen Fällen zu grob. Man denke an das Einkaufen, bei dem in der Regel nicht jedes besuchte Geschäft getrennt berichtet wird.

Das Mengengerüst, das die Tabellen und Abbildungen berichten, beruht zwar auf Schweizer Zahlen, ist aber deshalb relativ gut auf die Verhältnisse in den deutschen Großstädten und ihren Regionen übertragbar, da nach Berücksichtigung von Alterstruktur, Einkommen und Besitz von Mobilitätswerkzeugen die Unterschiede zwischen den Ländern klein sein sollten.

Literatur

Axhausen, K.W. (2000): Definition of movement and activity for transport modelling. In: Hensher, D.A. u. Button, K.J. (Hrsg.): Handbook of Transport Modelling, I, S. 271-284, Elsevier, Oxford

Axhausen, K.W. (2003a): Definitions and measurement problems. In: Axhausen, K.W.; Madre, J.L.; Polak, J.W.; Toint, P. (Hrsg.): Capturing Long Distance Travel, S. 8-25, Research Science Press, Baldock

Axhausen, K.W. (2003b): Social networks and travel: Some hypotheses, Arbeitsberichte Verkehr- und Raumplanung, 197, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich

Axhausen, K.W.; Zimmermann, A.; Schönfelder, S.; Rindsfüser, G.; Haupt, T. (2002): Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary, Transportation, 29 (2). S. 95-124

Axhausen, K.W.; Beige, S.; Bernard, M. (2004): Perspektiven des Schweizerischen Verkehrs bis 2030: Module M04 und M05 Besitz von Mobilitätswerkzeugen – Fahrleistungen/Betriebsleistungen und Verkehrsleistungen, Bericht an das Bundesamt für Raumentwicklung, Bern, IVT, ETH Zürich, Zürich

Beige, S. u. Axhausen, K.W. (2003): Besitz von Mobilitätsressourcen und deren Nutzung sowie Änderungen des Wohnortes, Bericht für Univox 2003, GfS, Zürich

BFS und ARE (2003): Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten, EDI und UVEK, Bern5

Cerwenka, P. (2002): Glanz und Elend der Elastizität, Der Nahverkehr, 20 (6), S. 28-33

de Palma, A.; Fontan, C.; Picard, N. (2003): Departure time choice: estimation results and simulation to Paris area, Vortrag bei 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Luzern, August 2003

Götz, K.; Jahn, T.; Schultz, I. (1998): Mobilitätsstile: Ein sozial-ökologischer Untersuchungsansatz, Forschungsbericht Stadtverträgliche Mobilität, 7, Forschungsverbund City:mobil, Frankfurt am Main

Hägerstrand, T. (1970): What about people in regional science?, Papers of the Regional Science Association, 24 (1), S. 7-21

Madre, J.-L.; Axhausen, K.W.; Gascon, M.O. (2003): Immobility: A microdata analysis, Paper presented at 10th IATBR conference, Lucerne, August 2003

Mokhtarian, P.L. u. Chen, C. (Im Druck): TTB or TTB, that is the questions: a review and analyis of the empirical literature on travel time and money budgets, Transportation Research A

Noland, R.B. u. Small, K.A. (1995): Travel time uncertainty, departure time choice and the cost of morning commutes, Transportation Research Record, 1493, S. 150-158

Schlich, R. u. Axhausen, K. W. (2003): Habitual travel behaviour - evidence from a six week travel diary, Transportation, 30 (1), S. 13-36

Schlich, R.; König, A.; Axhausen, K.W. (2000): Stabilität und Variabilität im Verkehrsverhalten, Strassenverkehrstechnik, 44 (9), S. 431-440

Schlich, R.; Simma, A.; Axhausen, K.W. (2003): Determinanten des Freizeitverkehrs – Modellierung und empirische Befunde, Forschungsauftrag SVI 2000/443, IVT, ETH Zürich, Zürich

Vrtic, M. u. Axhausen, K.W. (2003): Experiment mit einem dynamischen Umlegungsverfahren, Straßenverkehrstechnik, 47 (3), S. 121-126

Vrtic, M. u. Axhausen, K.W. (2003): Überprüfung von Prognoseansätzen im Personenverkehr: Ergebnisse einer Vorher-/Nachheruntersuchung, Internationales Verkehrswesen, 55 (9), S. 392-399

Fußnoten

1 Zu Fuß gehen ist ein Verkehrsmittel, das auch Skateboarding, Rollschuhlaufen und ähnliches einschließt.

2 Ein Weg besteht aus einer zu-Fuß-Etappe oder ansonsten aus mindestens drei Etappen: zu Fuß zum Fahrzeug, mit dem Fahrzeug und zu Fuß zum Ziel. Wenn das zu Fuß gehen die Aktivität selber ist, wie zum Beispiel beim Hunde ausführen von zu Hause aus, gibt es keinen Weg zu dieser Aktivität.

3 Je nach Annahme zur Anzahl der Wege pro Reise und deren Längenverteilung impliziert diese Zahl etwa 14-16 Wege über 100 km Fahrtweite, was je nach Annahme zur Zahl aller Wege/Jahr wiederum 1.0-1.5 Prozent aller Wege entsprechen sollte (siehe auch Abbildung 1.7 oder Tabelle 1.8).

4 Erstellt von Herrn W. Manz, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe.

5 http://www.are.admin.ch/imperia/md/content/are/gesamtverkehr/verkehrsforschung2/5.pdf

2 Erhebungen zur Verkehrsnachfrage

2.1 Erhebungsgrundsätze

Die Grundlage jeder abgesicherten Planung bilden fundierte, methodisch einwandfrei entwickelte und durchgeführte Erhebungen zur Verkehrsnachfrage. Waren in der Vergangenheit Planungskonzepte verstärkt auf eine Ausweitung der Verkehrsinfrastruktur ausgerichtet, bilden nunmehr betriebliche Anforderungen und zunehmend auch Überlegungen zur Erhaltung und Verbesserung der Lebensqualität das Grundgerüst von Planungsüberlegungen. Entsprechend hat sich das Spektrum der Verkehrserhebungsmethoden von der rein beschreibenden Erfassung des Verkehrsgeschehens hin zu einer Ursachenaufdeckung der Verkehrsentstehung entwickelt, so dass heute neben den bewährten verkehrstechnischen Erhebungen die Methoden zur Analyse des Verkehrsverhaltens zur Verfügung stehen und ständig weiter verfeinert werden.

Da es keine universelle Erhebungsmethode gibt, muss in Abhängigkeit vom Untersuchungsziel die geeignete Methode gewählt werden. Hierbei ist von grundlegender Bedeutung, dass der Informationsbedarf eindeutig definiert wird, die räumlichen Abgrenzungen klar dargelegt und die ökonomischen Rahmenbedingungen abgesteckt werden.

Die Arbeitsschritte einer jeden Erhebung gehen aus Abbildung 2.1 hervor. Den Bedingungen des Datenschutzes ist eine wesentliche Bedeutung beizumessen.

Ergänzend zu der Erhebung von Primärdaten muss je nach Aufgabenstellung schon in der Phase der Grundlagenkonzeption untersucht werden, ob ein Rückgriff auf Sekundärdaten möglich und notwendig ist (siehe Kap. B 2.2).

Die Wahl einer geeigneten Erhebungsmethode ist in Abhängigkeit von der Klärung der folgenden Fragen vorzunehmen:

- Welcher Erhebungsanlass liegt vor?
- Welchen Zielen soll die Erhebung entsprechen?
- Welche primären Erhebungsmerkmale sind zu erfassen?
- Welche Aussagegenauigkeit wird erwartet?
- Kann bzw. muss auf Erfahrungen aus vorangegangenen Erhebungen zurückgegriffen werden?

Jede Erhebungsmethode kann mit einem entsprechenden finanziellen Aufwand zeitlich, räumlich und mengenmäßig optimiert werden.

Es sind jeder Erhebungsmethode hinsichtlich des Umfangs und des Informationsgehalts der erfassbaren Merkmale Grenzen gesetzt. Sie sollten vor der Wahl der Erhebungsmethode bekannt sein. Aus Abbildung 2.2 sind die erfassbaren, bedingt erfassbaren bzw. nicht erfassbaren Merkmale für gängige Erhebungsmethode im Verkehrswesen zu entnehmen.

Grundsätzlich werden verkehrstechnische Erhebungen (Zählungen und Stromerhebungen) und verkehrsverhaltensbezogene Erhebungen (Beobachtungen und Befragungen) unterschieden. Diese Methoden werden im Folgenden kurz beschrieben.

- *Objektzählung:* Unter einer Objektzählung ist die Erhebung von Personen und/oder Fahrzeugen zu verstehen, die sich während eines definierten Zeitabschnittes in einem klar abgrenzbaren Gebiet aufhalten. Hiermit sind z.B. Zählungen von Personen auf einem Fußwegabschnitt oder Zählungen von parkenden Fahrzeugen gemeint.
- *Querschnittszählung:* Mit Hilfe einer Querschnittszählung werden Personen und/oder Fahrzeuge erfasst, die während eines definierten Zeitabschnittes einen Zählquer-

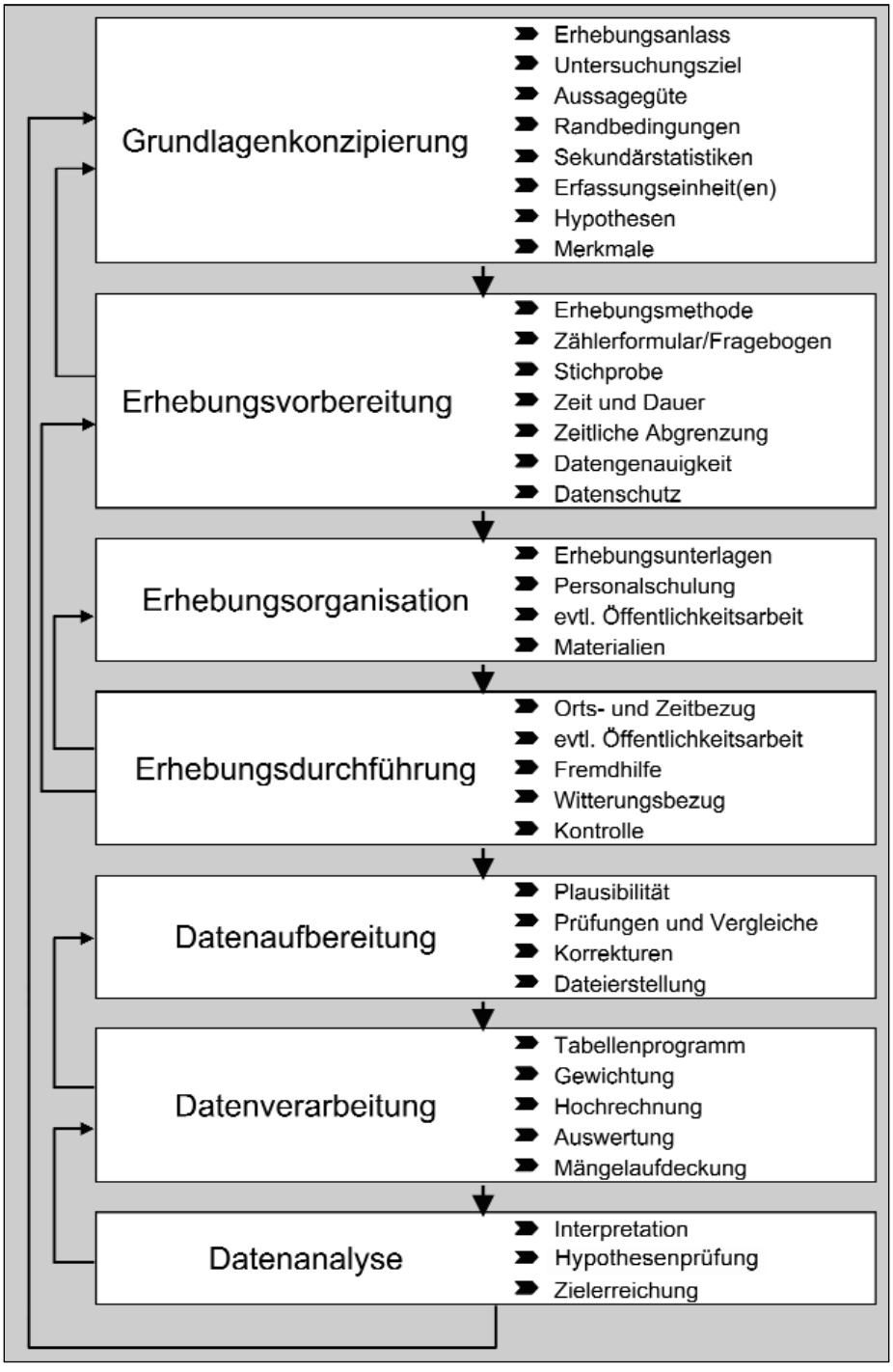


Abb. 2.1 Arbeitsschritte bei Verkehrserhebungen. (Eigene Darstellung)

Erhebungs-methode	Merkmale		
	erfassbar	bedingt erfassbar	nicht erfassbar
Objektzählung	unstrukturierte Mengen	strukturierte Mengen	Verkehrsverteilung, Wegezweck, Struktur der Verkehrsteilnehmer
Querschnitts-zählung	strukturierte Mengen nach Fahrzeugart, Richtung und Fahrstreifen	Besetzungsgrad	Verkehrsverteilung, Wegezweck, Struktur der Verkehrsteilnehmer
Knotenpunkts-zählung	strukturierte Mengen, Geh- und Fahrtrichtungen	Besetzungsgrad, Kennzeichen	Quelle-Ziel-Relation, Wegezweck, Struktur der Verkehrsteilnehmer
Stromerhebung	strukturierte Mengen, Geh- und Fahrtrichtungen	Besetzungsgrad	Quelle-Ziel-Relation, Wegezweck, Struktur der Verkehrsteilnehmer
Beobachtung	strukturierte Mengen, sichtbare Verhaltensweisen, äußere Merkmale der Verkehrsteilnehmer	Wegezweck	Hintergründe der Verhaltensweisen, Struktur der Verkehrsteilnehmer, Information über zurückliegendes und zukünftiges Verhalten
Befragung im Verkehrsnetz	strukturierte Mengen, Quelle-Ziel-Relation, Wegezweck	Gesamtheit der Mengen, Struktur der Verkehrsteilnehmer, Wegewahl	Hintergründe der Verhaltensweisen, Motivationsrahmen
Befragung im Haushalt	Gesamtheit der Verkehrsaktivitäten, Struktur der Verkehrsteilnehmer Hintergründe der Verhaltensweisen	Motivationsrahmen	Informationen von Verkehrsteilnehmern von "außerhalb", Verhalten in der realen Situation, Wegewahl
Befragung am Aktivitätenort	Zielortbezogene Verkehrsaktivitäten, Struktur der Verkehrsteilnehmer, Verhalten in der realen Situation	Wegewahl, Motivationsrahmen	Gesamtheit der Verkehrsaktivitäten
Befragung im Betrieb	Struktur des Betriebs, Gesamtheit der Verkehrsaktivitäten des Betriebs	Gesamtheit der Mengen	Zuliefer- und sonstige Fremdverkehre

Abb. 2.2 Gliederung der Erhebungsmethoden nach Erfassbarkeit von Merkmalen. (Eigene Darstellung)

schnitt passieren. Querschnittszählungen können manuell oder mit Hilfe von automatischen Zählanlagen durchgeführt werden.
- *Stromerhebung:* Zwei Arten von Stromerhebungen werden unterschieden:
  - *Kleinräumige Stromerhebung:*
    Ist der Verkehrsablauf z.B. an einem Knotenpunkt überschaubar, kann eine nach der Geh- oder Fahrtrichtung getrennte Querschnittszählung Aufschluss über die Verteilung der Verkehrsströme liefern.
  - *Großräumige Stromerhebung:*
    Sollen die Verkehrsströme für ein größeres Erhebungsgebiet erfasst werden, bietet sich die Kennzeichenerfassungsmethode an.
    Eine bewährte Art der Durchführung ist die Kordonzählung. Hier werden an allen relevanten Zu- und Ausfahrtstraßen eines Er hebungsgebiets alle ein- und ausströmenden Verkehre erfasst. U.a. lassen sich so Ziel-, Quell- und Durchgangsverkehre ermitteln.
- *Beobachtung:* Durch Beobachtungen werden äußere Merkmale und aktuelle, sichtbare Verhaltensweisen der Verkehrsteilnahme von Personen erfasst. Über Verhaltenshintergründe sind dabei keine Informationen einzuholen. Die Erfassung unterschiedlicher Aktivitäten im Straßenraum kann auch mit Hilfe von Video-Aufzeichnungen erfolgen.
- *Befragung:* Durch Befragungen lassen sich erinnerte und/oder beabsichtigte Verkehrsaktivitäten und Verkehrsverhaltens-Hintergründe von Personen auf der Basis der realen zeitlichen, räumlichen und soziodemographischen Bezüge erfassen. Es werden unterschieden:
  - *Befragung im Verkehrsnetz:*
    Hiermit sind Kurzbefragungen von Personen an ausgewählten Punkten des Straßennetzes oder in Linien des öffentlichen Personennahverkehrs gemeint. Vorrangig geht es um die Erfassung von Quell- und Zielangaben, des Wegezwecks und der soziodemographischen Struktur.
  - *Befragung im Haushalt:*
    Grundsätzlich werden mündliche, schriftliche und telefonische Haushaltsbefragungen unterschieden. Anhand eines in der Regel standardisierten Fragebogens werden von Personen oder Haushalten, die durch eine Stichprobenermittlung zufällig ausgewählt wurden, die außerhäusigen Verkehrsaktivitäten erfasst.
  - *Befragung am Aktivitätsort:*
    Befragungen dieser Art finden z.B. in Betrieben oder auf Parkplätzen von Freizeitanlagen statt. Auch hier wird anhand eines standardisierten Fragebogens das Spektrum der realisierten Verkehrsaktivitäten unter Beachtung der soziodemographischen Struktur der Befragten erfasst.

2.2 Sekundärstatistiken/ Strukturdaten

Unter Sekundärstatistiken bzw. Strukturdaten werden Datenbanken, öffentlich zugängliche Statistiken und Ergebnisse von verkehrsspezifischen und nichtverkehrsspezifischen Untersuchungen verstanden, also die Gesamtheit der vorliegenden Daten. Sekundärstatistiken eignen sich zur
- Vorbereitung von Erhebungen
- Ergänzung von Primärerhebungen
- Aufbereitung mit neuen thematischen Schwerpunkten
- Datenkalibrierung
- Datenkontrolle
- Datenplausibilisierung
- Datengewichtung
- Datenhochrechnung
- Datenanalyse.

Die spezifischen Erfassungsbedingungen und die Güte der Strukturdaten sind bei der Einschätzung der Zuverlässigkeit und bei der Einbindung in die Untersuchungsanlage zu beachten. Von einer Vielzahl von Institutionen werden verkehrsbedeutsame Daten erhoben, aufbereitet und fortgeschrieben.

Die Strukturdaten werden unterschieden nach:

- *Verkehrsdaten*
  Verkehrsmengendaten von Autobahnen und Bundesstraßen, Bundesverkehrszählungen, Verkehrsdatenbank des Bundes, Verkehr in Zahlen als jährliche Dokumentation des Verkehrsgeschehens, Datenbanken der Bundesanstalt für Straßenwesen, Statistiken des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen.
- *Kfz-Bestandsdaten*
  Zentraldatei des Kraftfahrtbundesamts, Verband der Automobilindustrie und Statistisches Jahrbuch deutscher Gemeinden, Kfz-Zulassungsstellen.
- *Verhaltensdaten*
  Zentrum für Umfragen, Methoden und Analysen e.V. (ZUMA), Kontinuierliche Erfassung des Verkehrsverhaltens (KONTIV, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen).
- *Einwohner- und Beschäftigtendaten*
  Volks- und Arbeitsstättenzählungen, Mikrozensus, Einwohnermeldeämter, Statistisches Bundesamt und Statistische Landesämter, Pendlerdaten der Arbeitsämter, Beschäftigtenstatistik der Bundesanstalt für Arbeit, amtliche Schulstatistiken.

Die Statistischen Landesämter bzw. das Statistische Bundesamt veröffentlichen in regelmäßigen Abständen Übersichten zu abrufbaren Daten. Die „Dokumentation der Verkehrserhebungen in Bund, Ländern und Gemeinden“ wird von der Zentralen Informationsstelle für Verkehr in der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft betreut und vermittelt in standardisierter Form einen Überblick zu durchgeführten, laufenden und geplanten Verkehrserhebungen. Das Deutsche Institut für Urbanistik hat neben dem Auskunftssystem ORLIS die Datenbank „KommDEMOS“ angelegt, in der speziell kommunale Umfragen gespeichert sind.

Weiterhin ist geplant, ein Netzwerk „Stadt- und Regionalstatistik“ einzurichten, um so die Zuständigkeitsgrenzen im Gesamtsystem der amtlichen Statistik zu überwinden.

Die „Clearingstelle für Verkehrsdaten und Verkehrsmodelle“ (info@clearingstelle-verkehr.de) im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. richtet sich sowohl an Einrichtungen, die verkehrsrelevante Daten erheben als auch an jene, die solche Forschungsergebnisse nutzen möchten. Die Dokumentation der Datenbestände orientiert sich an der „Document Type Definition codebook.DTD“ der internationalen Data Documentation Initiative (DDI, 2002).

2.3 Verkehrstechnische Erhebungen des Personenverkehrs

2.3.1 Gebietsbezogene, zeitliche und organisatorische Anforderungen

Je nach Aufgabenstellung sind einzelne Verkehrsarten zu erfassen oder eine Erhebung über alle Verkehrsarten durchzuführen. In den Kapiteln B 2.3.2 bis 2.3.5 werden die Erhebungsmethoden der Einzelverkehrsarten behandelt. Kapitel B 2.3.1 gibt eine kurze Übersicht zu den gebiets-, zeit- und organisationsbezogenen Anforderungen, die in dieser Form bei allen verkehrstechnischen Erhebungen berücksichtigt werden sollten.

Gebietsbezug: Die Begrenzung und Einteilung des Erhebungsgebietes ist abhängig von der Untersuchungsfragestellung. Die Einteilung hat sich nach statistischen, verkehrstechnischen, siedlungsstrukturellen und geografischen Gegebenheiten zu richten. Die Grenzen der Verkehrsbezirke sollen mit denen der statistischen Bezirke bzw. Gemeindegrenzen zusammenfallen. Nur dann ist ein problemgerechter Zugriff auf Sekundärstatistiken gegeben (vgl. Steierwald u. Heinz, 1981).

Zeit: Bei der Festlegung der Durchführungsmodalitäten von verkehrstechnischen Erhebungen wird versucht, solche Monate, Wochentage und Tageszeiten zu nutzen, die eine Erfassung eines repräsentativen Abbildes des Verkehrsgeschehens gewährleisten. Bewährt haben sich dabei als

– Erhebungsmonate = April, Mai, September und Oktober
– Erhebungstage = Dienstag und Donnerstag.

Der Erhebungstag sollte nicht in einer Woche mit einem Feiertag oder Schulferientag liegen. Die Wochentage Montag und Freitag zeigen vergleichsweise hohe Verkehrsaufkommenswerte und sind daher als repräsentative Erhebungstage ungeeignet. Gegen den Mittwoch als Erhebungstag spricht, dass am Nachmittag einige Dienstleistungsbereiche geschlossen sind. Zu beachten ist weiterhin, dass bei der Verkehrsmodellierung überwiegend der so genannte Normalwerktag genutzt wird.

Als Tageszeitintervalle zur Erfassung unterschiedlicher Verkehrsanteile bieten sich die folgenden Zeitspannen an:

Tagesverkehr:	6.00 - 22.00 Uhr
Nachtverkehr:	22.00 - 6.00 Uhr
Vormittagsverkehr:	6.00 - 10.00 Uhr
Nachmittagsverkehr:	15.00 - 19.00 Uhr.

Erfordert es die Fragestellung, die Eigenart des Untersuchungsgebietes oder die Netzfunktion einer Straße, so können auch andere Zeitintervalle gewählt werden. Es sollten entsprechende Hochrechnungsfaktoren vorliegen.

Die Zeitintervalle sind für eine Region konstant zu halten. Nur so können Zeitreihen problemlos ermittelt und Verkehrsentwicklungstendenzen abgeleitet werden.

Sind entsprechende Grundlageninformationen nicht vorhanden bzw. ist die Wirkungsabschätzung einer innerortsbezogenen Maßnahme vorzunehmen, bieten sich zeitabgestimmte Vorher-Nachher-Untersuchungen an.

Organisation: Im Rahmen der Organisation einer verkehrstechnischen Erhebung sind die folgenden Punkte zu behandeln:

– Ortsbesichtigung der vorgesehenen Zählstellen
– Erstellung von Zählstellenplänen
– Festlegung der Zählzeiten
– Auswahl bzw. Entwerfen der benötigten Zählformulare
– evtl. Durchführung einer Probezählung (Pre-Test)
– Bestimmung der erforderlichen Anzahl der Zähler
– Druck der Zählformulare
– Einsatzplan für die Zähler
– Aufstellung genauer Zählanweisungen
– Rekrutierung der Zähler (auch Ersatzzähler)
– Einweisung des Aufsichtspersonals
– Einweisung der Zähler
– Ausstellung von Zählerausweisen
– Evtl. Beantragung von erforderlichen Genehmigungen
– Evtl. Beantragung polizeilicher Unterstützung
– Anfertigung von Hinweistafeln
– Versicherung der Zähler und des Aufsichtspersonals
– Ausstattung der Zähler (Zählmaterial, Anweisungen, evtl. Warnwesten und Wetterschutz)
– Einweisung des Zählpersonals am Zählort
– Kontrolle des Zählpersonals.

Besonders sorgfältig sind Art, Lage und Anzahl der Zählstellen festzulegen. Bei der Art

der Zählstellen ist zu unterscheiden, ob in den Verkehrsablauf eingegriffen wird oder nicht. Wird ein solcher Eingriff notwendig, ist die Auswahl der Erhebungsschleusen unter der Prämisse einer weitgehenden Übersichtlichkeit und Sicherheit für alle Beteiligten mit den zuständigen Verkehrsbehörden und Polizeidienststellen abzustimmen.

Die Lage der Erhebungsschleusen ist durch eine ortsgerechte Beschilderung kenntlich zu machen. Die Fahrzeuge dürfen nur durch Polizeibeamte eingewiesen und angehalten werden. Soll eine Erhebung auch bei Dunkelheit erfolgen, ist für eine ausreichende Beleuchtung der Erhebungsschleuse zu sorgen. Bei umfangreichen Erhebungen sollten vorher durch eine Probeerhebung (Pre-Test) Aufschlüsse über den Personal- und Materialeinsatz eingeholt werden. Da sich Erhebungs- fehler nur schwer aufdecken und korrigieren lassen, ist eine zeitnahe Überprüfung des sachgerechten Ausfüllens der Zählformulare notwendig.

2.3.2 Motorisierter Individualverkehr

Reichen in Abhängigkeit von der Untersuchungsfragestellung Informationen über die Verkehrsstärken bzw. über die Zusammensetzung und Verteilung von Verkehrsmengen aus, so kommen verkehrstechnische Erhebungen – also Querschnittszählungen, Stromerhebungen und Befragungen im Verkehrsnetz – zur Anwendung. Dabei können zusätzlich die in den Fahrzeugen befindlichen Personen erfasst und damit der Besetzungsgrad ermittelt werden.

Querschnittszählung: Mit Hilfe der Querschnittszählung werden Fahrzeuge erfasst, die während einer definierten Erhebungsdauer einen Straßenquerschnitt durchfahren. Die geeigneten *Erhebungsmonate und -tage* sind bereits im Kapitel B 2.3.1 angesprochen.

Die *Erhebungsdauer* ist in Abhängigkeit vom Untersuchungsziel und der zu erfassenden Verkehrscharakteristik festzulegen. Unterschieden werden Erfassungen
- der Tagesbelastungen mit Ausweisung der Tagesganglinie
- der Spitzenbelastungen
- von Sonderbelastungen.

In Abhängigkeit von dieser Charakteristik ist zu entscheiden, ob die Zählung manuell oder mit Zählgeräten durchgeführt werden soll.

Langzeitzählungen umfassen den gesamten Tag oder – bei Existenz von zuverlässigen Hochrechnungsfaktoren – das Zeitintervall von 6.00-22.00 Uhr bzw. von 6.00-19.00 Uhr (vgl. Leerkamp, 1999).

Kurzzeitzählungen werden dann durchgeführt, wenn die zu erfassende Verkehrscharakteristik eine Reduktion auf wenige Zählstunden zulässt bzw. die mögliche Aussagegenauigkeit bei Hochrechnungen auf den Tag durch vorhandene Informationen aus Langzeitzählungen oder mit Hilfe geeigneter Faktoren erreicht werden kann.

Die minimale kontinuierliche Erhebungsdauer für die Erfassung des Werktagsverkehrs sollte 2 Stunden betragen. Zur Erfassung der wesentlichen Strukturen des Tagesverkehrs ist sowohl in einem Vormittagsintervall (6.00 - 10.00 Uhr) als auch in einem Nachmittagsintervall (15.00 -19.00 Uhr) zu zählen. Die Zählzeiten können der Fragestellung, der Netzfunktion der Straße, der Charakteristik des Erhebungsgebietes und dem Fahrtzweck angepasst werden.

Es werden turnusmäßig alle fünf Jahre manuelle Straßenverkehrszählungen auf Außerortsstraßen durchgeführt. In einer Forschungsarbeit (vgl. Laffont et al., 1998) wurden hierfür folgende Zählzeiten vorgeschlagen:
- an Normalwerktagen: 7:00 - 9:00 Uhr und 15:00 -18:00 Uhr
- an Freitagen und Ferienwerktagen: 15:00 -18:00 Uhr
- an Sonntagen: 16:00 -19:00 Uhr.

Bei Querschnittszählungen lassen sich folgende Merkmale registrieren:
- Tageszeitintervall
- Fahrzeugart (Mofa, Moped, Krad, Pkw, Kombi, Lieferfahrzeuge (Lfz), Bus, Lkw, Lastzug (Lz), Sonderfahrzeug (Sfz). Üblich ist auch die Erfassung von Fahrrädern.)
- Fahrtrichtung
- Fahrstreifen.

Im Rahmen von Spezialuntersuchungen kann es notwendig werden, zusätzlich z.B. den Besetzungsgrad, das Kennzeichen oder gekennzeichnete Gefahrguttransporte zu erfassen.

Je nach Verkehrsstärke und Analyseanspruch können die einzelnen Zeitabschnitte der Erfassung von 5 Minuten bis 30 Minuten variiert werden. Bewährt hat sich das 15-Minutenintervall.

Bei *manuellen Querschnittszählungen* erfolgt die Registrierung der Kraftfahrzeuge entweder in Zählformularen (siehe Abb. 2.3), mit Handzählgeräten oder mit Hilfe von Handheld-Computern. Die manuelle Querschnittszählung wird vorwiegend dann eingesetzt, wenn zeitgleich an mehreren Querschnitten erhoben werden soll bzw. wenn sich aus technischen und wirtschaftlichen Gründen der Einsatz von automatischen Verkehrszählanlagen verbietet. Bei Nutzung von Zählformularen und bei einem Querschnitt mit zwei Fahrstreifen liegt die Zählleistung pro Zähler bei ca. 500 Kfz/h. Wird ein Handzählgerät benutzt, lässt sich diese Leistung auf ca. 1000 Kfz/h erhöhen. Bei Nutzung eines Handheld-Computers kann ein maximal belasteter Querschnitt mit zwei Fahrstreifen von einer Person gezählt werden.

Verkehrszählanlagen bestehen aus dem Impulsmesser (Induktionsschleife, Messschlauch u.a.) und dem Registriergerät. Über eine definierte Schnittstelle lassen sich die im Registriergerät gespeicherten Daten auf einen Personal Computer (PC) überspielen. Die Verkehrszählanlagen erfassen die Fahrtrichtung und Fahrstreifen der Kraftfahrzeuge und lassen

Verkehrsuntersuchung .....

Lage der Zählstelle:							Fahrtrichtung nach:							Fahrtrichtung nach:									
Name des Zählers:							Zählstelle Nr.:							Zählstelle Nr.:								Blatt Nr.:	
Uhr-zeit	Rad	Mofa	Krad	Pkw	Lfz	Bus	Lkw	Lz	Sfz				Uhr-zeit	Rad	Mofa	Krad	Pkw	Lfz	Bus	Lkw	Lz	Sfz		Bemer-kungen
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Abb. 2.3 Zählformular für eine richtungsgetrennte Querschnittszählung. (Eigene Darstellung)

eine getrennte Ausweisung nach Fahrzeugarten mit geringen Unsicherheiten zu. Sie werden in Form von fest installierten Dauerzählstellen im Bundesfernstraßennetz mit Erfolg eingesetzt. Transportable und vom Stromnetz unabhängige Verkehrszählanlagen eignen sich für Querschnittszählungen mit langer Erhebungsdauer.

Der Einsatz von Geographischen Informations-Systemen (GIS) wird sich auf die Verkehrserfassung auswirken. Um zu einem vereinheitlichten Vorgehen beitragen zu können, hat die Bundesanstalt für Straßenwesen einen Objektkatalog für einen bundeseinheitlichen Standard von Straßen- und Verkehrsdaten (OKSTRA) unter Berücksichtigung von GIS erarbeitet. Die Einsatzbereiche von GIS sind z.B.:

– Verkehrsrechnerzentralen
– Betriebsleitzentralen
– Verkehrstelematik.

Einer Weiterentwicklung zu einem umfassenden Verkehrsinformationssystem stehen u.a. noch Probleme der unterschiedlichen Datenquellen, -strukturen und -formate entgegen (vgl. Follmann, 1999).

Stromerhebung: Eine Stromerhebung ist je nach Untersuchungsziel klein- bzw. großräumig angelegt.

Kleinräumige Stromerhebung: Diese Art der Stromerhebung wird im Regelfall an gut einsehbaren, niveaugleichen Knotenpunkten und Einmündungen durchgeführt. Erfasst werden die Verkehrsströme aller Zufahrten fahrtrichtungsgenau mit Hilfe von Querschnittszählungen. Die Informationen werden in Zählformulare eingetragen, die dem in Abbildung 2.3 dargestellten Muster entsprechen.

Die Zählleistung pro Zähler ist von der Zahl der zu erfassenden Einzelfahrtrichtungen, den zu unterscheidenden Fahrzeugarten und den örtlichen Gegebenheiten abhängig und kann aus diesem Grunde nur durch eine Probezählung (Pre-Test) abgeschätzt werden.

Stehen für jede Fahrtrichtung eigene Fahrstreifen zur Verfügung, können auch Verkehrszählanlagen eingesetzt werden.

Großräumige Stromerhebung: Diese Erhebungsart eignet sich vorrangig für größere Untersuchungsgebiete zur Ermittlung der Verteilung des Kraftfahrzeugverkehrs. Bewährt hat sich die Kennzeichenerfassungs-Methode.

Kennzeichenerfassungen: Die Kennzeichenerfassungs-Methode eignet sich zur Erfassung von Ziel-, Quell- und Durchgangsverkehren und wird überwiegend im Rahmen einer Kordonerhebung eingesetzt.

Durch ein System von Zählstellen wird das Erhebungsgebiet umschlossen und von allen passierenden Fahrzeugen die amtlichen Kennzeichen fahrtrichtungsgenau innerhalb eines Zeitintervalls registriert und mit der Kraftfahrzeugart in ein Zählformular eingetragen (siehe Abb. 2.4). Die Erhebungsdauer richtet sich nach dem Untersuchungsziel.

Diese Art der Registrierung durch eine Person (beobachten und schreiben) ist nur dann möglich, wenn pro Fahrtrichtung und Fahrstreifen nicht mehr als ca. 150 Kfz/h auftreten. Wird der Erhebungsvorgang des Beobachtens und Schreibens auf zwei Personen aufgeteilt, können bis ca. 500 Kfz/h erfasst werden.

Bei stärkeren Verkehrsmengen lassen sich die Kennzeichen auf ein *(digitales) Diktiergerät* sprechen (ca. 1000 Kfz/h). Der Einsatz solcher Geräte verlangt, dass deutlich gesprochen wird und die Buchstaben und Ziffern einzeln angesagt werden. In regelmäßigen Abständen, z.B. alle 5 Minuten, sind Zeitansagen zu sprechen. Störende Fremdgeräusche sollten bei der Erfassung durch geschickte Wahl des Erhebungsstandortes minimiert werden. Es sollten Geräte mit leistungsfähigen Akkus eingesetzt werden. Es kann auch die Videotechnik genutzt werden.

Videobasierte Verkehrserfassungssysteme sind prinzipiell in der Lage, herkömmliche Erhebungsmethoden zu ergänzen bzw. abzulö-

Verkehrsuntersuchung .....

Lage der Zählstelle: Fahrtrichtung / Strom Zählstelle Nr.:

Name des Zählers: Datum: Blatt Nr.:

Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *	Kenn-zeichen *

* Kfz - Arten: 1 = Pkw / Kombi, 2 = Krad u.a., 3 = Lieferfahrzeug, 4 = Bus, 5 = Lkw, 6 = Lastzug, 7 = Spezialfahrzeug

Abb. 2.4 Zählformular für eine Kennzeichenerfassung. (Eigene Darstellung)

sen. Die Einsatzbereiche gehen über die reine Verkehrsdatenerfassung hinaus und beinhalten u.a.

- die Steuerung von Verkehrsanlagen (LSA)
- die Überwachung und Störfallerkennung von bzw. in Verkehrsanlagen (z.B. Abstellanlagen, Tunnel).

Zu den videotechnischen Komponenten zählen Kamera, Erfassungseinheit, Software und Zubehör. Beim praktischen Einsatz der Videotechnik sind insbesondere zu klären (vgl. Steinauer et al., 1999):

- Anzahl der Kameras
- Kamerastandorte
- Perspektive
- Wetter- und Lichtverhältnisse
- Einsatzzeiten
- Detektion der Objekte
- Klassifikation der Objekte.

Mit Hilfe von Videosystemen lassen sich sowohl querschnitts- als auch streckenbezogene Verkehrskenngrößen erfassen, wobei als besonderer Vorteil die Reproduzierbarkeit der Informationen anzusehen ist. Mit der technologischen Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Mikroprozessoren und dem medialen Sektor wird sich der Einsatz der Videotechnik in Zukunft sicherlich erhöhen.

Vor Beginn der Erfassung ist die Uhrzeit für alle an der Erhebung Beteiligten zu synchronisieren. Der Einzelzeitabschnitt der Erfassung hängt von der Größe des Erhebungsgebietes ab. Die mittleren Fahrzeiten zwischen den Erfassungsstellen sind vor Durchführung der Kennzeichenerfassung zu erheben, um Vor- bzw. Nachlaufzeiten zu ermitteln, die zur Bestimmung der Durchgangsverkehrsanteile von besonderer Bedeutung sind.

Aussagen über Quelle und Ziel sind nur für das durch den Kordon umschlossene Gebiet möglich, nicht aber für Gebiete außerhalb des Kordons. Soll eine Aussage zur Routenwahl getroffen werden, sind an zentralen Knotenpunkten im Erhebungsgebiet zusätzlich Kenn-

Verkehrsuntersuchung .....

Lage der Zählstelle: Fahrtrichtung nach: Zählstelle Nr.:

Name des Zählers: Datum: Blatt Nr.:

Uhrzeit	Fahrzeugart								Zahl der Insassen	Fahrtzweck								Woher ? Start der Fahrt (PLZ, Ort, Straße)	Codierung	Wohin ? Ziel der Fahrt (PLZ, Ort, Straße)	Codierung
	Fahrrad	Kr / Mofa	Pkw	Lfz	Bus	Lkw	Lz	Sfz		Arbeitsplatz	Ausbildung / Schule	dienstl. / geschäftl.	Einkauf / priv. Erled.	Freizeit	Holen / Bringen von Pers.	Wohnung / Heimfahrt	Sonstiges				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Abb. 2.5 Zählformular für eine Kurzbefragung. (Eigene Darstellung)

zeichenerfassungen vorzunehmen. Der Erhebungs- und Auswertungsaufwand ist bei umfangreichen Straßennetzen sehr hoch.

Auch erfahrenem Erhebungspersonal unterlaufen Fehler. So kann der Gesamtfehler, bedingt durch unterlassenes, falsches oder unvollständiges Erfassen bzw. durch phonetische Verwechselungen der Kennzeichen und beim Übertragen auf Datenträger, bis zu 10 Prozent betragen. Die systematischen Verzerrungen können durch umfangreiche Plausibilitätskontrollen minimiert werden.

Befragung im Verkehrsnetz: Befragungen von Fahrzeuglenkern an den Erhebungsstellen eines Kordons liefern Informationen zur Fahrzeugart, zum Fahrtzweck, zur Quelle und zum Ziel der Fahrt. Der Befrager hat außerdem die Uhrzeit und die Zahl der Insassen in ein Zählformular einzutragen (siehe Abb. 2.5). Diese Erhebungsart bietet sich u.a. dann an, wenn die Durchgangsverkehrsanteile und die Hauptrichtungen von Verkehrsströmen als Planungsgrundlagen benötigt werden. Mit Hilfe von Modellberechnungen können auf dieser Basis die möglichen Verkehrsbelastungen bestimmt werden.

In der Regel wird die Kurzbefragung nur für eine Fahrtrichtung im Vormittags- und Nachmittagsintervall durchgeführt. Polizeikräfte wählen aufgrund einer Stichprobenvorgabe aus dem fließenden Verkehr die zu Befragenden aus. Im Straßenraum muss genügend Platz zur Einrichtung der Erhebungsstellen vorhanden sein und für eine gesicherte Durch-

führung der Befragungsaktion ist durch entsprechende Beschilderungsmaßnahmen zu sorgen. Vollerhebungen sind nur in Ausnahmefällen gerechtfertigt. Um von der nach den Gesetzen der Zufälligkeit erfassten Stichprobe auf die Gesamtheit der passierenden Fahrzeuge hochrechnen zu können, sind parallel Querschnittszählungen durchzuführen.

2.3.3 Öffentlicher Personenverkehr

Erhebungen im ÖPNV liefern Informationen über die Auslastung des Beförderungsangebotes und zur Qualität des Betriebsablaufs. Auf der Basis dieser Informationen lassen sich Kenndaten ableiten, die u.a. als Grundlage für Maßnahmenentwicklungen in folgenden Bereichen genutzt werden können:
- Leistungsangebot
- Liniennetz
- Verkehrsanlagen.

Die spezifischen Erhebungsmethoden (bzw. Auswertungen) mit dem Ziel, Betriebs- und Tarifplanungen und Verkehrs- und Betriebsleistungsstatistiken erstellen zu können, werden hier nicht behandelt. Es wird auf die Schrift „Verkehrserhebungen“, (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 1991) verwiesen.

Die hier dargestellten Zähl- und Befragungsmethoden liefern die folgenden Kenndaten und Informationen:
- Querschnittsbelastungen
- Linienbelegungen
- Strecken- bzw. Netzbelastungen (auf einer Strecke können mehrere Linien verkehren)
- Umsteigebeziehungen
- Haltestellenbelegungen
- Verkehrsbeziehungen nach Quelle und Ziel.

Die Auswahl einer Erhebungsmethode setzt voraus, dass in Abhängigkeit von der Fragestellung die räumliche Abgrenzung, der Erhebungsumfang, die Mitwirkung bzw. Nichtmitwirkung des Fahrgastes und der Ort der Erhebung geklärt sein muss. Der Abbildung 2.6 ist eine Strukturierung dieser Rahmenbedingungen zu entnehmen.

Spitzenbelastungen im ÖPNV treten erfahrungsgemäß von November bis Januar auf. Erhebungen des Tagesverkehrs sollten – bedingt durch die starken Belastungsschwankungen – die gesamte Betriebszeit umfassen.

Zählung: Durch Zählungen werden strecken- bzw. haltestellenbezogene Daten über Fahrgastmengen ermittelt. Das Zählpersonal hält die Daten auf Zählformularen oder durch Einsatz von Handheld-Computern fest.

Zählung an Haltestellen: Unmittelbar an den Haltepositionen bzw. Türen der Verkehrsmittel stationierte Zähler erfassen die ein- und aussteigenden Fahrgäste. Hierbei ist auf eine zeitintervall- und richtungsbezogene Erfassung zu achten. Bei Erhebungen an mehreren aufeinander folgenden Haltestellen lassen sich Querschnitts- und Streckenbelastungen ableiten. Die mittleren Wartezeiten sowie Abweichungen vom Fahrplan lassen sich zusätzlich ermitteln. Sollen linienbezogene Belastungen ermittelt werden, sind die Daten pro Linie zu erfassen. Mit Hilfe von geeigneten Geräten (z.B. Lichtschranken) lassen sich die Fahrgastzählungen automatisieren und zeitbezogene Daten differenziert nach Ein- und Aussteigern erfassen. Voraussetzung für den Einsatz entsprechender Geräte ist eine kanalisierte Ein- und Ausstiegssituation.

Zählung in Fahrzeugen: Die ein- und aussteigenden Fahrgäste werden durch mitfahrende Zähler an jeder Haltestelle erfasst (siehe Abb. 2.7). Für jeden Türbereich ist in der Regel ein Zähler einzusetzen. Die Besetzung der Fahrzeuge kann unmittelbar registriert werden. Auch bei kurzen Haltestellenabständen und voll belegten Fahrzeugen sollte der Zähler in der Lage sein, die Zahl der Fahrgäste genau ermitteln zu können. Als Voraussetzung muss der Zähler Informationen über die An-

I. Räumliche Abgrenzung

Haltestelle	Strecke / Linie	Teilnetz	Netz	Verkehrsraum

II. Erhebungsumfang

Vollerhebung / Teilerhebung		Stichprobenerhebung	
Mehrtages-erhebung	Stichtags-erhebung	Mehrtages-erhebung	Stichtags-erhebung

III. Erhebungstechnik

Aktive Mitwirkung des Fahrgastes			Fahrgast bleibt passiv			
mündl. Befragung	schriftl. Befragung	Zählkarte	Zählung / Beobachtung		Messung	
			manuell	automatisch	manuell	automatisch

IV. Ort der Erhebung

Haltestelle	Querschnitt	Fahrzeug	Haushalt

Abb. 2.6 Strukturierung der Rahmenbedingungen bei ÖPNV-Erhebungen. (VDV, 1991)

zahl der Sitzplätze und die Zahl der maximal möglichen Stehplätze besitzen. Auch in den Fahrzeugen lassen sich die Fahrgastzählungen automatisieren. Hierbei müssen die Türbereiche der Fahrzeuge z.B. mit Lichtschranken oder Trittstufenkontakten ausgerüstet sein. Die Unterscheidung nach Ein- und Aussteigern wird durch Erfassung der Bewegungsrichtung vorgenommen. Ein im Fahrzeug deponierter Datenspeicher sammelt die Zähldaten und die Informationen über die jeweilige Haltestelle.

Befragungsmethode: Die mündliche Kurzbefragung von Fahrgästen an der Haltestelle bzw. im Fahrzeug hat sich zur Erfassung von über das Zählniveau hinausgehenden Informationen bewährt.

Mit Hilfe der Kurzbefragung werden standardmäßig die Start- und Zielhaltestelle, Umsteigehaltestelle(n), die genutzten Verkehrslinien, der Fahrtzweck, das Mitnahmespektrum und die Fahrscheinart erfasst. Im Rahmen von Gesamtverkehrs-Untersuchungen sind auch die Herkunfts- und Zielorte sowie die gewählten Verkehrsmittel beim Haltestellen-Zu- und Abgang zu erfragen.

Es ist darauf zu achten, dass Mehrfacherfassungen von Fahrgästen ausgeschlossen sind. Die Antworten werden von den Interviewern in Fragebögen eingetragen (siehe Abb. 2.8) oder mit Hilfe von Datenerfassungsgeräten (Diktiergeräten oder Handheld-Computern) gespeichert.

Um die Interviewdauer möglichst kurz zu halten, sollten der Fragenkatalog und ein Erläuterungsplakat für die Fahrgäste gut lesbar in den Fahrzeugen an passenden Stellen angebracht werden. Auch die Gestaltung des Fragebogens beeinflusst die Interviewdauer.

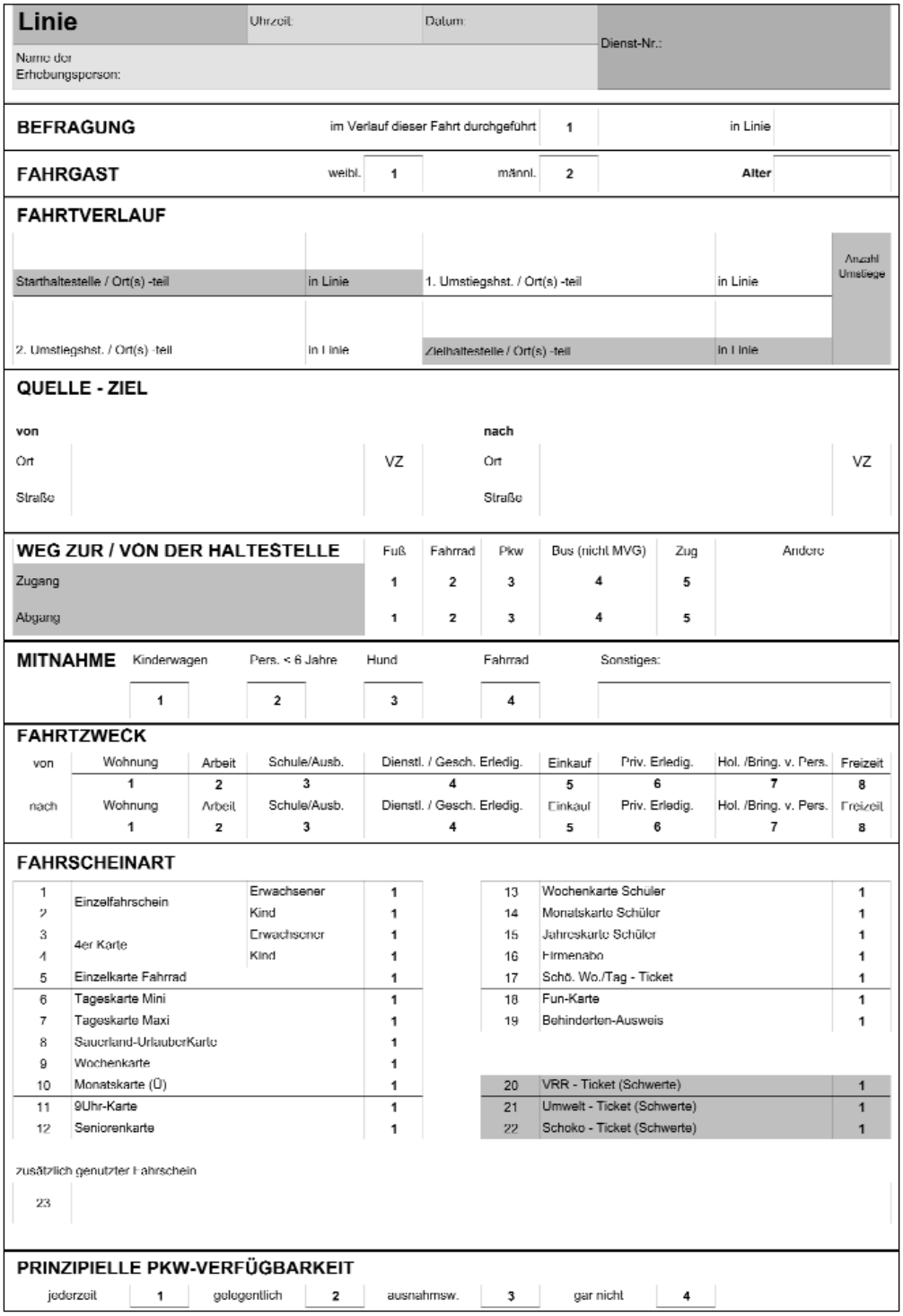
Da im Regelfall Kurzbefragungen Stichprobencharakter besitzen, sollte eine zeitparallele Zählung als Vollerhebung für eine Hochrech-

Linie 24	Startzeit:	Endzeit:	Datum:	Wetter: 1 sonn. 2 reg. 3 bew. 4 wechs.

Name der Erhebungsperson | Dienst - Nr.

Hinfahrt				Rückfahrt			
Code	**Haltestellenname**	Einsteiger	Aussteiger	Code	**Haltestellenname**	Einsteiger	Aussteiger
2038	Menden, Pl. Heide Schule			2075	Menden, Marderweg		
2039	Menden, Hermann-Löns-Str.			2076	Menden, Im Tiefen Winkel		
2156	Menden, Fasanenweg			2077	Menden, Lahrfeld Friedhof		
2046	Menden, Am Vollmersbusch			2078	Menden, Beethovenstraße		
2045	Menden, Taunusstraße			2079	Menden, Brucknerstraße		
2155	Menden, B.-Henninghaus-Straße			2080	Menden, Gluckstraße		
2173	Menden, Siebengebirgsstraße			2081	Menden, Richard-Wagner-Straße		
2154	Menden, Am Hahnenbusch			2082	Menden, Ob dem Lahrtal		
2153	Menden, Heimkerweg			2083	Menden, Bachstraße		
2152	Menden, Gisbert-Kranz-Straße			2084	Menden, Herderstraße		
2149	Menden, Schulzentrum			2085	Menden, Hofeskamp		
2150	Menden, Gelber Morgen			2009	Menden, Hönnenwerth		
2174	Menden, Wendestelle Obsthof			2001	Menden, Bodelschwinghstr.		
2175	Menden, Theodor-Hürth-Straße			2002	Menden, Kaiserstraße		
2176	Menden, Von-Ketteler-Straße			2035	Menden, Bahnhof		
2177	Menden, Franz-Schweitzer-Str.			2003	Menden, Abzw. Bahnhof		
2178	Menden, Kaplan-Wiesemann-Str.			2004	Menden, Walramschule		
2150	Menden, Gelber Morgen			2000	Menden, Battenfeld		
2151	Menden, Windthorststraße			2151	Menden, Windthorststraße		
2000	Menden, Battenfeld			2149	Menden, Schulzentrum		
2005	Menden, Südwall			2150	Menden, Gelber Morgen		
2006	Menden, Westwall			2178	Menden, Kaplan-Wiesemann-Str.		
2007	Menden, Nordwall			2177	Menden, Franz-Schweitzer-Str.		
2008	Menden, Walburgiskirche			2176	Menden, Von-Ketteler-Straße		
2085	Menden, Hofeskamp			2175	Menden, Theodor-Hürth-Straße		
2084	Menden, Herderstraße			2174	Menden, Wendestelle Obsthof		
2082	Menden, Ob dem Lahrtal			2150	Menden, Gelber Morgen		
2081	Menden, Richard-Wagner-Straße			2152	Menden, Gisbert-Kranz-Straße		
2080	Menden, Gluckstraße			2153	Menden, Heimkerweg		
2079	Menden, Brucknerstraße			2154	Menden, Am Hahnenbusch		
2075	Menden, Marderweg			2173	Menden, Siebengebirgsstraße		
				2155	Menden, B.-Henninghaus-Straße		
				2045	Menden, Taunusstraße		
				2046	Menden, Am Vollmersbusch		
				2156	Menden, Fasanenweg		
				2039	Menden, Hermann-Löns-Str.		
				2038	Menden, Pl. Heide Schule		

Abb. 2.7 Zählformular für eine ÖV-Erhebung im Fahrzeug. (Eigene Darstellung)



Linie | Uhrzeit: | Datum: | Dienst-Nr.:

Name der Erhebungsperson:

BEFRAGUNG im Verlauf dieser Fahrt durchgeführt 1 | in Linie

FAHRGAST weibl. 1 | männl. 2 | **Alter**

FAHRTVERLAUF

Starthaltestelle / Ort(s) -teil	in Linie	1. Umstiegshst. / Ort(s) -teil	in Linie	Anzahl Umstiege
2. Umstiegshst. / Ort(s) -teil	in Linie	Zielhaltestelle / Ort(s) -teil	in Linie	

QUELLE - ZIEL

von			nach		
Ort		VZ	Ort		VZ
Straße			Straße		

WEG ZUR / VON DER HALTESTELLE	Fuß	Fahrrad	Pkw	Bus (nicht MVG)	Zug	Andere
Zugang	1	2	3	4	5	
Abgang	1	2	3	4	5	

MITNAHME

Kinderwagen	Pers. < 6 Jahre	Hund	Fahrrad	Sonstiges:
1	2	3	4	

FAHRTZWECK

von	Wohnung	Arbeit	Schule/Ausb.	Dienstl. / Gesch. Erledig.	Einkauf	Priv. Erledig.	Hol. /Bring. v. Pers.	Freizeit
	1	2	3	4	5	6	7	8
nach	Wohnung	Arbeit	Schule/Ausb.	Dienstl. / Gesch. Erledig.	Einkauf	Priv. Erledig.	Hol. /Bring. v. Pers.	Freizeit
	1	2	3	4	5	6	7	8

FAHRSCHEINART

1	Einzelfahrschein	Erwachsener	1
2		Kind	1
3	4er Karte	Erwachsener	1
4		Kind	1
5	Einzelkarte Fahrrad		1
6	Tageskarte Mini		1
7	Tageskarte Maxi		1
8	SauerlandUrlauberKarte		1
9	Wochenkarte		1
10	Monatskarte (Ü)		1
11	9Uhr-Karte		1
12	Seniorenkarte		1
13	Wochenkarte Schüler		1
14	Monatskarte Schüler		1
15	Jahreskarte Schüler		1
16	Firmenabo		1
17	Schö. Wo./Tag - Ticket		1
18	Fun-Karte		1
19	Behinderten-Ausweis		1
20	VRR - Ticket (Schwerte)		1
21	Umwelt - Ticket (Schwerte)		1
22	Schoko - Ticket (Schwerte)		1

zusätzlich genutzter Fahrschein

23	

PRINZIPIELLE PKW-VERFÜGBARKEIT

jederzeit	1	gelegentlich	2	ausnahmsw.	3	gar nicht	4

Abb. 2.8 Erhebungsbogen für eine ÖV-Befragung im Fahrzeug. (Eigene Darstellung)

nung der Befragungsdaten durchgeführt werden.

Mündliche Befragungen im Fahrzeug haben sich zur Erfassung von Verkehrsbeziehungen nach Herkunfts- und Zielort durchgesetzt, da das Interviewpersonal effizient und unbeeinflusst von Witterungsverhältnissen eingesetzt werden kann und die Befragten weniger unter Zeitdruck stehen.

Für Erhebungen in Park- and Ride- bzw. Bike- and Ride-Bereichen bieten sich ebenfalls Kurzbefragungen zur Erfassung der folgenden Merkmale an:
- Verkehrsmittel für die Anfahrt
- Ankunftszeit
- Besetzungsgrad
- Quelle des Wegs
- Zielhaltestelle bzw. Ziel des Wegs
- Wegezweck
- Nutzungsfrequenz.

2.3.4 Nichtmotorisierter Verkehr

Zum nichtmotorisierten Verkehr zählen die Fußgänger- und Fahrradverkehre. Die gebräuchliche Art zur Erfassung dieser Verkehrsarten ist die Querschnittszählung. Beide Verkehrsarten zeichnen sich durch eine größere Freizügigkeit in der Richtungswahl der Geh- oder Radwegseite aus, sind insgesamt umwegempfindlich und nicht unbedingt in das Korsett der Straßenverkehrsordnung zu zwängen, so dass Zählungen dieser Verkehrsarten in der Durchführung umfassend organisiert werden müssen.

Da Ablauf und Struktur beider Verkehrsarten starke Schwankungen aufweisen, werden die Zählungen häufig als zeitabhängige Vollerhebungen durchgeführt. Der Erhebungsaufwand kann durch eine geeignete Wahl des Zählzeitpunktes und einer zeitlich optimal angelegten Zähldauer reduziert werden.

Zählungen zur Erfassung der Fußgänger- und Fahrradströme werden nur in Ausnahmefällen durchgeführt. Die personengenaue Verfolgung bzw. Wiedererkennung bedingt hier die Einsatzgrenzen. Durch Beobachtungsmethoden (siehe Kap. B 2.4.2) lassen sich die Verkehrsströme für überschaubare Bereiche ermitteln.

Zählungen des Fußgängerverkehrs: Bei der Erhebung der Fußgängerverkehre kommen Zähl- und Beobachtungsmethoden zum Einsatz. Zählungen dienen der rein mengenmäßigen Erfassung von Fußgängern an einem Querschnitt bzw. an einer Folge von Querschnitten. Fußgängerzählungen sind u.a. notwendig
- für die Planung und Dimensionierung von Fußgängeranlagen
- zur Konzipierung von Fußwegnetzen
- zur Beurteilung von Umgestaltungen innerstädtischer Bereiche
- für Bedarfsanalysen und Dringlichkeitsreihungen geplanter Fußgängerüberwege
- zur Überprüfung und Verbesserung von Signalschaltungen
- bei Unfalluntersuchungen
- für Wirkungsanalysen.

Die Zählungen der Fußgängermengen haben sich in verstärktem Maße auszurichten auf die jeweiligen Erhebungsziele und die örtlichen Gegebenheiten. Speziell in Innenstadtbereichen ist mit einer werktäglichen Spitzenbelastung zur Mittagszeit von 12.00 bis 14.00 Uhr zu rechnen. Für Samstags- und Sonntagszählungen sind durch Probezählungen (Pre-Tests) Rückschlüsse auf Belastungsspitzensituationen zu ermitteln.

In Bereichen von publikumswirksamen Einrichtungen und Ausbildungsstätten treten Morgenspitzen in der Zeit von 7.00 bis 9.00 Uhr auf. Da die Spitzenbelastungen im Regelfall nur kurzfristig auftreten, sollte ein 2-Minutenabschnitt als Erhebungsintervall gewählt werden. Dieses 2-Minutenintervall liegt – neben dem 15-Minutenintervall – auch der Be-

messung von Fußgängeranlagen zugrunde (vgl. FGSV, 2001).

Bei der Durchführung von Querschnittszählungen sind Fußgängermengen innerhalb eines Zeitabschnitts nach Richtung getrennt zu erfassen. Zur Protokollierung werden Zählformulare bzw. Datenspeicher eingesetzt.

Bei starkem Fußgängerverkehr kann durch künstliche Hindernisse im Gehraum eine Segmentierung der Ströme und damit eine genaue Erfassung bewirkt werden. Insbesondere Treppenanlagen eignen sich als Zählquerschnitte, da sich hier die Fußgängerströme bereits in kanalisierter Form bewegen.

Der Einsatz von *Video-Geräten* hat sich zur Erfassung von Fußgängermengen und Bewegungs- und Querungslinien bewährt. Es muss ein geeigneter Aufnahmestandort vorhanden sein. Mit Hilfe einer Zeitschaltung (z.B. 6 Sekunden) werden die Bewegungen im Straßenraum erfasst und mit Hilfe einer Digitalisierungsanlage ausgewertet.

Um die Wirkung von Gestaltungsmaßnahmen im Straßenraum auf das Fußgängerverhalten belegen zu können, bietet sich die Erfassung von Nutzungsfrequenzen im Vorher-Nachher-Vergleich an. Hiermit ist die Erfassung von Geh- und Querungslinien und von Aufenthaltsbereichen gemeint (siehe Abb. 2.9). Durch den Einsatz von Beobachtungsverfahren können zusätzlich Aktivitätsspektren und Konfliktsituationen erfasst werden.

Zählungen des Fahrradverkehrs: Durch Zählungen des Fahrradverkehrs lassen sich die Verkehrsstärken an einzelnen Querschnitten und der Verlauf von Fahrradströmen an überschaubaren Knotenpunkten ermitteln. Daten dieser Art sind geeignete Grundlageninformationen

– für die Planung und Dimensionierung von

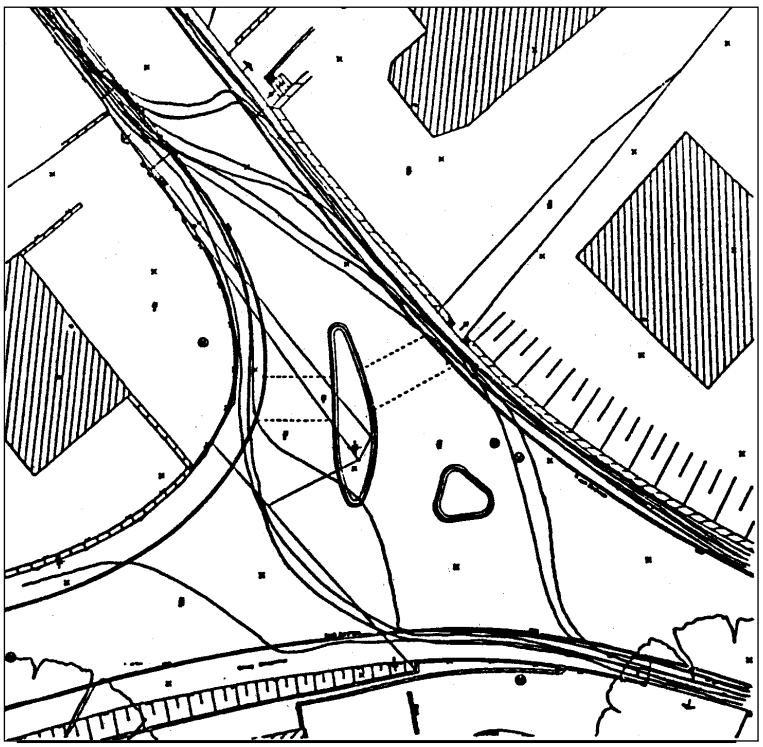


Abb. 2.9 Darstellung von Nutzungsfrequenzen. (Eigene Darstellung)

Fahrradverkehrs-Anlagen einschließlich Fahrradweg-Netzen
- für Bedarfsanalysen und Dringlichkeitsreihungen von geplanten Fahrradverkehrs-Anlagen
- bei Unfalluntersuchungen
- für Wirkungsanalysen.

Das Verkehrsaufkommen ist stärker als bei anderen Verkehrsarten von Witterungseinflüssen abhängig. Zählungen sollten möglichst im Sommer außerhalb der Schulferien während Schönwetterlagen durchgeführt werden. Im Zeitintervall von 12.00 bis 14.00 Uhr ist mit einer Verkehrsspitze in Einzugsbereichen von Ausbildungsstätten zu rechnen. Generell bietet es sich an, den Fahrradverkehr zeitparallel mit dem Kfz-Verkehr zu erfassen. Soll der Fahrradverkehr allein erfasst werden, eignet sich als Erhebungszeitraum zur Erfassung der Tagesverkehrsmenge das Zeitintervall von 6.00 bis 19.00 Uhr.

Für Sonderfragestellungen, wie die Ermittlung von Freizeitverkehrs-Anteilen, sind Erhebungsort, die Erhebungszeit und die Erhebungstage bedarfsgerecht festzulegen.

Bei Querschnittszählungen werden die Fahrradverkehrsmengen innerhalb eines Zeitabschnitts nach Richtungen getrennt erfasst. Zusätzlich ist auch der genutzte Verkehrsweg – Straße, Radweg, Radfahrstreifen, evtl. Fußweg – zu registrieren. Speziell bei der Fahrradverkehrserfassung in Knotenpunktsbereichen kann eine Registrierung des Kreuzungsverhaltens sinnvoll sein. Sind die Fahrradverkehre gering (ca. 200 Fahrzeuge im Querschnitt pro Stunde), bietet sich eine Registrierung in Zählformularen an (siehe auch Abb. 2.10). Ansonsten ist an den Einsatz von Datenspeicher-Geräten zu denken.

Zählanlagen haben sich für die Erfassung des Fahrradverkehrs nicht umfassend bewährt. In Bereichen von Ausbildungs- und Freizeitstätten kann durch Aufstellung von Kanalisierungseinrichtungen die genaue Erfassung der Fahrradverkehrsmengen unterstützt werden.

Nach den „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen“ (vgl. FGSV, 1995) können sich Befragungen an Zielen mit besonders hohem Radverkehrsaufkommen anbieten, um Informationen über die Einzugsbereiche und die Wegewahl zu erfassen.

Verkehrsuntersuchung .....

Straße / FGZ:		Verkehr in Richtung:			Zählstelle Nr.:		
Name des Zählers:		Datum:			Blatt Nr.:		
Wege von							
nach							
in Richtung							
Uhrzeit	6.00 - 6.30 Uhr		8.00 - 8.30 Uhr		10.00 - 10.30 Uhr		12.00 - 12.30 Uhr
Uhrzeit	6.30 - 7.00 Uhr		8.30 - 9.00 Uhr		10.30 - 11.00 Uhr		12.30 - 13.00 Uhr
Uhrzeit	7.00 - 7.30 Uhr		9.00 - 9.30 Uhr		11.00 - 11.30 Uhr		13.00 - 13.30 Uhr
Uhrzeit	7.30 - 8.00 Uhr		9.30 - 10.00 Uhr		11..30 - 12.00 Uhr		13.30 - 14.00 Uhr

Abb. 2.10 Zählformular für Querschnittszählungen von Fußgängern bzw. Fahrradfahrern. (Eigene Darstellung)

2.3.5 Ruhender Verkehr

Bei der Erfassung des ruhenden Verkehrs muss sowohl das Parkraumangebot als auch die Parkraumnachfrage erhoben werden.

Bei der Erfassung des Parkraumangebots sind folgende Merkmale von Wichtigkeit:
- Art der Parkierungsanlage
- Besitzverhältnisse (öffentlich/privat)
- Zugänglichkeit (z.B. Bewohnerparken, Behördenparkplatz, Sonderparkberechtigungen)
- Bewirtschaftungsart
- Bewirtschaftungszeit
- Stellplatzanordnung
- Vorhandene Ge- und Verbotsbeschilderung
- Vorhandensein und Art eines Parkleitsystems
- Parkraummanagement.

Die Parkierungsanlagen werden unterschieden nach Stellplätzen
- im öffentlichen Straßenraum
- auf Privatgrund
- auf ebenerdigen Plätzen
- in Parkbauten.

Grundsätzlich lässt sich die Parkraumnachfrage durch Kordonerhebungen in Kombination mit der Kennzeichenerhebungsmethode, Erhebungen am Abstellort, Kurzbefragungen und durch Luftbildaufnahmen erfassen. Die Erhebungsdaten geben Aufschluss über die zeit- und ortsbezogene Nutzung der Stellplätze.

Auch der Wirtschaftsverkehr mit den Funktionen Laden und Liefern und abgestellte Fahrräder sind als ruhender Verkehr Bestandteil der Erhebungen.

Für Parkraumbilanzen wird die Nachfrage in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Nutzergruppen bestimmt. Als Nutzer werden unterschieden: Bewohner, Kunden, Besucher, Belieferer, Service-Gruppen, Beschäftigte und Auszubildende. Informationen zur Nutzerstruktur lassen sich entweder durch Befragungsmethoden oder durch eine Kennzeichenerfassung zu unterschiedlichen Zeitpunkten erheben.

Hinsichtlich der Parkdauer wird unterschieden:

Kurzparker:	bis 2 Std.
Mittelparker:	2 bis 6 Std.
Langparker:	6 bis 10 Std.
Dauerparker:	über 10 Std.

Die durchschnittliche Parkintensität ergibt sich aus der Erfassung zu den erwähnten Monaten bzw. Wochentagen (s. Kap. B 2.3.1). Sollen alle wesentlichen Parkvorgänge tagsüber erfasst werden, eignet sich das Erhebungszeitintervall von 6.00 bis 20.00 Uhr. In innerstädtischen Bereichen treten im Regelfall zwischen 10.00 und 13.00 Uhr und zwischen 16.00 und 19.00 Uhr die höchsten Belastungen auf.

Die Erhebungsdauer von Parkvorgängen an nutzungsintensiven Tagen oder in nutzungsintensiven Gebieten richtet sich nach dem Beginn des Zustroms bzw. nach dem Ende des Abflusses, sofern keine weiteren Erfahrungen vorliegen. Der maximale ruhende Verkehr der Bewohner ergibt sich aus Nachtzählungen, die ab 3.00 Uhr durchgeführt werden sollten.

Das Erhebungszeit-Intervall bei der Erfassung der Parkvorgänge im öffentlichen Straßenraum ist u.a. nach Wirtschaftlichkeitsüberlegungen auszuwählen. Üblich ist ein Intervall von 15 oder 30 Minuten, bei denen Parkvorgänge mit kürzerer Dauer nicht erfasst werden. Durch stichprobenhafte Erhebungen mit 5-Minuten-Intervallen sollte der Anteil dieser Parkvorgänge abgeschätzt werden. Ist dies nicht möglich, sollte ein Intervall von weniger als 15 Minuten gewählt werden. Bei der Erhebung von privaten Stellplätzen sind Haushaltsbefragungen angebracht, da die Zugänglichkeit von Privatgrund nicht gegeben ist. Zur Erfassung des ruhenden Verkehrs sind Kombinationen von Zähl- und Befragungsmethoden besonders geeignet (s. Kap. B 2.6).

Erhebungen an Stellplatzanlagen: An allen Zu- und Abfahrten einer Stellplatzanlage müssen die den Zählquerschnitt passierenden Fahrzeuge mit Hilfe von Zählformularen oder Speichergeräten zeitintervallgenau erfasst werden. Zusätzlich können die Kraftfahrzeugart, das Kennzeichen und die Pkw-Besetzung registriert werden. Die Ermittlung der Belegungsganglinie, also der gleichzeitig parkenden Fahrzeuge, ergibt sich aus der Differenz der Summen der ein- und ausfahrenden Fahrzeuge. Die vor und nach der Erhebung geparkten Fahrzeuge müssen zusätzlich ermittelt und bei der Bilanzierung berücksichtigt werden.

Eine *Kennzeichenerfassung an Stellplatzanlagen* bietet sich dann an, wenn zusätzlich zur Ermittlung der Belegung auch Informationen über die Verteilung der Parkdauer in Abhängigkeit von der Einfahrtzeit abgeleitet werden sollen.

Bei mit Zählgeräten ausgestatteten *Abfertigungsanlagen* von Stellplatzanlagen und Parkbauten lässt sich durch Vergleich der Zählstände von Ein- und Ausfahrt die Anzahl der Parkvorgänge und die Belegung der Parkierungsanlage zeitgenau bestimmen. Diese Informationen sind u.a. als Eingangsgröße für ein dynamisches Parkleitsystem notwendig.

Besitzt eine Parkierungsanlage einen Kassiercomputer, der die Parkgebühren aus den Standzeiten errechnet, kann durch die Merkmale Ankunftszeit, Anzahl und Dauer der Parkvorgänge die Belegungsganglinie und die Parkdauerverteilung bestimmt werden.

Erhebungen im Straßenraum: Bei einer Straßenraumerhebung wird vor Beginn der Zählungen das Erhebungsgebiet in Zählbereiche eingeteilt. Der Zählbereich für einen Zähler sollte einen Straßenabschnitt mit einer maximalen Länge von 800 Metern bzw. ca. 100 parkende Kfz nicht überschreiten. In einem vorgegebenen Zeitabschnitt von in der Regel 15 Minuten hat der Zähler in der Art eines Rundgangs die Zahl der geparkten Fahrzeuge aufzunehmen. Zusätzlich lassen sich Kraftfahrzeugart, das Kennzeichen, die parkstandsgenaue Belegung, die Aufstellart sowie Umfang und Art des nichtlegalen Parkens (in Abhängigkeit von den Parkbedingungen) erfassen. Die einem Zähler zuzuweisende Straßenabschnittslänge ist bei der Erfassung von Zusatzinformationen zu reduzieren. Die Informationen sind in ein Zählformular einzutragen (siehe Abb. 2.11).

Im Rahmen der Bearbeitung eines Bewohnerparkkonzepts kann eine parkstandsgenaue Nachfrageerhebung notwendig werden. Es wird so vorgegangen, dass zu 5 Zeitschnitten (3:00 Uhr, 9:00 Uhr, 14:00 Uhr, 18:00 Uhr und 21:00 Uhr) jeweils pro Parkstand das Kennzeichen des parkenden Fahrzeugs notiert wird. Über eine Vergleichsbetrachtung kann auf dieser Datenbasis auf die Zugehörigkeit zu einer Nutzergruppe geschlossen werden.

Kurzbefragungen zum ruhenden Verkehr: Diese können grundsätzlich an allen Parkierungsanlagen durchgeführt werden. Besonders geeignet ist die Kurzbefragung in Kombination mit den bisher genannten Methoden. Zusätzlich zu den Belegungen der Stellplätze ergeben sich hiermit Informationen zum genauen Herkunftsort, zum Ziel und Zweck der Erledigung, über die Entfernung des Ziels vom Parkstand und evtl. die Intensität des Parksuchverkehrs.

Von der Akzeptanz her ist die Kurzbefragung zu Beginn des Parkvorgangs günstig angelegt. Der Vorteil einer Kurzbefragung bei der Beendigung des Parkvorgangs besteht darin, dass eine genauere Angabe zum Ziel und zur Entfernung zwischen Stellplatz und Ziel erwartet werden kann. Auch können durch Abfrage der Parkdauer und Vermerken der Abfahrtszeit die zeitlichen Bedingungen des Parkens erfasst werden. Die Interviews sollten eine Dauer von wenigen Minuten nicht überschreiten. Die Antworten sind in Zählformulare einzutragen (siehe Abb. 2.12).

Verkehrsuntersuchung .....

Lage der Zählstelle: Blockseite / Stellplatz - Reihe

Name des Zählers: Datum: Blatt Nr.:

Kraftfahrzeugart	Kennzeichen	Parkbedingung Haltverbot: Eing.	Unbeschr.	2. Reihe		Aufstellart: Längs	Schräg	Senkr.	Uhrzeit: 6.00 6.15 6.30 6.45 7.00 7.15 7.30 7.45 8.00	Parkdauer
1 *	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Abb. 2.11 Zählformular für die Erfassung des ruhenden Verkehrs im Straßenraum. (Eigene Darstellung)

Verkehrsuntersuchung .....

Lage der Zählstelle: Blockseite / Stellplatz - Reihe

Name des Zählers: Datum: Blatt Nr.:

Fahrzeugart	Anzal Personen	Abfahrtszeit	Parkdauer	Herkunftsort, PLZ, Straße	Ziel der Erledigung	Zweck des Parkens: Arbeit	Ausbildung/Schule	dienstl. Erledigung	Einkauf	priv. Erledigung	Freizeit	Wohnung	Reserve
1 *	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Abb. 2.12 Zählformular für Kurzbefragungen zum ruhenden Verkehr. (Eigene Darstellung)

Luftbildaufnahmen zu Erhebung des ruhenden Verkehrs: Dieses Verfahren ist kostenintensiv und daher nur in Ausnahmefällen anzuwenden, z.B. bei der zahlenmäßigen Ermittlung und räumlichen Verteilung des ruhenden Verkehrs bei Großveranstaltungen. Die Durchführung ist von Randbedingungen, wie z.B. gute Witterungsbedingungen, Befliegbarkeit und Einsehbarkeit abhängig (vgl. Bähr, 1988). Eine Befliegung sollte in Abständen von 15 Minuten erfolgen, um so die Veränderungen der Parkbelegungen aufdecken zu können.

2.4 Verhaltensbezogene Erhebungen

2.4.1 Rahmenbedingungen

Art und Maß der Verkehrsteilnahme sind im weitesten Sinne durch die Rahmenbedingungen unserer Gesellschaftsstruktur und durch die individuelle Partizipation und Ausgestaltung dieser Bedingungen bestimmt. Die hochdifferenzierte Arbeitsteilung, verbunden mit einer starken Funktionstrennung, tragen dazu bei, dass große Teile der Bevölkerung starken Mobilitätszwängen unterworfen sind.

Im Regelfall werden aus der Summe der das Wesen eines Individuums bestimmenden Merkmale lediglich Teile des realisierten Verhaltens erfasst (siehe Abb. 2.13).

Mit Hilfe von ausgefeilten Erhebungsmethoden – den so genannten Tiefeninterviews – lassen sich allerdings Teile der „Triebenergien", also Interessenslagen, Sachzwänge, Vorlieben und Einstellungen von Individuen

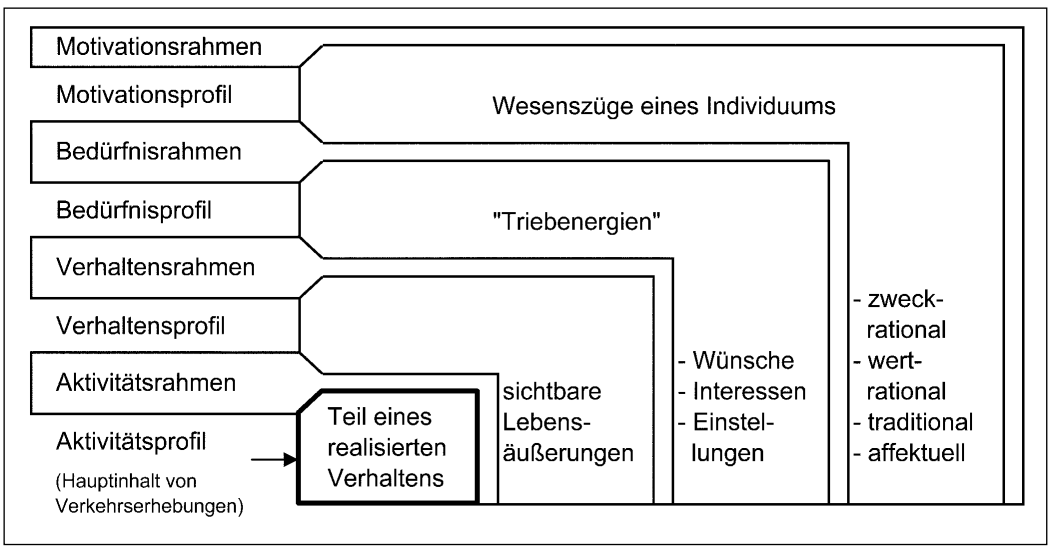


Abb. 2.13 Verkehrsaktivitäten als Teil des individuellen Verhaltens. (Eigene Darstellung)

erfassen. Durch den Einsatz derartiger Methoden kann z.B. eine realistischere Abschätzung von Substitutions- bzw. Veränderungspotentialen bezogen auf die Verkehrsmittelwahl vorgenommen werden.

Zu den gängigen verkehrsverhaltensbezogenen Erhebungsmethoden gehören Beobachtungen und mündliche, schriftliche und telefonische Befragungen (siehe Abb. 2.14). Bei allen Methoden geht es um die Erfassung von Verkehrsaktivitäten von Personen in der realen Raum-Zeit-Einbindung vor dem Hintergrund der jeweiligen Sozial- und Gesellschaftsstrukturen.

Die in der Regel stichtagsbezogen erhobenen Daten sind Augenblicksaufnahmen der Verkehrsnachfrage, so dass Abweichungen vom zeitlichen Mittelwert hierbei nicht erkennbar werden. Hierzu werden Panelerhebungen über einen längeren, zusammenhängenden Zeitraum durchgeführt (vgl. Kap. B 2.4.4).

Unabhängig von der Beobachtungs- bzw. Befragungsmethode sind vor der eigentlichen Erhebung folgende Arbeitsschritte zu behandeln:
- Formulierung des Untersuchungsziels
- Entwicklung und Auswahl der Beschreibungsmerkmale (z.B. Wegedauer, Wegezweck)
- Grobstrategie (Befragungsmethode, Stichprobe)
- Instrumentenentwicklung (Formulierung, Aufbau und Gestaltung des Fragebogens)
- Pre-Test
- Strategie der Erhebungsdurchführung.

Verhaltensbezogene Erhebungen können vier *Datenarten* umfassen, die sowohl bei der Entwicklung von Fragebögen als auch bei der Datenauswertung von Bedeutung sind:
- Verkehrsdaten: z.B. Wegedauer, Verkehrsmittel
- Verhaltensdaten: z.B. Aktivitätenprofile, Verkehrsmittelwahl
- Verkehrsinfrastrukturdaten: z.B. Erschließungs- und Bedienungsqualität
- Raum- und Sozialstrukturdaten: z.B. Altersverteilung, Stellung im Beruf.

Bei jeder verkehrsverhaltensbezogenen Erhebung ist es aus methodischen Gründen notwendig, eine klare inhaltliche Abgrenzung der Erfassungseinheiten vorzunehmen. Zu unterscheiden sind:
- Erhebungseinheit: z.B. Haushalte, Betriebe; diese bestimmt die Stichprobenauswahl
- Untersuchungseinheit: z.B. Personen, Beschäftigte; diese stellt das eigentliche Erkenntnisobjekt dar
- Aussageeinheit: z.B. Wegehäufigkeiten, Verkehrsbeteiligungsquoten; diese bestimmt die Datenauswertung.

Folgende Arbeitsfelder sind zu behandeln:
- Fragebogenentwicklung (Formulierung, Aufbau, Gestaltung)
- Stichprobenplanung
- Erhebungsorganisation
- Fehlerspektren.

Frageformulierung: Es werden drei Frageformen unterschieden:
- offene Fragen ohne Antwortvorgaben
- halboffene Fragen mit ausgewählten Antwortvorgaben und offenen Zeilen für individuelle Antworterweiterungen
- geschlossene Fragen mit Antwortvorgaben.

Die Fragen sollen verständlich sein und mit gleicher Bedeutung von den Befragten verstanden werden. Bei der Frageformulierung darf nicht das auswertungsbezogene Denken, sondern vielmehr die Sichtweise der Befragten im Vordergrund stehen. Von daher bieten sich einfach, kurz, eindeutig, konkret und neutral formulierte Fragen an.

Fragebogenaufbau: Jeder Fragebogen ist ein Kompromiss zwischen der Belastbarkeit des Befragten und den Informationsansprüchen des Befragers. Bei der Vorgabe von Antwortkategorien sind Häufigkeitsabfragen wie z.B. „häufig, selten, nie“ zu vermeiden. Viel-

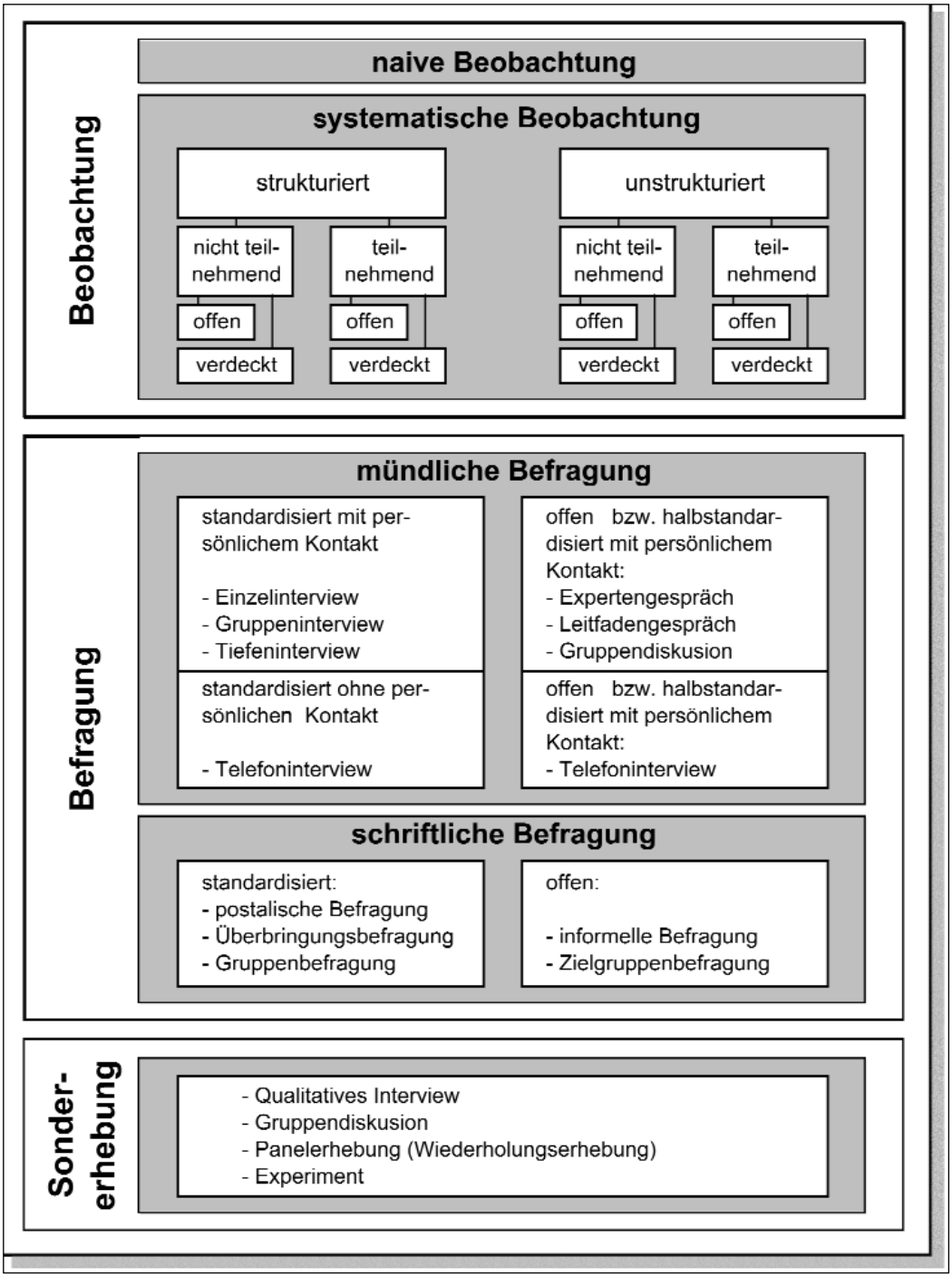


Abb. 2.14 Methoden der verhaltensbezogenen Erhebungen. (Eigene Darstellung)

mehr ist eine Ausrichtung der Antwortvorgaben nach Nominal-, Ordinal- und metrischen Skalen vorzusehen.

Fragebogentest (Pre-Test): Soll ein noch nicht bewährter Fragebogen eingesetzt werden, ist dieser durch einen Pre-Test auf seine Zuverlässigkeit zu prüfen. Die Subjektivität bei der Entwicklung eines Fragebogens kann auch dann nicht gänzlich ausgeschaltet werden, wenn versucht wurde, eine größtmögliche Objektivität zu erreichen (z.B. durch umfassende Literaturrecherchen, Expertengespräche usw.). Auch über die optimale Länge des Fragebogens gilt es im Rahmen des Pre-Tests Erfahrungen zu sammeln. Die Problembereiche in und mit den Fragebögen sollen erkannt und durch sachgerechte Änderungen behoben werden. Dem Pre-Test kommt eine zentrale Bedeutung im Rahmen der *Qualitätssicherung* zu. Parallel zur Entwicklung des Fragebogens ist ein so genanntes Code-Buch anzulegen. Hier wird die mögliche Antwortvielfalt für jede Einzelfrage EDV-gerecht strukturiert.

Stichprobenplanung: Bei der Stichprobenanlage kann zwischen einer einfachen Zufallsauswahl bis hin zu einer mehrphasigen Auswahl unterschieden werden (siehe Abb. 2.15). Die Verfahrensauswahl hängt von der Zuverlässigkeit der Informationen über die Grundgesamtheit und von ökonomischen Überlegun-

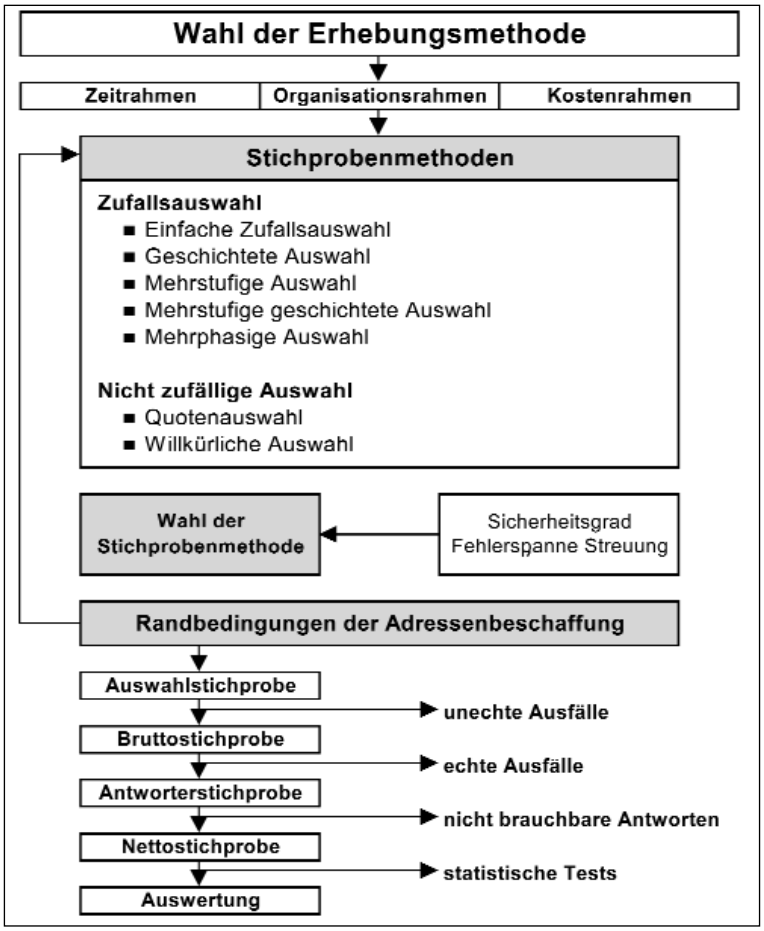


Abb. 2.15 Aufbau der Stichprobenplanung. (Eigene Darstellung)

gen ab. Zur Ermittlung einer repräsentativen Stichprobe kommen nur Zufallsauswahlverfahren in Betracht. Nur dann lassen sich die Genauigkeit bzw. die Abweichung (Zufallsfehler) der aus der Stichprobe ermittelten Werte bezogen auf die Grundgesamtheit bestimmen.

Folgende Stichprobenmengen sind zu unterscheiden (hier und im Folgenden beispielhaft für Haushaltsbefragungen):

- Die Auswahlstichprobe ist als Ergebnis einer Adressenermittlung anzusehen. Sie umfasst auch falsche bzw. veraltete Adressen. Diese stellen die unechten Ausfälle dar.
- Die Bruttostichprobe ist um die unechten Ausfälle bereinigt. Nur die tatsächlich auffindbaren Erhebungseinheiten finden sich hier wieder.
- Die Antworterstichprobe wird durch die Erhebungseinheiten gebildet, die die Befragung ganz oder teilweise beantwortet haben. Die echten Ausfälle (z.B. Verweigerer, Nicht-Antworter) sind hier nicht mehr enthalten.
- Die Nettostichprobe enthält nur noch die im Sinne der Aufgabenstellung verwertbaren Antworten.

Erhebungsorganisation: Zwischen zwei Befragungen mit unterschiedlicher Thematik im selben Untersuchungsgebiet sollte mindestens eine Zeitspanne von einem halben Jahr liegen. Im Rahmen der Erhebungsorganisation ist deshalb zu klären, ob gerade eine Befragung im Untersuchungsgebiet durchgeführt wird und wann die letzte Befragung im Untersuchungsgebiet durchgeführt wurde.

Gravierende Veränderungen der Zustandssituation, beispielsweise im Verkehrsnetz bzw. im Verkehrsmittelangebot, sollten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Untersuchungsziel vor der Befragungsdurchführung bekannt sein.

Fehlerspektren: Die Genauigkeit einer Befragung wird durch die Gültigkeit und Verlässlichkeit der Erhebung bestimmt (siehe Abb. 2.16).

Die Gültigkeit (Validität) gibt Auskunft darüber, wie weit die eingesetzte Methode in der Lage ist, genau das zu erfassen, was sie erfassen soll (werden z.B. Fragen richtig verstanden bzw. sind falsche Aussagen identifizierbar).

Die Verlässlichkeit (Reliabilität) gibt Auskunft darüber, wie genau das entwickelte Erhebungsinstrument die zu erfassenden Merkmale weitgehend unabhängig vom Erhebungszeitraum erfasst (werden z.B. dieselben Fragen im Rahmen einer Wiederholungsbefragung inhaltsgleich verstanden).

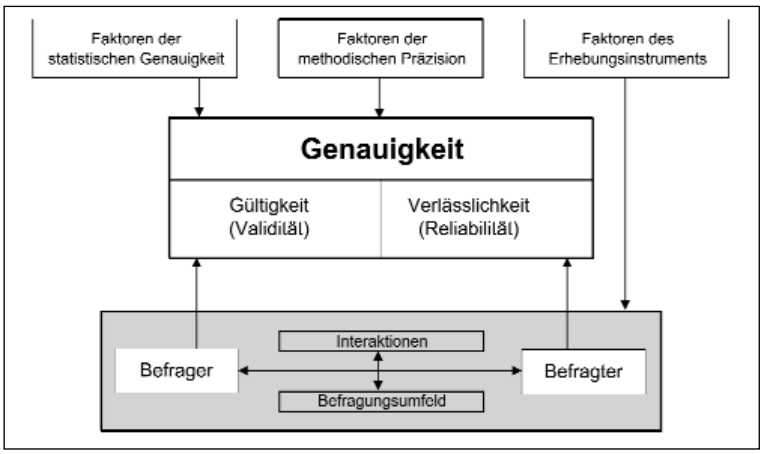


Abb. 2.16 Beeinflussungsgrößen der Genauigkeit. (Eigene Darstellung)

Grundsätzlich lassen sich zwei *Fehlerarten* unterscheiden:
- Stichprobenfehler, die zufällige oder systematische Fehler darstellen und mit der Auswahl und Hochrechnung der Stichprobe zusammenhängen.
- Messfehler, die sich als Verzerrungen darstellen und durch den Messvorgang bzw. den eingesetzten Fragebogen verursacht werden.

Geocodierung: Die Ziele von Wegen sind durch vollständige und *geocodierbare Adressangaben* zu erfassen. Bei der Geocodierung werden die Adressen mit einem geographischen Bezug versehen und im Regelfall direkt in ein Koordinatensystem gestellt. Auf dieser Basis lassen sich die Adressen mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS) in Karten darstellen bzw. den gewünschten geographischen Bezügen wie z.B. Straßen zuordnen. Die zur Verfügung stehenden Programmsysteme erlauben dann z.B. die Berechnung von Fahrtweiten oder möglichen Routen bzw. das Hinzuspielen von anderen Informationen. Bei der Geocodierung ist der Einsatz von GIS nicht zwingend notwendig. Vielmehr kann ein so genannter Geocoder genutzt werden. Dieser beinhaltet hauptsächlich eine Datenbank mit Informationen zu Orten, Postleitzahlgebieten, Straßen und Straßenabschnitten. Zu jeder vorhandenen Adresse wird dann die zugehörige x-/y-Koordinate zugeordnet. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 95 Prozent aller Haushalte straßenabschnittsgenau geocodiert werden können. Die direkte Integration des Geocoders in die Programmoberfläche zur Datenerfassung hat sich aus methodischer Sicht bewährt.

Hotline: Die Einrichtung einer kostenfreien Hotline zur telefonischen Befragtenbetreuung hat sich als akzeptanzfördernd bewährt. Die Hotline erfüllt bei Nachfrage folgende Aufgaben:
- Verdeutlichung von Sinn und Zweck der Erhebung
- Animation zur Mitwirkung
- Hilfe bei der Fragen-Beantwortung
- verbindliche Erläuterungen zum Vertrauens- und Datenschutz.

Als weitere Maßnahme zur Akzeptanzförderung wird die Nutzung der vorhandenen multimedialen Systeme empfohlen. So lassen sich umfassende Informationen zum Erhebungsgegenstand ins *Internet* stellen. Durch entsprechende Links kann zu jeweiligen Informationsdetails geführt werden. Zu den Funktionen des Internetangebots gehören:
- Administrationsfunktion (Verwaltung der Information)
- Redaktionsfunktion (Aktualisierung der Informationen)
- Moderationsfunktion (Fragebeantwortung auf quasi interaktivem Wege).

2.4.2 Beobachtungsverfahren

Bei der Beobachtung handelt es sich um ein planmäßiges Verfahren zur Erfassung von Nutzungen in definierten Gebieten mit dem Ziel, Erkenntnisse über Ausschnitte von Aktivitätenmustern von Personen bzw. Personenkollektiven und deren Interaktionsverhalten zu gewinnen.

Beobachtungen dienen der Erfassung äußerer Merkmale und sichtbarer Aktivitäten im Straßenraum. Ein Vorteil ist darin zu sehen, dass die Erhebungsdurchführung von der Auskunftsbereitschaft der Zielpersonen unabhängig ist. Ein Nachteil ist, dass sich Informationen über zurückliegende oder zukünftige Aktivitäten nicht ermitteln lassen.

Beobachtungen bieten sich z.B. zur Erfassung der Aktivitäten von spielenden Kindern, des Geh- und Querungsverhaltens von Fußgängern oder der Bestimmung von Aufenthaltsintensitäten an. Die im Verkehrswesen gebräuchlichen systematischen Beobachtungsmethoden werden nach dem Grad der

Strukturierbarkeit unterschieden (vgl. Abb. 2.14):

Strukturierte Beobachtungen verlaufen nach einem festgelegten System von Kategorienerfassungen. Die Beobachtungssituation wird standardisiert. Eine strukturierte Beobachtung erlaubt präzise, überprüfbare und evtl. kontrollierbare Ergebnisse. Sie dienen somit stärker einer Merkmalsquantifizierung.

Unstrukturierte Beobachtungen zeichnen sich durch grobe Vorgaben hinsichtlich der zu erfassenden Beobachtungseinheit(en) aus. Die unstrukturierte Beobachtung wird dann genutzt, wenn über komplexe Aktivitätensituationen ein geringes Wissen vorliegt. Sie dient somit mehr der qualitativen Merkmalserfassung.

Sowohl die strukturierte als auch die unstrukturierte Beobachtung kann durch Nichtteilnahme bzw. Teilnahme des Beobachters an der zu erfassenden Aktivität durchgeführt werden.

Bei einer offenen Beobachtung gibt der Beobachter seine Beobachtungsabsicht und sein Beobachtungsziel zu erkennen. Dieses geschieht bei der verdeckten Beobachtung nicht. Die gängige Form ist die einer strukturierten, nicht teilnehmenden, verdeckten Beobachtung.

In Abhängigkeit von der Beobachtungsmethode ist der Erhebungsbogen zu entwickeln. Die Untersuchungseinheiten (wer und was soll beobachtet werden?) und die Art der Protokollierung (wie soll das Beobachtete festgehalten werden?) sind aufeinander abzustimmen.

Bei der *Durchführung* der Beobachtungen sind zwei Hauptbedingungen zu beachten:

– Die Untersuchungseinheit muss klar festgelegt werden. Sie ist entweder nach inhaltlichen oder nach situationsbedingten Überlegungen abzugrenzen. Wird eine von inhaltlichen Bestimmungsgründen geprägte Abgrenzung vorgenommen, werden aufeinander bezogene, einzelne Aktivitäten zusammenhängend erfasst. Bei einer situationsbedingten (zeitlich-räumlichen) Abgrenzung muss die Untersuchungseinheit nach dem Zufallsprinzip ausgewählt werden. In jedem Fall ist eine Beschränkung auf wichtige Beobachtungseinheiten vorzunehmen, um das Wahrnehmungsvermögen des Beobachters nicht zu überfordern. Allerdings darf es dabei nicht zu willkürlichen Trennungen von kontinuierlichen Ereignisabfolgen kommen.
– Der Beobachtereinfluss ist zu minimieren. Dieser Effekt lässt sich durch einen vollständig strukturierten Erhebungsbogen und eine intensive Beobachterschulung erreichen. Der Beobachter muss seine Aufzeichnungen sofort und ohne Erinnerungsspanne anfertigen. Kontrollen können durch Videoaufzeichnungen vorgenommen werden.

Folgende Fehlerquellen werden unterschieden:

– Beobachterfehler
– Instrumentenfehler
– situationsbedingte Fehler.

Zur Bestimmung des Fehlergrades nehmen verschiedene Beobachter zur gleichen Zeit den gleichen Sachverhalt auf. Gleichzeitig wird dieser Sachverhalt durch eine Videoaufzeichnung festgehalten. Durch Vergleich lässt sich die Zuverlässigkeit der Ergebnisermittlung bestimmen.

2.4.3 Mündliche Befragungen

Die mündliche Befragung (Interview) ist ein planmäßiges Verfahren, bei dem ein Interviewer die Auskunftsperson in Abhängigkeit von einer definierten Zielsetzung durch eine Reihe gezielter Fragen oder mitgeteilter Stimuli (z.B. Listen- oder Bildvorlagen) zu einer verkehrsverhaltensrelevanten Information bewegen soll. Sie eignet sich dann besonders gut, wenn Informationen zu speziellen Fragestellungen benötigt werden (z.B. Akzeptanz von

Maßnahmen, Freizeitverhalten, Kundenverhalten).

Die *Genauigkeit* eines Interviews wird beeinflusst durch
- das Erhebungsinstrument
- die Beziehung zwischen Interviewer und Auskunftsperson
- die situativen Randbedingungen wie Ort, Zeit, Umgebung, Wetter.

Die Vorteile von mündlichen Befragungen liegen auf folgenden Ebenen:
- Die Gesprächsform erlaubt es, nicht verstandene Fragen zu erläutern bzw. bei unklaren Antworten nachzufragen.
- Die Verweigerungsquote ist – verglichen mit anderen Befragungsmethoden – gering.
- Es besteht die Möglichkeit, auch sensible Fragen so zu stellen, dass nicht das gesamte Interview verweigert wird.

Es wird zwischen standardisierten, offenen und halbstandardisierten Interviewformen unterschieden. Standardisiert bedeutet, die Befragung nach einem Schema mit in der Regel unterschiedlichen Antwortvorgaben durchzuführen. Offen bedeutet, dass der Interviewer den Befragten frei reden lässt. Die halbstandardisierte Form setzt sich aus standardisierten Fragen und offenen Antwortmöglichkeiten zusammen.

Das Interview sollte einem Gespräch gleichen, in dem der Befragte seine Erfahrungen und Informationen einbringen soll. Bei der Fragebogenentwicklung ist deshalb besonders zu achten auf die
- Reihenfolge der Fragen
- Auswirkungen der mündlichen Motivationshilfen
- Spannungskurve im Fragebogenaufbau (wichtige Fragen sind mittig, sensible Fragen am Ende zu platzieren).

Bei der Fragebogenentwicklung sollten Spalten mit Laufanweisungen für den Interviewer vorgesehen werden.

Der *Interviewer* sollte
- kontaktfähig, genau, kooperativ sein
- eine sachlich neutrale Einstellung zeigen
- zügig fragen können
- die Formulierungen einhalten
- die Frage-Reihenfolge nicht verändern.

Die aus der Stichprobenanlage resultieren Fehler können sein:
- Nichterreichbarkeit bestimmter Personengruppen
- spezifisches Verweigerungsverhalten
- Befragtenselektion.

Auf die Befragten können folgende Fehler zurückgeführt werden:
- Tendenzbeantwortung
- fehlerhafte Antworten bzw. nicht beantwortete Fragen.

Interviewer können folgende Fehler verursachen:
- Falsch-Ausfüllung
- Beeinflussung der Interview-Situation
- Fehl-Wahrnehmung.

Die Fehlerquellen aus den situativen Randbedingungen können sich beziehen auf:
- Anwesenheit Dritter
- Ort und Tageszeit der Interviewdurchführung.

Einige Fehlerquellen sind durch eine intensive Schulung und Kontrollen zu vermeiden bzw. aufzudecken und dann zu korrigieren.

2.4.4 Schriftliche Befragungen

Die schriftliche Befragung ist ein formalisiertes und standardisiertes Verfahren, bei dem in Abhängigkeit von einer definierten Zielsetzung eine bestimmte Menge von Auskunftspersonen zur Eintragung von verkehrsverhaltensrelevanten Informationen in ein Erhebungsinstrument (Fragebogen) bewegt werden soll.

Die *Genauigkeit* der schriftlichen Befragung wird von folgenden Komponenten beeinflusst:

- Abgrenzung von Inhalt und Umfang des Fragenkatalogs
- Abgrenzung der Untersuchungsmerkmale, der Untersuchungseinheit und der Grundgesamtheit
- Inhalt und Gestaltung des Erhebungsinstruments
- Auswahl des Erhebungszeitraums
- Ermittlung der Auswahlstichprobe
- Organisation und Durchführung
- Aufbereitung der Ergebnisse.

Die schriftlich/postalische Befragung in Form einer Stichtagserhebung mit standardisiertem Erhebungsinstrument und telefonischer Durchführungsunterstützung hat sich als die gängige verhaltensbezogene Erhebung bewährt. Die weiteren Ausführungen stützen sich aus diesem Grund auf diese Form der schriftlichen Befragung. Es sollten immer aktuelle Aktivitäten im Raum-Zeit-Bezug erfasst werden. Dies wird durch den Aufbau des Fragebogens in Form von Tagebuchaufzeichnungen gewährleistet.

Die Verfahrensvorteile sind:

- Befragte können die Fragen besser durchdenken
- Befragte haben mehr Zelt zur Beantwortung
- Merkmale und Verhalten von Interviewern haben keinen Einfluss
- geringere Kosten als bei persönlichen Interviews.

Die Verfahrensnachteile sind:

- keine Interviewerhilfe bei Verständigungsproblemen
- der Fragebogen muss einfach und selbsterklärend sein
- der Fragebogen wird möglicherweise nicht von der Zielperson selbst ausgefüllt.

Die im Regelfall zum werktäglichen Verkehrsverhalten erhobenen Informationen dokumentieren nicht immer eine vollständige Erfassung des gesamten Verkehrsverhaltens von Personen. Unvollständige Angaben beziehen sich häufig auf

- Geschäfts- und Dienstverkehre (im Nah- und Fernbereich)
- Kurzurlaubsverkehre
- Urlaubsreiseverkehre
- Wochenendverkehre
- Verkehrsverhalten über einen längeren Zeitraum.

Die Ausprägungen dieser Verkehre sollten gesondert bzw. in Form eines Methodenmixes erhoben werden.

Einige Personenkategorien sind schwer bzw. nur gesondert ansprechbar:

- Kinder bis zu einem bestimmten Alter
- Anstaltsbewohner
- Ausländer
- Besucher.

Die räumliche, zeitliche und inhaltliche Definition der *Grundgesamtheit* wird durch die Zielstellung der Erhebung bestimmt. Im Regelfall sollte die gesamte Bevölkerung und dabei Personen mit Haupt- und Nebenwohnsitz ohne Einschränkungen als Grundgesamtheit betrachtet werden. Vollerhebungen sind im Regelfall zu aufwendig. Von daher ist eine Stichprobenanlage zu entwerfen (vgl. Kap. B 2.4.1).

Bei der Ermittlung geeigneter *Haushaltsadressen* kann auf folgende Quellen zurückgegriffen werden:

- Einwohnerdateien (Einwohnermeldeämter)
- Spezialdateien
- Adressbücher
- Random-Route-Verfahren.

Einwohnerdateien sind bei den Meldebehörden personenbezogen angelegt, so dass Haushalte nicht immer eindeutig identifiziert werden können. Zu beachten ist, dass Haushalte mit mehreren Personen entsprechend häufiger in den Dateien vertreten sind. Dadurch verfügen diese Haushalt über eine höhere Auswahlwahrscheinlichkeit. Bei mangelhafter Aktualität kommt es zu einer Häufung von Ausfällen und mithin zu einer Vergrößerung des Zufallsfehlers. *Spezialdateien* (z.B. Kfz-Halter-Datei-

en) sind bei Statistikämtern bzw. Zulassungsstellen vorhanden, *Adressbücher* existieren für größere Gemeinden, während bei dem *Random-Route-Verfahren* (Zufall-Weg-Verfahren) nach einer genau zu definierenden Systematik und Geh-Regel die Adressen durch Ablesen an Hauseingängen (Klingelknöpfen) ermittelt werden. Eine Kombination von unterschiedlichen Adressenquellen ist nicht statthaft, da hiermit die Stichprobe auf unterschiedlichen Grundgesamtheiten basieren würde.

Das *Erhebungsinstrument* der Haushaltsbefragung setzt sich aus folgenden Einzelfragebögen zusammen:
- Haushaltsfragebogen
- Personenfragebogen
- Wegefragebogen.

Aus den Abbildungen 2.17 bis 2.19 gehen die minimal zu berücksichtigenden Merkmalsanzahlen pro Fragebogen hervor.

In Abhängigkeit vom Untersuchungsziel sind zu entwerfen:
- Inhalt und Umfang des Fragebogens
- seine äußere Form
- die Anordnung, Reihenfolge und Formulierung der Fragen.

Einen universell einsetzbaren Fragebogen gibt es nicht. Hier werden einige Anregungen zur Abfassung der Fragebögen gegeben.

Die Vorderseite des *Haushaltsfragebogens* ist mit Hinweisen zur Aktion zu belegen. Es ist hinzuweisen auf
- den Auftraggeber
- den Datenschutz
- eine Rückfrage-Telefonnummer (Hotline)
- auf die im Internet vorhandenen Informationen.

Der *Personenfragebogen* setzt sich aus Formalhinweisen und sozio-demographischen Fragen zusammen. Insgesamt kann eine Erweiterung der sozio-demographischen Abfragen nach schulischen und beruflichen Abschlüssen vorgenommen werden.

Auch die Frage nach einer möglichen Mobilitätseinschränkung und die explizite Frage nach dem Besitz eines verkehrstüchtigen Fahrrads kann aufgenommen werden.

Jeder Person des Auswahlhaushaltes ab 14 Jahre alt ist ein *Wegefragebogen* zuzustellen. Dieser gefaltete DIN A 3-Bogen weist auf der Vorderseite u.a. Scharnierinformationen zum Personenfragebogen auf und klärt die Immobilität.

Als situativer Parameter mit verhaltenserklärender Dimension kann die Normalität des Stichtags abgefragt werden. Als wesentliche Aussageeinheit gilt der Weg einer Person mit den zugehörigen Mobilitätsmerkmalen. Hierbei ist ein Weg gekennzeichnet durch den Zweck und das Ziel. Wenn sich der Zweck ändert oder ein anderes Ziel angesteuert wird, beginnt ein neuer Weg.

In die Personenbefragung lässt sich im Rahmen des Wegebogens ein Modul zum Wirtschaftsverkehr für Berufstätige mit häufigen regelmäßigen Wegen während der Arbeitszeit einbauen. Die Gründe hierfür sind folgende:
- Es soll der Untererfassung dieser Wege begegnet werden
- es soll eine Ausfüllerleichterung für Vielfahrer angeboten werden
- es soll eine Schnittstelle zu einer möglichen Wirtschaftsverkehrserhebung hergestellt werden.

Das Modul kann auf die Rückseite des Wegefragebogens platziert werden. Hinzuweisen ist auf der Seite 1 des Wegefragebogens auf dieses Mobilitätssegment.

Die *Mobilität der Kinder* im Alter bis einschließlich 13 Jahre ist gesondert zu erfassen. Damit wird die Gesamtmobilität des Haushalts in integrierter Form und zu einem Zeitpunkt erfasst.

Der Kinderfragebogen ist zweigleisig aufzubauen. Für Kinder im Alter bis zu 9 Jahren werden die Eltern um eine Ausfüllung gebeten. Für die 10- bis 13-Jährigen wird die Ausfüllung freigestellt, allerdings mit dem Ziel,

	Merkmal	Merkmalsvorgaben
1	Anzahl der Personen, die ständig im Haushalt leben	
2	Fahrzeugausstattungen des Haushalts	PKW (auch Kombi/ Van/ Kleinbus/ Wohnmobil)
		Fahrbereite Fahrräder
		Motorräder, Mopeds, Mofas
		Sonstige
3	Verfügbarkeit von ÖV-Zeitkarten	Ja/Nein

Abb. 2.17 Minimale Merkmalsanzahl für einen Haushaltsfragebogen (BMVBW, 2003)

	Merkmal	Merkmalsvorgaben	
1	Geburtsjahr		
2	Geschlecht	männlich / weiblich	
3	Berufstätigkeit	nicht berufstätig	Vorschulkind Hausfrau/-mann
			Rentner/Vorruhestand
			Sonstiges (z.B. Mutterschafts-/Erziehungsurlaub, Wehr-/Zivildienst)
		Ausbildung	Auszubildender/Umschüler
			Schüler
			Student
		Berufstätig	Vollzeit
			Teilzeit
			z. Zt. Arbeitslos
4	Führerscheinbesitz für PKW	Ja/Nein	
5	Nutzung einer ÖPNV- Fahrkarte	Einzelfahrschein	
		Wochenkarte/Monatskarte	
		Monatskarte im Abonnement, Jahreskarte	
		Jobticket, Semesterticket	
6	Pkw-Verfügbarkeit am Stichtag	Die Pkw-Verfügbarkeit wird danach unterschieden, wie oft die betreffende Person am Stichtag über einen PKW verfügen konnte, auch wenn sie diesen nicht tatsächlich genutzt hat. Es sollten folgende Kategorien unterschieden werden: - ständig - teilweise - gar nicht	
7	Ausgehend vom Wohnstandort: Fußwegentfernung zur genutzten ÖPNV-Haltestelle	Km	

Abb. 2.18 Minimale Merkmalsanzahl für einen Personenfragebogen (BMVBW, 2003)

	Merkmal	Merkmalsvorgaben
1	Stichtag/Wochentag	Datum
2	Grund für Nichtmobilität	Abwesenheit/Krankheit/Urlaub
3	Ausgangspunkt des ersten Weges	Ort
		Straße
		Hausnummer
4	Zeit des Wegbeginns	Uhrzeit
5	Zweck des Weges (Aktivität am Zielort)	Arbeitsplatz
		dienstliche/geschäftliche Erledigung
		Ausbildung/Schule
		privater Einkauf
		Holen/Bringen von Personen
		Freizeitaktivität (Vergnügen/Freizeit/Erholen)
		sonst. private Erledigungen (z.B. Arzt, Bank usw.)
		nach Hause
		Sonstige (Schriftfeld)
6	alle genutzten Verkehrsmittel in den Kategorien, ggf. Reihenfolge ihrer Nutzung auf dem jeweiligen Weg	zu Fuß
		Fahrrad
		Moped, Mofa, Motorrad
		PKW als Fahrer
		PKW als Mitfahrer
		Bus
		Straßenbahn
		U-Bahn
		S-Bahn
		Taxi
		Eisenbahn
		Anderes (Schriftfeld)
7	Ziel des Weges (Wohnung/andere Adresse)	Ort
		Straße
		Hausnummer
8	Ankunftszeit	Uhrzeit

Abb. 2.19 Minimale Merkmalsanzahl für einen Wegefragebogen. (BMVBW, 2003)

dass diese Altersgruppe den Fragebogen selbst ausfüllen sollte.

Der Standard der äußeren Erscheinungsform der Erhebungsunterlagen ist auf der Grundlage von bereits realisierten Großerhebungen auszurichten. Dies bedeutet eine klare, farbige Anlage der Erhebungsunterlagen ggf. in Broschürenform mit klarer Zielweisung und Betonung der notwendigen Ausfüllinformationen.

Ziel der organisatorischen Überlegungen muss sein, einen möglichst hohen Rücklauf mit fehlerfreien Antworten zu erhalten. Die Vorbereitung und Durchführung des Versands stellt hierbei einen wesentlichen Baustein dar.

Zu den *Versandunterlagen* zählen im Regelfall:

- Ankündigungsschreiben (Postkarte)
- Begleitschreiben

– Datenschutzerklärung
– Fragebogen
– Rücksendekuvert (freigestempelt)
– Erinnerungsschreiben (Postkarte).

Mit Hilfe des *Begleitschreibens* soll
– auf die Notwendigkeit der Teilnahme hingewiesen,
– das durchführende Büro erwähnt.
– auf den Datenschutzaspekt grob eingegangen und
– eine motivierende Begründung für die Teilnahme an der Aktion vermittelt werden.

Das den Erhebungsunterlagen beigelegte Begleitschreiben ist von einer ortsbekannten und legitimierten Persönlichkeit zu unterschreiben.

Das *Datenschutzkonzept* setzt sich aus folgenden Merkmalen zusammen:
– Verpflichtung aller an der Aktion Beteiligten auf die Bestimmungen des Datenschutzes
– Abstimmung aller Erhebungsaktionen mit dem jeweiligen Datenschutzbeauftragten
– Lagerung aller datenschutzrelevanten Unterlagen in diebstahlgesicherter Art
– Trennung der Haushaltsadressen von den verkehrsrelevanten Informationen
– Erstellung einer Erklärung zum Datenschutz.

Grundsätzlich sind die Bestimmungen des Bundesdatenschutzgesetzes (BDSG) und hier der § 3 mit den entsprechenden Auslegungen zu beachten.

Hinsichtlich der zeitlichen Staffelung des Versandes wird folgende Vorgehensweise empfohlen:
– Versand einer Ankündigungspostkarte ca. 14 Tage vor dem Erhebungsstichtag
– Hauptversand der Befragungsunterlagen ca. 4 Tage vor dem Erhebungsstichtag, so dass die Unterlagen den Haushalt vor dem Stichtag erreichen.

Um die Rücklaufrate zu erhöhen, können zusätzlich zwei Erinnerungsschreiben vorgesehen werden. Im Abstand von einer Woche ist die Erinnerungspostkarte und im Abstand von drei Wochen ein Neuversand der Fragebögen mit neuem Stichtag vorzunehmen.

Folgende Maßnahmen der *Akzeptanzförderung* bieten sich an:
– Öffentlichkeitsarbeit
– Einrichtung eines Erhebungsbüros
– Einrichtung einer Hotline
– Internet-Präsenz
– Austausch mit einem Begleitarbeitskreis.

Eine Rücklauferhöhung durch incentives, also kleine Anreize bzw. Geschenke z.B. in Form von Briefmarken, ist bei Verkehrserhebungen noch nicht umfassend erprobt und kann daher vom Wirkungsgrad her nicht eingeschätzt werden.

Die *Öffentlichkeitsarbeit* verlangt die Einschaltung der örtlichen Medien. Den Medienvertretern ist eine Pressenotiz auszuhändigen. Zusätzlich bieten sich Radio- und Fernsehinterviews an. Den Medien sollten nach Beendigung der Erhebung die wichtigsten Ergebnisse mitgeteilt werden.

Zum *Erhebungsservice* zählt die Einrichtung eines Erhebungsbüros im Untersuchungsgebiet, dessen Telefonnummer (Hotline) und Adresse in den Erhebungsunterlagen abgedruckt sein müssen. Die Rücksendung der Unterlagen hat an diese Adresse zu erfolgen. Auch eine Internet-Adresse ist in den Versandunterlagen anzugeben und entsprechend zu gestalten.

Ab dem ersten Stichtag sind *Rücklaufkontrollen* durchzuführen. Diese Kontrollen sind auf der Grundlage der pro Auswahlhaushalt vergebenen Paginiernummern für jeden Rücklauftag zu protokollieren und beziehen sich auf folgende Sachverhalte:
– Unechte Ausfälle
– echte Ausfälle
– Gesamtausfall
– bereinigtes Brutto
– Rücklauf tageweise
– Rücklauf gesamt

– Ausschöpfung in Prozent
– erste Einschätzung der Ausfüllqualität.

Auf der Basis der Rücklaufstatistik kann u.a. abgeschätzt werden, ob eine Nachfassaktion notwendig ist.

Eine Stichprobe wird im Allgemeinen nicht gänzlich ausgeschöpft und Abweichungen von der zu ermittelnden Realität sind auch bei noch so intensiver Planung unvermeidbar. Die systematischen Fehler bei schriftlich/postalischen Erhebungen sind bei geringer Ausschöpfung der Stichprobe groß. Es sollten daher Ausschöpfungsraten von mindestens 50 Prozent erreicht werden. Im Allgemeinen ist zwischen der ausgeschöpften Stichprobe und dem Rest ein struktureller Unterschied mit der Tendenz einer systematischen Verzerrung feststellbar. Da sich erfahrungsgemäß die Nicht-Antworter überwiegend aus Personen mit einer geringeren Verkehrsbeteiligung zusammensetzen, würde ohne eine Fehlerbehandlung eine erhöhte Mobilität der Grundgesamtheit ausgewiesen. Selbst bei vollständiger Aktualität des Adressenbestandes und einer fehlerfreien Arbeit des Befragers sind systematische Fehler nicht zu vermeiden. Der Grund dafür liegt im Fehlverhalten eines Teils der Befragten. Abbildung 2.20 zeigt eine Systematisierung der Fehlerquellen bei schriftlich/postalischen Haushaltsbefragungen.

Die Fehlerbehandlung hat nach überprüfbaren Regeln zu erfolgen. Es bieten sich Plausibilitätsprüfungen und Repräsentanzüberlegungen an in Form von

– Kontrollen
– Aussortierungen
– Bereinigungen
– Korrekturen

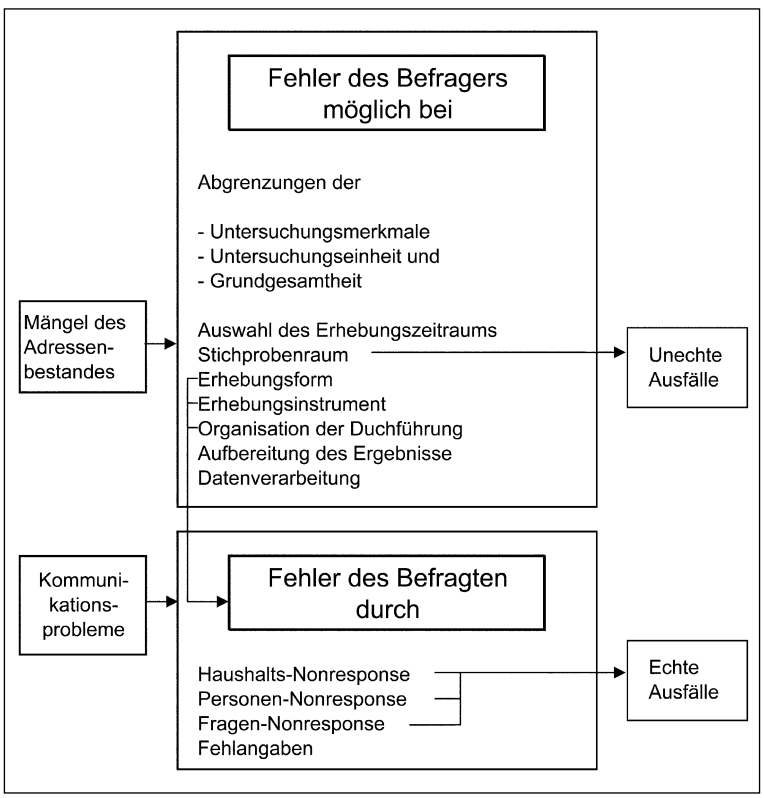


Abb. 2.20 Fehlerquellen der schriftlichen Haushaltsbefragung. (In Anlehnung an Maerschalk et al., 1983)

– Ergänzungen
– Gewichtungen
– Hochrechnungen.

Mit Hilfe der *Gewichtung* werden verschiedene Ansprüche an den Non-Response berücksichtigt:

– Ausgleich von Disproportionalitäten bedingt durch die Stichprobenplanung
– Angleichung von Stichprobenparametern an bekannte Merkmalsverteilungen.

Durch ein System von aufeinander bezogenen Korrekturfaktoren wird das erfasste Datengerüst der zu untersuchenden Realität angenähert. Folgende Gewichtungsgrößen auf Haushalts- und Personenebene lassen sich berücksichtigen:

– Durch die Haushaltsgewichtung werden unterschiedliche Haushaltsgrößenverteilungen in Grundgesamtheit und Stichprobe ausgeglichen. Angaben über die Haushaltsstruktur der Bevölkerung lassen sich ggf. über Daten aus dem Mikrozensus gewinnen.
– Durch die personenbezogene Gewichtung werden Unterschiede in der sozio-demographischen Struktur von Grundgesamtheit und Stichprobe ausgeglichen. Es sollen mindestens die Merkmale Alter und Geschlecht der befragten Personen berücksichtigt werden. Die erforderlichen Strukturdaten zur Grundgesamtheit sind aus dem Einwohnermelderegister zu erschließen.

Bei der *Hochrechnung*, die die gewichteten Stichprobenergebnisse auf die Grundgesamtheit transformiert, lassen sich die freie und die gebundene Hochrechnung unterscheiden. Die freie Hochrechnung zeichnet sich dadurch aus, dass zur Parameterschätzung der Grundgesamtheit nur Informationen aus der entsprechenden Stichprobe genutzt werden, während bei der gebundenen Hochrechnung auch Informationen aktueller oder nichtaktueller Art über die Grundgesamtheit in die Parametereinschätzung eingehen.

2.4.5 Telefonische Befragungen

Die telefonische Befragung (Telefoninterview) ist ein Verfahren, bei dem die Auskunftsperson in Abhängigkeit von einer definierten Zielsetzung in einem Telefongespräch durch gezielte Fragen zu verkehrsverhaltensbezogenen Informationen bewegt werden soll.

Während in der Markt- und Meinungsforschung die telefonische Befragung ein etabliertes Verfahren darstellt, wurden Verkehrsverhaltensdaten eher selten telefonisch erhoben. Dabei sind die Vorteile von telefonischen Befragungen eindeutig:

– Schnelle Bereitstellung von Daten
– kostengünstige Durchführung der Erhebung
– höhere Akzeptanz verglichen mit mündlichen Interviews
– Nutzung verbesserter Telefontechnologien (z.B. CATI = Computer Assisted Telephone Interviewing).

Die Telefonsituation wird als anonymer als das mündliche Interview empfunden und trägt auf Grund dessen zu einer Erfassung von valideren Daten bei (vgl. Hippler u. Schwarz, 1990).

Die *Qualität* der Ergebnisse wird im Wesentlichen durch folgende Faktoren beeinflusst:

– Die Telefon-Anschlussdichte in der zu befragenden Grundgesamtheit
– die Ziehung und Bearbeitung der Stichprobe einschließlich des Vorgehens bei der Ermittlung der Zielpersonen
– der Aufbau der Interviews und die Formulierung der Fragen
– die Organisation des Befragungsablaufs
– die Eignung und Schulung der Interviewer.

Die Stichprobenziehung wird entweder auf der Basis von Telefonverzeichnissen oder durch Generierung von Telefonnummern aus zufälligen Zahlenkombinationen vorgenommen. Hierbei stellt sich das Problem der nicht einheitlichen Ziffernanzahl von Telefonnummern.

In den Telefonregistern sind nicht alle Per-

sonen bzw. Haushalte enthalten. Die Tendenz ist erkennbar, dass der Anteil der in Telefonbüchern registrierten Anschlüsse sinkt. Daher wurden computergestützte Verfahren zur Generierung von Telefonnummern entwickelt (vgl. Gabler u. Häder, 2002).

Nach der Ermittlung der *Telefonnummer*, die dem Haushalt zuzuordnen ist, erfolgt zu Beginn des Telefongesprächs die Ermittlung der Zielperson. Auch hier muss eine systematische Zufallsauswahl gewährleistet sein. Die Auswahl kann – analog zu vergleichbaren Vorgehensweisen beim mündlichen Interview – über einen Zufallsschlüssel erfolgen.

Bei Verweigerung, Nichterreichbarkeit bzw. im Falle von unerwünschten Geschäftsanschlüssen ist eine Ersatzauswahl vorzunehmen. Als Nichterreichbarkeit gilt üblicherweise der vergebliche 5. Kontaktversuch.

Beim *Aufbau des Fragebogens* muss berücksichtigt werden, dass im Regelfall die Kommunikation auf die verbale Ebene beschränkt ist. Das Interview muss deshalb mit einer kurzen und klaren Einleitung beginnen, damit der Zielperson schnell die Zielsetzung der Befragung verständlich wird. Die Fragen müssen kurz und eindeutig formuliert werden. Das Abfragen langer Listen ist zu vermeiden. Außerdem muss auch bei der Skalierung von Antwortvorgaben darauf geachtet werden, dass sie den Befragten gut verständlich sind.

Das *Fragebogenprogramm* ermöglicht eine direkte Datenerfassung am Bildschirm. Dabei wird der Befrager zielgerichtet durch den Fragebogen geführt, Fehlcodierungen und unlogische Antworten werden durch Plausibilitätschecks automatisch aufgedeckt und durch die computergestützte Filterführung sind vollständige Interviews zu erfassen. Voraussetzung zur Durchführung von telefonischen Interviews ist die Vorhaltung von CATI-Arbeitsplätzen und geschulten Interviewern. Als Durchführungszeiten haben sich bewährt:

– Montag bis Freitag 9:00Uhr bis 20:00 Uhr
– Samstag und Sonntag von 10:00 bis 16:00 Uhr.

Die Interviewer sollen eine deutliche und flüssige Sprache sprechen und in der Lage sein, ihre Diktion, ihr Tempo und ihre Lautstärke an den Bedürfnissen der Zielpersonen orientieren zu können. Wichtig ist eine Angleichung der Interviewtechnik bei den eingesetzten Interviewern. Der Zeitpunkt der Telefonbefragung sollte unmittelbar nach dem Stichtag liegen. Dieser sollte den Auswahlhaushalten vorher mitgeteilt werden. Hinsichtlich der akzeptierten Länge einer Telefonbefragung sollten 20 Minuten nur in Ausnahmefällen überschritten werden.

Im Rahmen der Methodenstudie zur KONTIV 2002 (vgl. BMVBW, 2001) wurde auch ein Methoden-Mix (telefonisch-schriftliche Befragung) mit folgendem Ablauf erprobt:

– Anschreiben der Haushalte
– Durchführung des telefonischen Haushaltsinterviews
– Versand der Stichtagsunterlagen an weiter teilnehmende Haushalte mit einem Stichtagsblatt (memory-jogger) zum Eintragen der Wege pro Haushaltsmitglied mit individuellem Namenseindruck
– Erinnerungsanruf einen Tag vor dem Stichtag
– nach dem Stichtag Durchführung der telefonischen Personen- und Wegeinterviews auf der Basis des memory-joggers.

Angeregt wird, den Haushalten ohne erreichbare Telefonnummer zunächst nur einen Haushaltsfragebogen zuzustellen. Es wird u.a. auch nach der Telefonnummer gefragt. Auf der Basis der mitgeteilten Telefonnummer werden diesen Haushalten memory-jogger zugesandt und die anschließenden Stichtagsinterviews telefonisch durchgeführt.

Insgesamt war der Rücklauf bei der rein telefonischen Erhebung höher als bei der rein schriftlichen Variante.

Bei der KONTIV 2002-Haupterhebung lag

der Schwerpunkt bei der telefonischen Erhebung (CATI) und ergänzender postalisch-schriftlicher Erhebungen (vgl. Kunert et al., 2002). Bei der Stichprobenbildung wurden 300 Gemeinden und dabei eine Basisstichprobengröße von 25.000 Haushalten berücksichtigt.

Die KONTIV 2002 zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Es wird die Mobilität der inländischen Bevölkerung mit allen Fortbewegungsarten, allen Anlässen und Zielen abgebildet.
- Die Mobilitätssegmente der Fern- und Wirtschaftsverkehre sind nicht differenziert genug erfasst, aber über Scharnierinformationen mit den Erhebungen zum Fern- und Wirtschaftsverkehr und zur Fahrleistungserhebung verknüpft.
- Die Mobilität von Kindern ist gesondert erfasst worden.
- Die Fahrzeugmerkmale und die Fahrzeugnutzung sind erfasst worden.
- Regionale Mobilitätsanalysen sind durch die Stichprobenaufstockung und durch die Abstimmung mit dem „System repräsentativer Verkehrserhebungen“ (SrV) möglich.
- Die nutzerfreundliche Datenbereitstellung trägt zu einem umfassenden Datenzugang bei (siehe www.kontiv2002.de).

2.4.6 Sondererhebungen

Zu den Sondererhebungen, deren Durchführung sich bei speziellen und häufig komplexen Fragestellungen anbietet, zählen hier folgende Methoden bzw. spezifische Untersuchungsstrategien:

- Qualitative Interviews
- Gruppendiskussionen
- Panelerhebungen
- Experimente
- Internetbefragungen
- handybasierte Befragungen.

Qualitative Interviews stellen eine Form der mündlichen Einzelbefragung von Personen oder Haushalten dar. Die Befragten können ihre persönlichen Erfahrungen und Einschätzungen einbringen.

Insgesamt bietet sich das qualitative Interview an, um

- die Bedeutung einer Antwort des Befragten zu klären
- wichtige einzelne Aspekte der Meinung eines Befragten zu ermitteln
- Einflüsse auf die Meinung(sbildung) einer Person herauszufinden
- komplexe Einstellungsmuster zu analysieren
- Einzelaussagen zu verfeinern, vor allem bei selteneren Fällen
- Wirkungen und Folgen individueller Erfahrungen als Reaktion auf bestimmte Situationen zu analysieren
- den Beeinflussungsgrad bei der individuellen Entscheidung durch andere Haushaltsmitglieder aufzudecken.

Gruppendiskussionen stellen mehr ein informelles Gespräch dar, bei dem Verläufe der Meinungsbildung sowie Kommunikationsstrukturen erfasst werden.

Die Gruppendiskussion eignet sich, um

- detaillierte Meinungsäußerungen zu erfassen
- einen Überblick über das Meinungsspektrum zu einem Thema zu bekommen
- Zugang zu tiefer liegenden Bewusstseinsinhalten zu erhalten.

Panelerhebungen stellen eine Form der zeitlichen Längsschnittuntersuchung dar, die auf die Erfassung von dynamischen Einflüssen des sich wandelnden Verkehrsverhaltens abzielt. Eine Panelerhebung zeichnet sich dadurch aus, dass dieselben Untersuchungseinheiten zu denselben Themen mit identischer Frageformulierung zu mindestens zwei Zeitpunkten befragt werden.

Panelerhebungen sind überall dann angezeigt, wenn Veränderungen von Einstellungen

und Verhaltensweisen in Bezug auf verkehrsplanerische bzw. -gestalterische Maßnahmen erfasst werden sollen. Je detaillierter diese Veränderungsprozesse erfasst werden sollen, umso mehr Erhebungswellen müssen eingeplant werden.

Bei Panelerhebungen ist mit dem Ausfall von Untersuchungseinheiten zu rechnen. Dieser Sachverhalt beeinträchtigt die Repräsentativität der Erhebungsergebnisse. Zusätzlich ist mit Verzerrungseffekten aufgrund der Untersuchungswiederholungen (Paneleffekt) zu rechnen.

Seit 1994 wird das *Deutsche Mobilitätspanel* (MOP) durchgeführt (vgl. Zumkeller u. Chlond, 1995). In Einjahresabständen und bei ca. 750 Haushalten wird die Mobilität über eine Woche erfasst. Ab 1999 schließt das MOP auch Haushalte aus den neuen Bundesländern ein. Mit Hilfe einer schriftlichen Erhebung von Haushalts- und Personendaten und eines Wegetagebuchs für eine Woche wird die Mobilitätserfassung durchgeführt. Die MOP-Daten lassen sich mit den sie beeinflussenden gesamtgesellschaftlichen Rahmendaten abgleichen. Somit kann auf Verhaltensänderungen geschlossen und der Verkehrsnachfrageprozess umfassender verstanden werden. Weitere Informationen sind zu erhalten unter: www.mobilitaetspanel.de.

Experimente sind wie die Panelstudien keine eigene Methode der Datengewinnung, sondern eine Untersuchungsstrategie zur Überprüfung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen.

Bei einem Experiment handelt es sich um eine wiederholbare Beobachtung unter kontrollierten Bedingungen, wobei eine (oder mehrere) unabhängige Variable(n) bewusst so verändert wird (werden), dass eine Überprüfungsmöglichkeit der zu Grunde liegenden Hypothese (Behauptung eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs) möglich ist.

Laborexperimente werden in möglichst abgeschirmten Umgebungen durchgeführt, um die Ursache-Wirkungs-Verknüpfungen unbeeinflusst von Störvariablen hervortreten zu lassen. Feldexperimente werden in der natürlichen Alltagsumgebung der untersuchten Personen bzw. Gruppen durchgeführt. Aus methodischen Gründen kann die Einrichtung einer Kontrollgruppe notwendig sein.

Internetbefragungen stellen eine noch neue Erhebungsstrategie dar, die immer häufiger zum Einsatz kommt. Die zunehmende Verbreitung liegt auch an den positiven Kosten- und Zeitaspekten.

Es bieten sich bei Verkehrserhebungen grundsätzlich zwei Vorgehensweisen bei der Internetbefragung an:

– Durchführung der Befragung per E-Mail. Den Zielpersonen wird per E-Mail ein HTML-Fragebogen zugeschickt. Durch Anklicken lässt sich der Fragebogen ausfüllen und per E-Mail zurücksenden.
– Durchführung der Befragung im World Wide Web. Den Zielpersonen wird eine Internetadresse genannt (z.B. ein Link per E-Mail). Hier kann ein HTML-Fragebogen ausgefüllt werden.

Die Verfahrensvorteile sind folgende:

– Es lassen sich die Ergebnisse schneller, kostengünstiger und fehlerfreier ermitteln.
– Es lässt sich die Erhebungsdurchführung, bedingt durch z.B. automatische Filterführungen und Ablehnung nicht zutreffender Fragen, übersichtlicher und einfacher organisieren.

Die Verfahrensnachteile sind folgende:

– Die Verbreitung von E-Mail und Internet ist erst bei ca. 35 Prozent der Bevölkerung gegeben.
– Ein technisches Grundverständnis beim Ausfüllen eines Internetfragebogens muss vorausgesetzt werden.
– Die Repräsentativität der Stichprobe ist nach statistischen Maßstäben derzeit nicht gegeben.

– Die Kosten der Online-Befragung (Telefonkosten) liegen beim Befragten.

Bei Stichtagserhebungen ist es notwendig, am Tag danach die Befragung durchzuführen. Es kann nicht immer ein zeitnaher Zugang zum Internet als gegeben angesehen werden. Bei den üblichen Verkehrserhebungen würden beim Einsatz von Internetbefragungen noch zu große Verzerrungen auftreten.

Handybasierte Befragungen nutzen als Erhebungsinstrument ein handelsübliches Mobiltelefon. Mit Hilfe eines elektronischen Fragebogens mit CASI (Computer-Aided Self Interviewing) -typischer Filterführung werden die gewünschten Informationen erfasst. Dieser Fragebogen ist auf der SIM-Karte zu implementieren. Der Fragebogen ist mit einer logischen Menüführung und implementierter Eingabehilfe zu versehen. Durch den Kurznachrichtendienst (SMS) werden die im Handy erfassten Daten an das Erhebungsinstitut verschickt und dort aufbereitet und ausgewertet.

Durch die GSM (Global System for Mobile Communications) -Technologie ist eine Positionsbestimmung und damit eine Ortsangabe ohne Mitwirkung des Erhebungsteilnehmers vollständig und zuverlässig gegeben. Dies gilt auch für die Zeitangabe, die durch die Online-Erfassung minutengenau vorliegt.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind (vgl. Sommer, 2002):

– Die Datenerfassung wird als bequem, einfach und schnell empfunden.
– Zeit- und Ortsangaben müssen nicht dokumentiert werden.
– Bei der Zielgruppe der Jugendlichen bewirkt diese Art der Erhebung eine hohe Akzeptanz
– Die Erfassung von Merkmalen mit differenzierten Ausprägungen ist ohne weiteres möglich.
– Die sonst erkennbaren Ermüdungseffekte bei Erhebungen über mehrere Tage treten kaum auf.
– Es kann zeitnah zur Erhebung über die Daten verfügt werden.

Als Nachteile treten auf:

– Handys haben noch keine umfassende Verbreitung erfahren.
– Die Stichprobenziehung stellt daher noch ein Problem dar.
– Bei einem Masseneinsatz treten noch systembedingte Kapazitätsprobleme auf.
– Nicht in jedem Fall ist die Ortungsgenauigkeit ausreichend.

Bedingt durch die technischen Weiterentwicklungen werden handybasierte Befragungen zukünftig an Bedeutung gewinnen.

2.5 Erhebungen des Wirtschaftsverkehrs

Im Zuge ständig wachsender Verkehrsansprüche und -belastungen muss der Erfassung des Wirtschaftsverkehrs eine stärkere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Vorhandene Daten über den Wirtschaftsverkehr beziehen sich meist nur auf bestimmte Anteile des Wirtschaftsverkehrs, wie den Güterfernverkehr. In den wenigsten Fällen lassen sich konkrete Angaben über die Gesamtsituation der räumlichen und zeitlichen Verflechtungen des Wirtschaftsverkehrs vorfinden.

Auch existiert keine einheitliche und verbindliche *Definition* des Wirtschaftsverkehrsbegriffs.

Bei dem Bemühen um eine Abrundung der Begriffsdefinition ist zwischen den zwei Bereichen Güterverkehr und Personenwirtschaftsverkehr zu unterscheiden (siehe Abb. 2.21). Es bietet sich an, die Wege innerhalb erwerbswirtschaftlicher und dienstlicher Tätigkeiten dem Wirtschaftsverkehr zuzurechnen.

Den Wirtschaftsverkehr in seinen hoch-

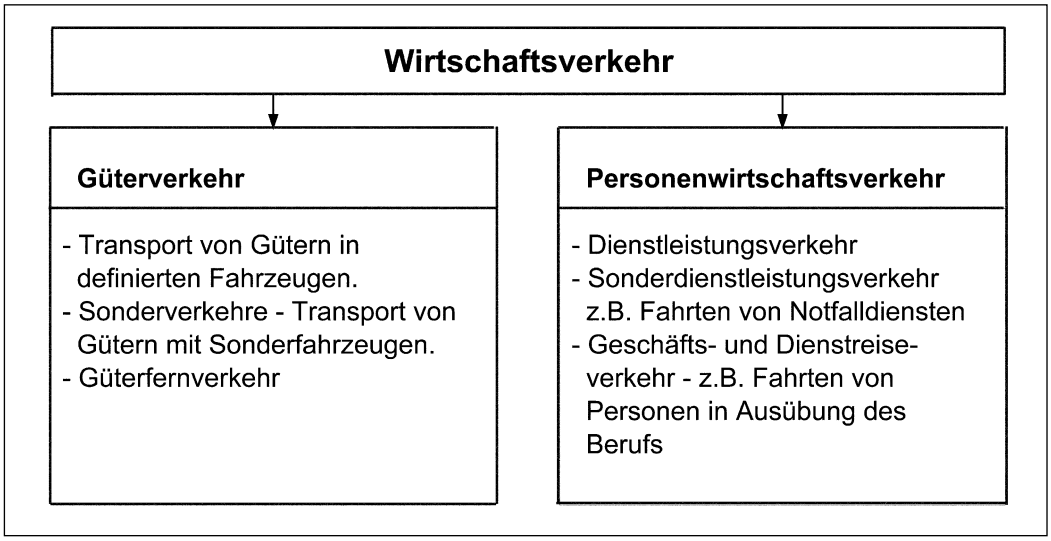


Abb. 2.21 Bereiche des Wirtschaftsverkehrs. (Eigene Darstellung)

komplexen Erscheinungsformen realitätsnah zu erfassen und abzubilden, erfordert eine exakte Bestimmung der Erhebungsinhalte. Diese sollten in einer themenbezogenen Arbeitsgruppe abgestimmt werden.

Da sich der Wirtschaftsverkehr im Gegensatz zum Personenverkehr durch eine strukturelle Vielfalt und durch Eigengesetzmäßigkeiten der räumlichen und zeitlichen Verbreitung auszeichnet, da weiterhin die verschiedenen Gütertypen unterschiedliche Anforderungen an die Transportmittel stellen, ist eine umfassende Erhebung nicht mit einfachen Erhebungsmethoden zu realisieren.

Es hat sich der Schwerpunkt der Datenerhebung auf die gewerblichen und öffentlichen Halter zu beziehen.

Weder Verkehrszählungen noch betriebliche Kenngrößen alleine liefern ein Gesamtbild des Wirtschaftsverkehrs. Die *schriftliche Betriebsbefragung* ist als wichtiges Instrument zur Erfassung des Wirtschaftsverkehrs anzusehen.

Hierzu führen u.a. folgende Überlegungen:

– Die Abfrage von „durchschnittlichen“ bzw. „normalen“ Verkehrsbeziehungen reicht für eine Gesamtdarstellung des Wirtschaftsverkehrs nicht aus. Die Fragen müssen sich deshalb auf konkrete Fahrten beziehen.
– Der Erfassung vollständiger Touren ist eindeutig der Vorzug zu geben vor einer Darstellung einzelner, isolierter Fahrten.
– Die Befragung muss am jeweiligen Stichtag stattfinden, um die Validität der erhobenen Daten nicht zu beeinträchtigen. Damit scheidet der Einsatz von mündlichen Befragungen praktisch aus.

Bei der *Organisation der Betriebsbefragung* ist zuerst die Stichprobenplanung vorzunehmen. Im Regelfall ist der Stichprobenumfang als Kompromiss zwischen den Genauigkeitsanforderungen – also der Auswertungstiefe – und dem Zeit- bzw. Kostenaufwand anzusehen.

Eine klare inhaltliche Abgrenzung der Erfassungseinheiten ist vorzunehmen. Hierbei sind zu unterscheiden:

– *Erhebungseinheit:* Diese dient als Grundlage der Stichprobenplanung und ist der Betrieb.
– *Untersuchungseinheit:* Diese verdeutlicht

das Erkenntnisobjekt der Erhebung und ist im Regelfall das eingesetzte Fahrzeug. Von entscheidender Bedeutung ist hierbei die Abgrenzung der betriebseigenen von den betriebsfremden Untersuchungseinheiten. Nur so können Doppelerfassungen von Wegen vermieden werden. Lassen Betriebe den Wirtschaftsverkehr durch ein „Fremdunternehmen" abwickeln (betriebsbezogene Auftragsverkehre), sind diese ebenfalls zu berücksichtigen.

– *Aussageeinheit:* Diese besitzt zentrale Bedeutung bei der Ergebnisauswertung und bezieht sich auf branchen-, verkehrsmittelspezifische und raumbezogene Kennwerten.

Die Verfahrensauswahl bei der Stichprobenanlage hängt von der Zuverlässigkeit der Informationen über die Grundgesamtheit, von ökonomischen Überlegungen und von Genauigkeitsansprüchen ab.

Sinnvoll ist eine mehrfach geschichtete Stichprobe nach Verkehrsbezirken und Wirtschaftszweigen.

Ab dem 01.07.2001 besteht eine neue Systematik der Wirtschaftszweige (siehe Abb. 2.22). Hierbei wurde der Entwicklung auf dem Wirtschaftssektor entsprochen, in dem u.a. eine Differenzierung des ständig wachsenden Wirtschaftszweigs „Dienstleistungen" vorgenommen wurde.

Auf der Basis dieser Systematik liegen bei den Industrie- und Handelskammern und bei den Handwerkskammern Dateien über die Grundgesamtheit der Betriebe vor. Es ist bei der realen Adressenbeschaffung der jeweilige Stand der Betriebedateien zu berücksichtigen.

Bei der Abfassung der *Erhebungsinstrumente* ist hinzuwirken auf das nutzerfreundliche Zusammenspiel von

– Fragebogeninhalt
– Fragebogenform
– Fragenanordnung
– Fragebogendesign.

Das Erhebungsinstrument für eine Betriebebefragung setzt sich zusammen aus dem

– Betriebsfragebogen und dem
– Fahrtenbogen.

Die Vorderseite des *Betriebsfragebogens* sollte der Erfassung folgender Inhalte dienen:

– Ansprechpartner im Betrieb
– Rückfrage – Telefonnummer
– Branchenzugehörigkeit des Betriebes.

Zusätzlich lassen sich auf der Vorderseite die folgenden Hinweise platziert:

– Einhaltung des Datenschutzes
– Freiwilligkeit der Teilnahme an der Befragung
– Bitte um Rücksendung der ausgefüllten Unterlagen.

Auf der Rückseite des Betriebsfragebogens bietet sich die Abfrage von Informationen zur Betriebsstruktur an:

– Anzahl und Art der betriebseigenen Fahrzeuge
– Adresse eines evtl. Fremd-Transportunternehmens
– Nutzung der Fahrzeuge als Taxi bzw. Funkmietwagen
– Anzahl der betrieblich genutzten Privatfahrzeuge
– Anzahl der Betriebsmitarbeiter/innen
– Anzahl der Beschäftigten im Fahrdienst.

Für jedes betriebseigene Fahrzeug ist ein *Fahrtenbogen* auszufüllen. Dieser Hinweis ist auf der Vorderseite des Fahrtenbogens zuerst zu vermitteln. Zusätzlich sollte die Empfehlung ausgesprochen werden, den Fahrtenbogen durch den Fahrer bzw. Beifahrer auf der Tour ausfüllen zu lassen. Des Weiteren ist nochmals auf die Einhaltung des Datenschutzes sowie auf die Hotline und die Adresse des einzurichtenden Erhebungsbüros hinzuweisen.

Die Art des Fahrzeugs, für das der Fahrtenbogen auszufüllen ist, sollte ebenso wie die Information nach einem genutzten Mietfahrzeug erfasst werden. Es ist zu erfragen, ob mit die-

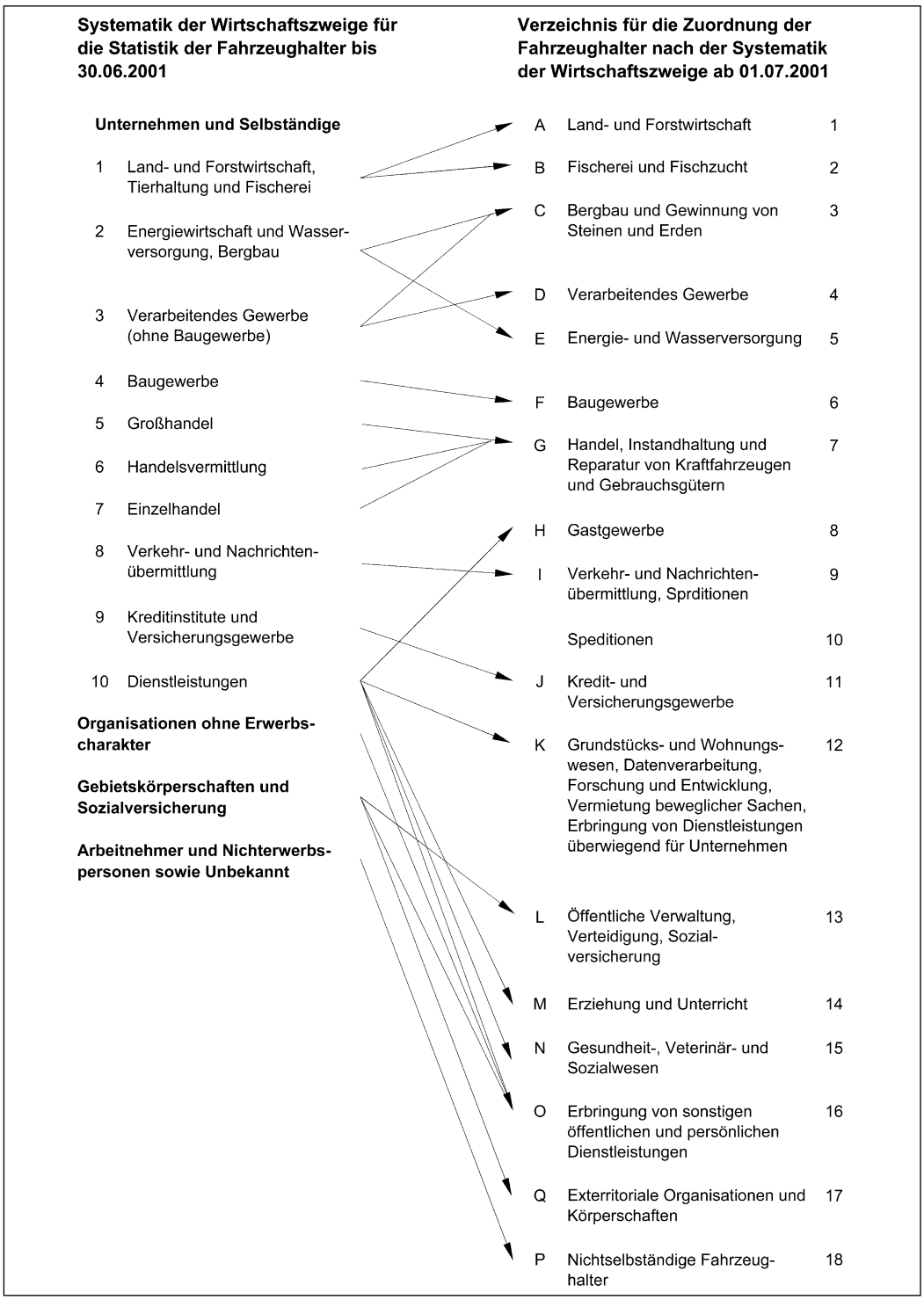


Abb. 2.22 Systematik der Wirtschaftszweige. (In Anlehnung an BMVBW, 2002)

sem Fahrzeug am vorgegebenen Stichtag überhaupt Fahrten unternommen wurden. Ist diese Frage mit „ja“ zu beantworten, ist der eigentliche Fahrtenbogen zu beantworten. Die Inhalte eines Fahrtenbogens gehen beispielhaft aus Abbildung 2.23 hervor.

Für ein Fahrzeug lassen sich insgesamt bis zu elf einzelne Fahrten in dem Fahrtenbogen dokumentieren. Werden mehr als elf Fahrten unternommen, ist nach der Anzahl der weiteren Fahrten und den insgesamt zurückgelegten Fahrtkilometern zu fragen.

Neben den formalen Hinweisen zur Erhebungsaktion ist zur Steigerung des Rücklaufs die Abfassung eines *Begleitschreibens* notwendig. Mit Hilfe eines solchen Schreibens soll

- auf die Notwendigkeit der Teilnahme hingewiesen,
- das durchführende Büro erwähnt,
- auf den Datenschutzaspekt grob eingegangen und
- eine motivierende Begründung für die Teilnahme an der Aktion vermittelt werden.

Das den Erhebungsunterlagen beizulegende Begleitschreiben ist von ortsbekannten und legitimierten Persönlichkeiten zu unterschreiben.

Den Erhebungsunterlagen sind ein freigestempelter *Rückantwort-Umschlag* und eine *Datenschutzerklärung* beizufügen.

Das entwickelte und für den spezifischen Einsatz entwickelte Erhebungsinstrument sollte im Rahmen eines Pre-Tests einer praktischen Erprobung unterzogen werden. Hierbei spielen inhaltliche und qualitative Aspekte des Erhebungsinstruments eine Rolle. Es sollen die evtl. vorhandenen Unzulänglichkeiten erkannt und durch entsprechende Änderungen behoben werden. Es kommt dem Pre-Test eine zentrale Bedeutung im Rahmen der *Qualitätssicherung* zu.

Bei der Durchführung von schriftlichen Betriebebefragungen sind Maßnahmen zur *Akzeptanzförderung* vorzusehen. Hierzu zählen:

- Erinnerungsschreiben
- Öffentlichkeitsarbeit
- Einrichtung eines Erhebungsbüros
- Einrichtung einer Hotline
- Durchführung einer Wirtschaftsverkehrsrunde.

Es sind ab dem definierten Stichtag Rücklaufkontrollen zurückzuführen. Diese Kontrollen sind auf der Grundlage der vergebenen Paginiernummern für jeden Werktag zu protokollieren und beziehen sich auf folgende Sachverhalte:

- unechte Ausfälle
- echte Ausfälle
- Gesamtausfall
- bereinigtes Brutto
- Rücklauf tageweise
- Rücklauf gesamt
- Ausschöpfung in Prozent
- erste Einschätzung der Ausfüllqualität.

Auf dieser Zahlenbasis kann abgeschätzt werden, ob eine *Nachfassaktion* notwendig wird.

Bei der *Datenplausibilisierung* geht es darum, den Fragen-Nonresponse bzw. die Überprüfung der Fehlangaben von Seiten der Befragten aufzudecken. Dies geschieht auf allen Ebenen der Dateneingabe durch

- Kontrollen
- Korrekturen
- Ergänzungen
- Codierungen.

Eine Stichprobe wird nicht gänzlich ausgeschöpft. Damit sind Abweichungen von der zu ermittelnden Realität auch bei noch so intensiver Planung unvermeidbar.

Mit Hilfe der *Gewichtung* wird erreicht, dass die Struktur der Merkmalsausprägungen in der Stichprobe mit der Struktur der Grundgesamtheit übereinstimmt.

Durch die Bildung von Gewichtungsfaktoren werden verschiedene Ansprüche an den Non-Response berücksichtigt:

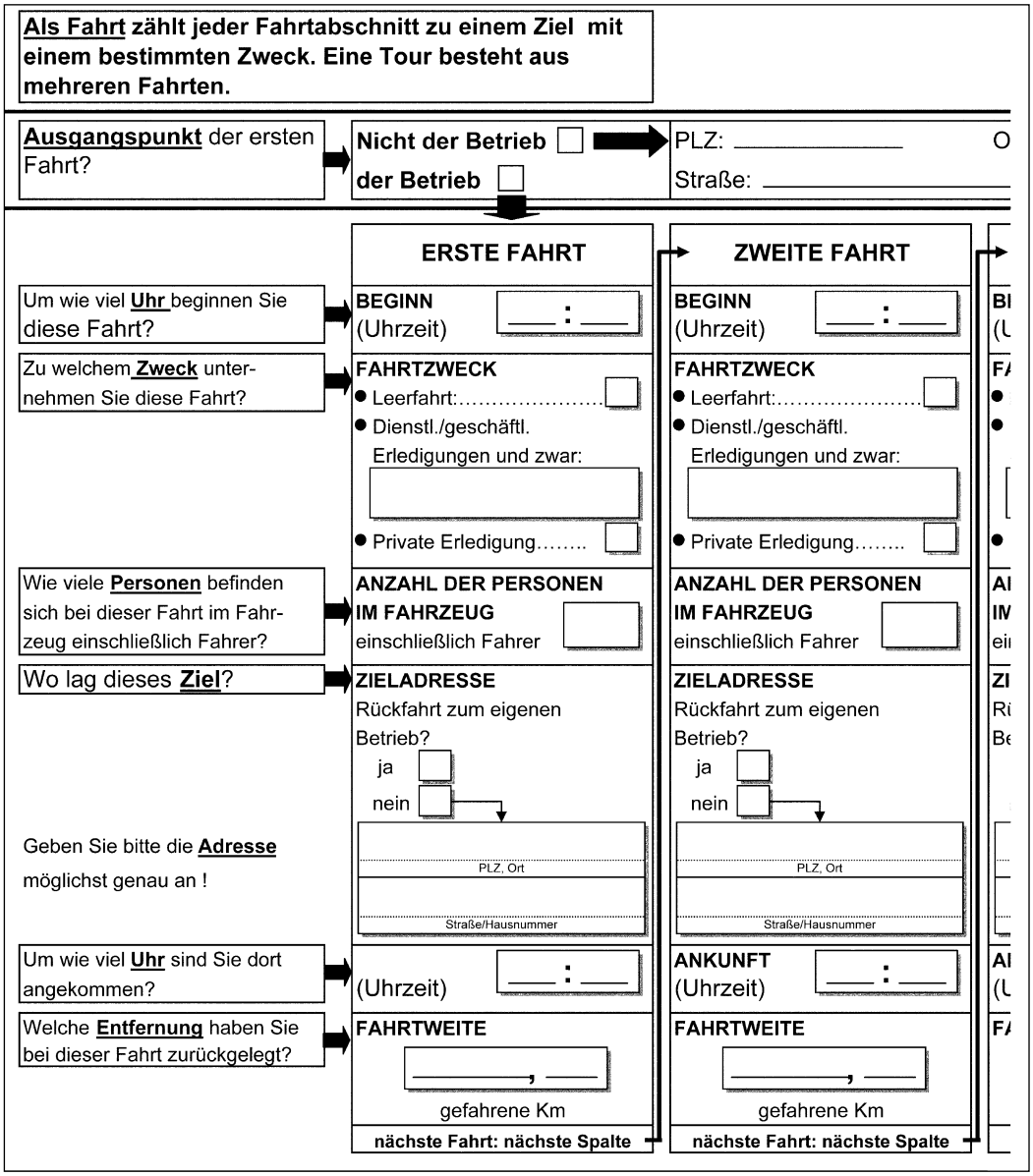


Abb. 2.23 Ausschnitt eines Fahrtenbogens. (Eigene Darstellung)

– Ausgleich von Disproportionalitäten bedingt durch die Stichprobenplanung
– Korrektur von Antwortverzerrungen durch ungleichgewichtige Rückläufe.

Im Regelfall reicht die Ableitung von branchenspezifischen Gewichtungsfaktoren.

Liegen die Gewichtungsfaktoren vor, kann die *Hochrechnung* auf die Grundgesamtheit vorgenommen werden.

Sind aktuelle Informationen über die Grundgesamtheit vorhanden, ist eine Parameterschätzung der Grundgesamtheit in Form einer gebundenen Hochrechnung vorzunehmen.

Die amtlichen Daten zum Straßengüterverkehr werden in den „Statistischen Miteilungen" und der Monatsschrift „Güterkraftverkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge" des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) und des Bundesamtes für Güterverkehr (BAG) veröffentlicht.

Als wichtige *Datenanbieter* sind darüber hinaus folgende Institutionen anzusehen (vgl. BMVBW, 2002):

– Statistisches Bundesamt
– Landesdatenbanken
– Statistiken des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen
– Statistiken des Bundesministeriums für Wirtschaft
– Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaft
– Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)
– Bundesverband Güterkraftverkehr und Logistik (BGL)
– Bundesverband Groß- und Außenhandel (BGA)
– Deutsche Bahn AG
– Lufthansa Cargo AG
– Bundesverband deutscher Binnenschifffahrt.

Daneben werden von Instituten, Verbänden und größeren Verkehrsunternehmen ebenfalls Daten erhoben, ausgewertet und publiziert.

Ab dem Jahre 2001 wurde erstmals eine „Kontinuierliche Befragung zum Wirtschaftsverkehr" im gesamten Bundesgebiet durchgeführt (KONTIV-Wirtschaftsverkehr, kurz: KONTIV-W). Im Vorfeld wurde im Rahmen einer Methodenstudie die Erarbeitung eines methodischen Standards für regionale Erhebungen des Wirtschaftverkehrs vorgenommen (vgl. BMVBW, 2001). Dabei wurde eine Berücksichtigung von europabezogenen Rahmenbedingungen angestrebt, um somit eine Datenkompatibilität sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene herstellen zu können.

Mit der „Verordnung über Statistiken des Straßengüterverkehrs" vom 30.05.1994 wurde ein neues Verfahren zur Erfassung von Transporten im Straßengüterverkehr eingeführt. Dieses Stichprobenverfahren mit Auskunftspflicht schließt allerdings die Erfassung von Fahrzeugen mit bis zu 6 t Gesamtgewicht oder 3,5 t Nutzlast aus und erfasst auch nicht die Fahrten ausländischer Fahrzeuge auf deutschem Boden. Damit wird der größte Fahrtenanteil in den Städten nicht erfasst.

Folgerichtig liegt der Schwerpunkt der KONTIV-W in der Erfassung kleinerer Fahrzeuge, d.h.

– Güter- und Sonderverkehre mit Lkw bis 3,5 t Nutzlast
– Personenwirtschaftsverkehre mit Pkw und Krädern gewerblicher Halter.

Durch Zusatzerhebungen sind alle anderen Fahrzeuggruppen zu erfassen.

Die Durchführung wurde in Erhebungswellen und verteilt auf ein Jahr realisiert. Die Gesamtkonzeption der stichtagsbezogenen schriftlich-postalischen KONTIV-W ist bei BMVBW (2001) beschrieben.

Es wurde eine flächendeckende Auswahl von Kraftfahrzeugen aus dem Zentralen Fahrzeugregister des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) vorgenommen. Dabei werden nicht erfasst:

– der Wirtschaftsverkehr mit im Ausland zugelassenen Kraftfahrzeugen
– der Wirtschaftsverkehr mit Eisenbahn. Schiff und Flugzeug
– der Personenwirtschaftsverkehr mit öffentlichen Verkehrsmitteln
– der nichtmotorisierte Wirtschaftsverkehr.

Mit folgenden Verkehrserhebungen wurde die KONTIV-W verknüpft:
– Güterkraftverkehrsstatistik
– KONTIV-Personen 2001/02
– Fahrleistungserhebung 2001/02
– EU-Erhebung Dateline.

2.6 Erhebungskombinationen und -weiterentwicklungen

Erhebungskombinationen bieten sich immer dann an, wenn
– die durch eine Erhebungsmethode erfassbaren Informationen der Untersuchungsfragestellung nicht umfassend gerecht werden,
– Hochrechnungsfaktoren für die Datenbasis einer Stichprobenerhebung benötigt werden,
– Daten zum Gesamtspektrum des Verkehrsgeschehens erfasst werden sollen,
– Plausibilitätsüberlegungen und Kontrollen der durch eine Erhebungsmethode ermittelten Daten vorgenommen werden sollen.

Im Regelfall wird durch ein Methodenmix eine Datenqualität gewonnen, die bei getrenntem Einsatz zweier unterschiedlicher Methoden nicht erreichbar ist. Somit kann eine Erhebungskombination insgesamt auch die ökonomisch günstigere Erhebungsanlage sein.

Insgesamt gilt für Erhebungskombinationen, dass sie dem Anspruch einer
– Vereinheitlichung,
– Vereinfachung,
– Vergleichbarkeit und
– Übertragbarkeit

der Erhebungsanlage und somit der Erhebungsergebnisse zu entsprechen haben.

Das Spektrum der möglichen Kombinationen von Erhebungsmethoden zeigt Abbildung 2.24. Die Beschreibung der Einzelmethoden geht aus den vorhergehenden Abschnitten hervor. Es wird nach empfohlenen, geeigneten und ungebräuchlichen Methodenkombinationen unterschieden. Denkbar sind auch Kombinationen von mehr als zwei Methoden.

Das Kombinationsspektrum lässt sich über das in Abbildung 2.24 dargestellte Maß hinaus noch verfeinern. So können in Abhängigkeit vom Untersuchungsziel Kombinationen mit
– automatischen Erhebungen,
– audiovisuellen Erhebungen,
– computergestützten Erhebungen und mit
– sekundärstatistischen Daten

möglich bzw. sinnvoll sein.

Auch *innerhalb* der Einzelmethoden sind Kombinationen denkbar und je nach Fragestellung erforderlich, z.B.:
– Ein mündliches Interview kann zur Kontrolle von schriftlich-postalisch erfassten Informationen eingesetzt werden.
– Die Erfassung der Fußwege durch eine Befragung kann mit einer Erfassung der Parkraumbelegung kombiniert werden.
– Bei der Erfassung von Parkierungsvorgängen bietet sich auch eine Kombination mit der Zähl- und Kennzeichen-Methode an.

Die *Wahl* der zu kombinierenden Methoden hat sich an folgenden Kriterien zu orientieren:
– Aussageziel der Untersuchung
– Raum- und Zeitbezug
– Analyseebene
– statistische Genauigkeit
– Durchführungsmodalitäten.

Zum *Misslingen* von Erhebungskombinationen können folgende Gründe beitragen:
– Wahl von unterschiedlichen Bezugshinter-

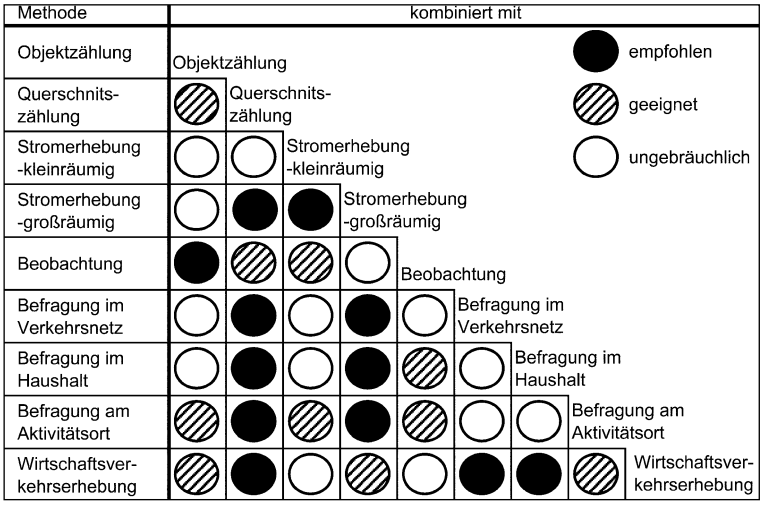


Abb. 2.24 Spektrum der Kombinationsmöglichkeiten. (Eigene Darstellung)

gründen (z.B. bei der Festlegung des Erfassungsalters von Personen)
- Wahl von unterschiedlichen Basiseinheiten (z.B. bei der Festlegung von Wege- oder Personenmerkmalen)
- Wahl von unterschiedlichen Bezugszeiträumen (z.B. bei der Festlegung der Erhebungszeit und der Erhebungszeit-Intervalle)
- Wahl von unterschiedlichen Erfassungseinheiten (z.B. bei der Festlegung von zu erfassenden Personengruppen)
- Wahl von nicht kompatiblen Erhebungsinstrumenten (z.B. bei der Festlegung der Inhalte der Fragebögen).

Um möglichen Erhebungsfehlern vorzubeugen, ist ein einheitlicher Erhebungsplan schon in der Phase der Zielformulierung auszuarbeiten. In einem solchen Erhebungsplan sind z.B. festzulegen:
- Menge der Erfassungseinheiten
- Zeitpunkt und Dauer
- Erhebungszeit-Intervall
- räumliche Bezugsgröße
- Einteilung der Fahrzeugarten
- Betriebsmerkmale der Fahrzeuge
- Beschreibungsgrößen der Verkehrsteilnehmer.

Nur auf der Basis einer vereinheitlichten und abgestimmten Erhebungsanlage mehrerer Methoden lassen sich die erhobenen Verkehrsdaten einer statistischen Vergleichbarkeit unterziehen. Werden die Größenordnungen von Datenunschärfen mangelhaft dargestellt, lässt sich keine befriedigende Vergleichbarkeit der mit unterschiedlichen Methoden erhobenen Daten vornehmen.

Zunehmend wichtiger wird die *Vernetzung* von Datengrundlagen. So wurden z.B. die bundesweiten Erhebungen zum Personen-, Wirtschafts- und Fernverkehr durch die Bildung von Schnittstellen und „Scharnierfragen“ so weit abgestimmt, dass mindestens eine partielle *Vergleichbarkeit* – auf jeden Fall aber eine Datenergänzung – gegeben ist.

Auch die Längsschnittstudie „Das Sozioökonomische Panel“ (SOEP), als jährliche Haushaltsbefragung durchgeführt und institutionell an das DIW Berlin angebunden, enthält mobilitätsrelevante Daten und Informationen.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat das Projekt „Mobilität und Verkehr verstehen“ aufgelegt. Es werden Anregungen und Ergänzungen für Mobilitätserhebungen insbesondere bei solchen mit Längsschnittcharakter erkennbar.

Eine Vergleichbarkeit wird vorrangig durch

methodische Aspekte beeinflusst, wobei mindestens drei Ebenen abgestimmt sein sollten:
- Erfassung der Merkmale mit vergleichbaren Kategorien
- Aufbereitung nach vergleichbaren Strukturen
- Zugänglichkeit der Daten.

Dabei wird es besonders wichtig werden, für die unterschiedlichen Mikrodatenbestände auf Regio-, Bundes- und EU-Ebene für Kompatibilität, Verknüpfbarkeit und Ergänzungsfähigkeit zu sorgen.

In diesem Sinne ist auch auf eine Vereinheitlichung der Dokumentation und Publikation von Ergebnissen aus Verkehrsbefragungen hinzuwirken. Die gegebenen Möglichkeiten der Online-Kommunikation sollten so genutzt werden, dass die Datennutzer interaktive Auswertungen vornehmen können.

Verkehrsmodelle benötigen zunehmend exaktere raumbezogene Verhaltensdaten. Mit computergestützten retrospektiven Methoden und automatisierter Geocodierung (GIS-Modulen) kann diese Datenqualität erreicht werden (vgl. Kreitz, 2002).

Den *technikgestützten Erhebungsverfahren* mit automatischen Ortungsverfahren wird die Zukunft gehören. Unter Nutzung von GPS (Global Positioning System) und GSM (Global System for Mobile Communications) in Verbindung mit Kleincomputern, Internet und Mobiltelefonen werden dann die Mobilitätsdaten erhoben und mit GIS ausgewertet. Noch ist die Teilnahmemöglichkeit selektiv, aber absehbar ist, dass sich PAPI (Paper-Pencil) -Verfahren in Zukunft stark verändern werden.

2.7 Marketing-Erhebungen

Die hier zu behandelnden Erhebungen auf der Marketingebene dienen in erster Linie dazu, dass Produkt Umweltverbund, d.h. die Verkehrsarten zu Fuß, Fahrrad und ÖPNV an geeignete Zielgruppen heranzutragen. Dabei geht es darum, durch ein geeignetes Vorgehen die jeweilige Zielgruppe vom Nutzen des Produkts zu überzeugen. Die subjektive Wahrnehmung soll verändert und das Verkehrsmittelwahlverhalten zu Gunsten eines oder mehrerer Verkehrsmittel des Umweltverbundes beeinflusst werden. Die Aufweichung dieser über Jahre geformten Einstellungen bildet den Schwerpunkt von Marketingstrategien.

An dieser Stelle soll das Marketingthema nicht weiter vertieft, sondern beispielhaft für das Direkt-Marketing im Bereich des ÖPNV die Erhebungsmodalitäten aufgezeigt werden.

Das Direkt-Marketing als *zielgruppenorientiertes Marketing* baut darauf, dass bei den Noch-Nicht-Kunden durch
- persönliche Ansprache,
- geeignete persönliche Informationen zum ÖPNV-Angebot und
- durch die Möglichkeit der Gratisnutzung des ÖPNV-Angebots

eine – jedenfalls partielle – Veränderung des Verkehrsverhaltens in Richtung Verlagerung zum ÖPNV bewirkt wird.

Das Direkt-Marketing als dialogorientierte Kommunikationsstrategie bietet nach dem momentanen Kenntnisstand die besten Voraussetzungen, potenzielle ÖPNV-Kunden zu erreichen (vgl. auch Reift u. Wewers, 1998; Mattern et al., 1999).

Dabei ist es nicht notwendig, die Angebotsseite zu verändern.

Zuerst sind die notwendigen Basisinformationen zu erheben und zu ordnen:
- Definition des Untersuchungsgebietes

– Erfassung des Angebots der öffentlichen Verkehrsmittel im Untersuchungsgebiet
– Ermittlung von Strukturdaten
– Analyse der vorhandenen Mobilitätsdaten
– Beschaffung der Personenadressen.

Methodisch ist das Direkt-Marketing nach einem *5-Phasenprinzip* aufgebaut.

In der *Informationsphase* werden die Zielpersonen nach einem Zufallsprinzip selektiert. Diesen Personen wird ein Informationsbogen (siehe Abb. 2.25) mit Anschreiben und Freikuvert zugeschickt. Auf der Vorderseite des Informationsbogens ist die Aktion zu erklären und auf das beiliegende freigestempelte Rücksendekuvert hinzuweisen. Auch die kostenlos anzurufende Telefonnummer (Hotline) ist anzugeben. Diese Aktion ist durch eine geeignete Medienarbeit zu unterstützen.

Der inhaltlichen Auswertung der Fragebogeninhalte sind eine Reihe von Arbeitsschritten voranzustellen:

– Sichtkontrolle der Informationsbögen
– Komplettierung der Informationsbögen nach Plausibilitätsüberlegungen
– Konvertierung des Antwortenspektrums bei den offenen Fragen in codierte Kategorien
– weitere Plausibilitätsüberprüfungen zur Reduzierung von Eingabefehlern
– Durchführung mehrdimensionaler Quervergleiche, um die Qualität des Datenmaterials zu erhöhen
– Dateneingabe.

Nach Beendigung dieser Arbeitsschritte liegt eine bereinigte Rohdatei vor.

In der *Klassifizierungsphase* wird auf der Basis der Angaben im Informationsbogen eine zielgruppenbezogene Klassifizierung vorgenommen. Für die weitere Bearbeitung im Direkt-Marketing eignen sich jene Personen, die eine Wahlfreiheit bei der Verkehrsmittelwahl haben und bislang noch keinen relevanten Zugang zum System der öffentlichen Verkehrsmittel hatten. Generell lassen sich folgende Zielgruppen klassifizierten:

– Interessierte Nichtnutzer, die bedingt durch die Rahmenbedingungen als potenzielle Nutzer anzusprechen sind
– nicht interessierte Nichtnutzer, die im weiteren Projektverlauf nicht mehr angesprochen werden, da sie für eine Nutzung nicht zu gewinnen sind
– Stammkunden mit Interesse an weiteren Informationen
– Stammkunden ohne weitere Informationswünsche
– Gelegenheits-Nutzer ohne weitere Informationswünsche
– Gelegenheits-Nutzer mit Interesse an weiteren Informationen.

In der *Service- und Motivationsphase* wird der Informationsstand der relevanten Zielgruppen durch umfangreiche *Telefonexplorationen* ausgelotet und entsprechendes Informationsmaterial versandt. Den identifizierten Testkunden werden ein Gratisticket, Informationsmaterialien und ein *Er-Fahrungsbogen* einschließlich Freikuvert zugestellt. Hier sind die Erfahrungen bei der kostenfreien ÖV-Nutzung zu dokumentieren.

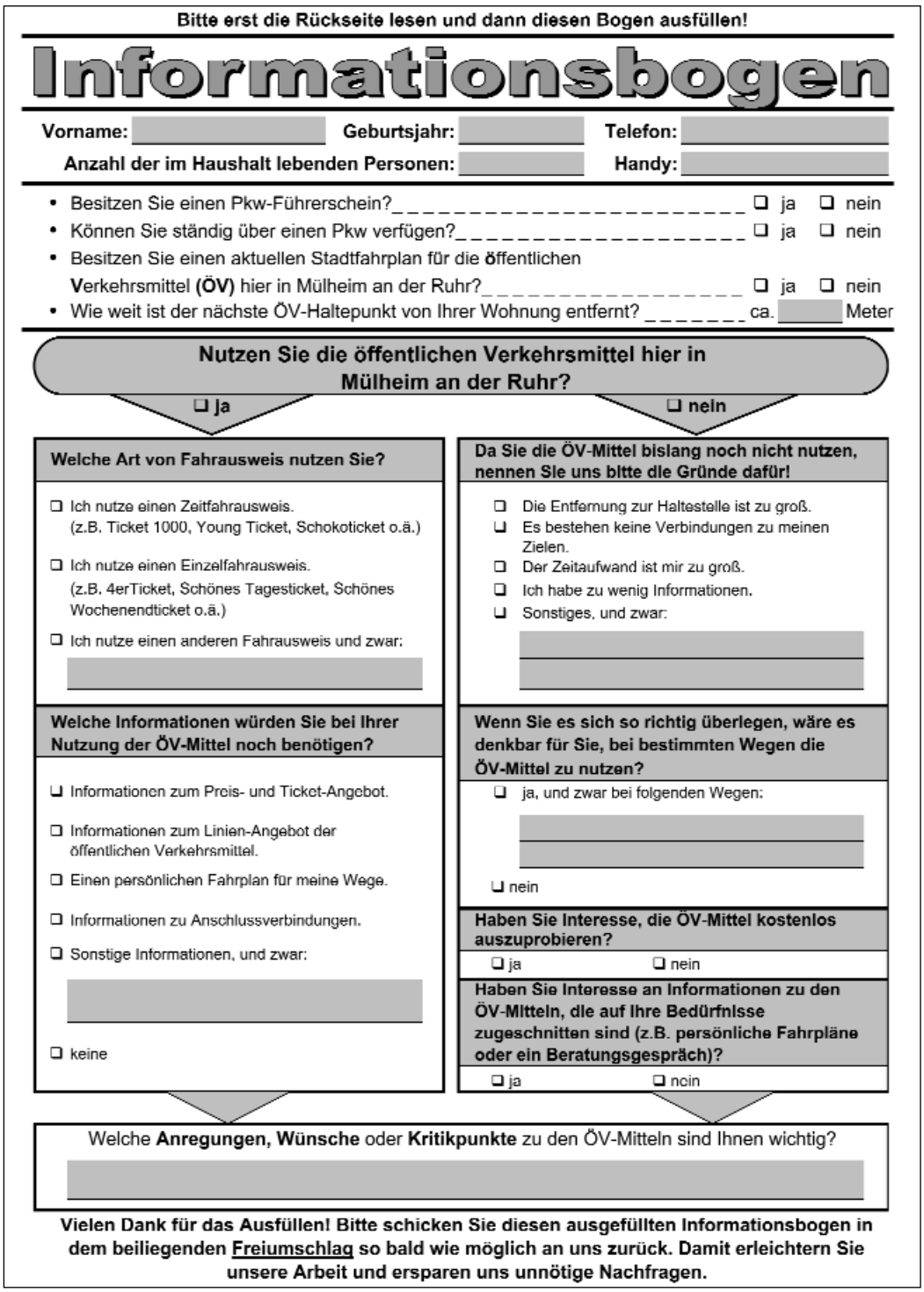
Die Inhalte des Erfahrungsbogens beziehen sich auf folgende Sachverhalte:

– Auflistung der durchgeführten Fahrten
– Möglichkeiten einer zukünftigen Nutzung
– allgemeine Beurteilung von Angebotskomponenten
– spezielle Beurteilung des Informationsangebots
– Wünsche, Anregungen und Kritikpunkte.

In der *Überzeugungsphase* werden die bei den Zielgruppen gesammelten Erfahrungen ausgewertet. Hierbei werden Zugangshemmnisse und somit konstruktive Hinweise auf Systemverbesserungen verdeutlicht.

Diese Aktion ist wiederum durch eine geeignete Medienarbeit zu unterstützen.

Der reale Kundenzuwachs kann in Form von drei unterschiedlichen Wirkungserfassungen ermittelt werden:



Bitte erst die Rückseite lesen und dann diesen Bogen ausfüllen!

Informationsbogen

Vorname: _____ **Geburtsjahr:** _____ **Telefon:** _____

Anzahl der im Haushalt lebenden Personen: _____ **Handy:** _____

- Besitzen Sie einen Pkw-Führerschein? ❑ ja ❑ nein
- Können Sie ständig über einen Pkw verfügen? ❑ ja ❑ nein
- Besitzen Sie einen aktuellen Stadtfahrplan für die öffentlichen Verkehrsmittel **(ÖV)** hier in Mülheim an der Ruhr? ❑ ja ❑ nein
- Wie weit ist der nächste ÖV-Haltepunkt von Ihrer Wohnung entfernt? ca. _____ Meter

Nutzen Sie die öffentlichen Verkehrsmittel hier in Mülheim an der Ruhr?

❑ **ja**

Welche Art von Fahrausweis nutzen Sie?

- ❑ Ich nutze einen Zeitfahrausweis. (z.B. Ticket 1000, Young Ticket, Schokoticket o.ä.)
- ❑ Ich nutze einen Einzelfahrausweis. (z.B. 4erTicket, Schönes Tagesticket, Schönes Wochenendticket o.ä.)
- ❑ Ich nutze einen anderen Fahrausweis und zwar:

Welche Informationen würden Sie bei Ihrer Nutzung der ÖV-Mittel noch benötigen?

- ❑ Informationen zum Preis- und Ticket-Angebot.
- ❑ Informationen zum Linien-Angebot der öffentlichen Verkehrsmittel.
- ❑ Einen persönlichen Fahrplan für meine Wege.
- ❑ Informationen zu Anschlussverbindungen.
- ❑ Sonstige Informationen, und zwar:
- ❑ keine

❑ **nein**

Da Sie die ÖV-Mittel bislang noch nicht nutzen, nennen Sie uns bitte die Gründe dafür!

- ❑ Die Entfernung zur Haltestelle ist zu groß.
- ❑ Es bestehen keine Verbindungen zu meinen Zielen.
- ❑ Der Zeitaufwand ist mir zu groß.
- ❑ Ich habe zu wenig Informationen.
- ❑ Sonstiges, und zwar:

Wenn Sie es sich so richtig überlegen, wäre es denkbar für Sie, bei bestimmten Wegen die ÖV-Mittel zu nutzen?

- ❑ ja, und zwar bei folgenden Wegen:
- ❑ nein

Haben Sie Interesse, die ÖV-Mittel kostenlos auszuprobieren?

❑ ja ❑ nein

Haben Sie Interesse an Informationen zu den ÖV-Mitteln, die auf Ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind (z.B. persönliche Fahrpläne oder ein Beratungsgespräch)?

❑ ja ❑ nein

Welche **Anregungen, Wünsche** oder **Kritikpunkte** zu den ÖV-Mitteln sind Ihnen wichtig?

Vielen Dank für das Ausfüllen! Bitte schicken Sie diesen ausgefüllten Informationsbogen in dem beiliegenden Freiumschlag so bald wie möglich an uns zurück. Damit erleichtern Sie unsere Arbeit und ersparen uns unnötige Nachfragen.

Abb. 2.25 Informationsbogen. (Eigene Darstellung)

– Erfassung der haltestellengenauen Fahrgastzahlen für die Linien im Untersuchungsgebiet und Erstellung eines Vorher-Nachher-Vergleichs
– Nacherhebung bei den im Rahmen des Direkt-Marketings angesprochenen Zielpersonen
– rechnerische Ermittlung der Fahrten und Erlöszuwächse.

Die zwei erstgenannten Nachher-Untersuchungen wären nach einer zeitlichen Eingewöhnungszeit durchzuführen. Die rechnerische Ermittlung der Fahrten- und Erlöszuwächse wird auf der Basis der Angaben der Neukunden vorgenommen. Dabei wird als Berechnungsbasis von einem Betrachtungsjahr und einem mittleren Fahrpreis ausgegangen.

Aus den bisher durchgeführten Nachher-Kontrollen bei Direkt-Marketing-Aktionen – die nur vom jeweiligen Auftraggeber durchgeführt werden sollen – konnte zweifelsfrei festgestellt werden, dass die Zielgruppe der Testkunden, verglichen mit den Angaben in der Überzeugungsphase, mehr Fahrten mit dem ÖPNV zurückgelegt hatten.

Literatur

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.) (2002): Bestandsaufnahme notwendiger und verfügbarer Daten zum Wirtschaftsverkehr als Grundlage pragmatischer Datenergänzungen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 860, Bonn

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.) (2003): Kernelemente von Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten: Empfehlungen zur abgestimmten Gestaltung von Verkehrserhebungen. Bonn

Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft (DVWG) (Hrsg.) (1986): Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten. Schriftenreihe der DVWG, Reihe B 85, Bergisch Gladbach

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.):
– FGSV (1986): Merkblatt über Verkehrserhebungen und Datenschutzschutz. Köln
– FGSV (1987): Hinweise für den kurzzeitigen Einsatz von Straßenverkehrszählgeräten. Köln
– FGSV (1992): Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE ‘91). Köln

Follmann, J. (1999): Geographische Informations-Systeme zum Aufbau eines Verkehrsinformations-Systems. In: Straßenverkehrstechnik 43, Heft 2, S.76-79

Follmer, R.; Engelhardt, K. (2001): Geocodierung von Quelle und Ziel von Wegen als Grundlage zur Ermittlung von Fahrleistungsdaten. Zwischenbericht einer Machbarkeitsstudie im Auftrag der BAST

Gabler, S. u. Häder, S. (2002): Telefonbefragungen, Telefonstichproben, methodische Innovationen und Anwendungen in Deutschland. Waxmann Verlag, Münster

Hautzinger, H. (1989): Haushaltsbefragungen vom KONTIV-Typ. Hochrechnung, Gewichtung, Genauigkeitsbeurteilung. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 60, Heft 4, S.345-370

Hautzinger, H. (1991): Computergestützte Datenerhebung in der Verkehrsstatistik. Schriftenreihe der DVWG, B 135, Bergisch Gladbach

Kreitz, M. (2002): CHASE-GIS: Ein computergestütztes Erhebungsverfahren raumbezogener Verkehrsverhaltensdaten. Berichte Stadt Region Land des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr der RWTH Aachen, Bericht B48, Aachen

Kunert, U.; Kloas, J.; Kuhfeld, H. (2002): Mobilität in Deutschland. KONTIV 2002 – Neue Nutzungsperspektiven und erweiterte Analysemöglichkeiten. In: Schriftenreihe der DVWG, Reihe B 255, S.37-55

Lachmann, G. (1983): Die Fehlerproblematik bei Verkehrserhebungen durch Kennzeichenerfassung. In: Straßen- und Tiefbau 37, 6, S.5-14

Maerschalk, G. u. Wermuth, M. (1981): Zur Repräsentanz schriftlicher Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten. Untersuchung im Auftrag des BMV, München

Maerschalk, G. u. Wermuth, M. (1983): Entwicklung von Verfahren für Verkehrserhebungen aus

der Sicht der Empirischen Sozialforschung und der Ingenieurwissenschaften. Untersuchung im Auftrag des BMV, München

Steierwald, G. u. Heinz, G. (1981): Zusammenhänge zwischen der erwünschten Genauigkeit von Verkehrsuntersuchungen und der Einteilung des Untersuchungsgebietes bei großräumigen Verkehrsuntersuchungen. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 323, S.77-120

Steinauer, B.; Kathmann, T.; Stöpp, T. (1999): Video – die Zukunft in der Verkehrstechnik? In: Straßenverkehrstechnik 43, Heft 9, S.435-442

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) (1991): Verkehrserhebungen, Köln

Zumkeller, D. u. Chlond, B. (1995): Nutzen und Realisierungsprobleme einer bundesweiten Paneluntersuchung zum Verkehrsverhalten. In: Internationales Verkehrswesen 47, S.20-25

Zumkeller, D. (2002): Deutsches Mobilitätspanel: Nutzungspotenziale ausschöpfen! In: Schriftenreihe der DVWG, Reihe B 255, S.10-36

Weiterführende Literatur

Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute e.V. (1999): Standards zur Qualitätssicherung in der Markt- und Sozialforschung. Frankfurt am Main

Bundesminister für Verkehr (Hrsg.) (1994): Methoden für die Durchführung von Stichprobenerhebungen zur Ermittlung von Verkehrsnachfragedaten im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) für Betriebe unterschiedlicher Größe. Forschungsbericht FE-Nr. 265/90, Bonn

Collin, H.-J. (1985): Fehlermöglichkeiten aktivitätsorientierter Erhebungsmethoden. In: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau der TU Berlin, Heft 13, Berlin

Deiss, R. (1996): Datenbedarf und Datenverfügbarkeit auf europäischer Ebene. In: Schriftenreihe der DVWG, Reihe B 194, S.94-103

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (1999): Qualitätskriterien der Umfrageforschung. Akademie Verlag, Berlin

Eichner, K. u. Habermehl, W. (1982): Ergebnis einer empirischen Untersuchung zur Repräsentativität postalischer Befragungen. In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, Heft 34, S.93-116

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:

– FGSV (1995): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 95)
– FGSV (2001): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen

Häder, S. (1994): Auswahlverfahren bei Telefonumfragen. ZUMA-Arbeitsbericht Nr. 94/03

Hippler, H.-J. (1988): Methodische Aspekte schriftlicher Befragungen. Probleme und Forschungsperspektiven. In: planung und analyse, Heft 6, S.244-248

Hippler, H.-J.u. Schwarz, N. (1990): Die Telefonbefragung im Vergleich mit anderen Befragungsarten. Forschungsgruppe Telefon-Kommunikation (Hrsg.): Beiträge zu einer Soziologie der Telefon-Kommunikation, Berlin

Laffont, S. et al. (1998): Neue Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik für die bundesweiten Verkehrszählungen unter dem Gesichtspunkt der Aufwandsreduzierung. Forschungsprojekt FE 1.147 des Bundesministeriums für Verkehr, Bonn

Leerkamp, B. (1999): Erhebungs- und Hochrechnungsverfahren des Kfz-Verkehrs für kommunale Planungsaufgaben. In: Straßenverkehrstechnik 43, Heft 12, S.612–616

Porst, R. (1999): Thematik oder Incentives? Zur Erhöhung der Rücklaufquoten bei postalischen Befragungen. In: ZUMA-Nachrichten 45, 23, S.72-87

Rehborn, H.; Haug, A.; Kerner, B. S.; Aleksit, M.; Fastenrath, U. (2003): Floating Car Data und Verfahren zur Erkennung und Verfolgung von zeitlich-räumlichen Verkehrsmustern. In: Straßenverkehrstechnik 47, Heft 9, S.461-468

Sommer, C. (2002): Erfassung des Verkehrsverhaltens mittels Mobilfunktechnik. Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig, 2002, Heft 51, Braunschweig

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2000): Neue Erhebungsinstrumente und Methodeneffekte. Schriftenreihe Spektrum Bundesstatistik, 2000, Band 15, Wiesbaden

2.8 Verhalten und Verhaltensabsichten

Befragungen können das (beobachtbare) Verhalten der Befragten, ihre Eigenschaften, ihre Haltungen und Einstellungen, aber auch ihr mögliches Verhalten in hypothetischen Märkten (Situationen) erfassen. Die Methoden zur Erfassung solcher Verhaltensabsichten sind das Thema des vorliegenden Kapitels. Diese Methoden werden immer dann eingesetzt, wenn das beobachtbare Verhalten in den tatsächlichen Märkten nicht die Schlüsse zulässt, die von Interesse sind, d.h. zum Beispiel:

- Es fehlt eine Verhaltensalternative, zum Beispiel ein Verkehrsmittel oder ein bestimmtes Dienstleistungsangebot; und es ergeben sich neue Verhaltensalternativen durch Veränderungen der sozio-demographischen Situation der Befragten.
- Die Einflussgrößen variieren zu wenig oder korrelieren so stark, dass keine verlässlichen Parameterschätzungen möglich sind; man denke hier zum Beispiel an konstante ÖV-Fahrpreise in einem Stadtgebiet.
- Der Einfluss einer Entwurfsvariablen ist im Verhältnis zu anderen Eigenschaften der betreffenden Alternative im Ganzen zu schwach, um im tatsächlichen Verhalten isoliert werden zu können; ein Beispiel ist hier die Wirkung der Haltestellengestaltung auf die Verkehrsmittelwahl.

In diesen Fällen sind die Schwierigkeiten in Kauf zu nehmen, die mit solchen Befragungsansätzen verknüpft sind. Alle Verfahren der *stated-response*-Familie erwarten, dass die Befragten bereit sind, sich den in der Befragung beschriebenen hypothetischen Markt vollständig vorzustellen und für ihn wahrhaftige Entscheidungen zu treffen, d.h. die Abwägung der präsentierten Alternativen erfolgt ohne strategische Absichten und ernsthaft. Mitchell und Carson (1989) weisen deshalb darauf hin, dass solche Befragungen nur dann durchgeführt werden sollten, wenn die Befragten der Überzeugung sein können, dass die Befragungsergebnisse die Entscheidungen der Auftraggeber der Befragung noch beeinflussen können. Ansonsten bestehen für den Befragten Anreize, entweder strategisch zu antworten oder unernsthaft und zufällig. Die praktischen Erfahrungen zeigen aber, dass für die Befragten ernsthaftes Antworten in der Regel die einfachste Strategie ist.

Die Aufgabe der Befragung ist es, den Befragten die hypothetischen Zustände/Märkte glaubhaft zu machen und eine Beurteilung einer Alternative oder eine Entscheidung zwischen Verhaltensalternativen zu erhalten. Dabei werden aus Gründen der Befragungsökonomie in der Regel mehr als eine hypothetische Entscheidungssituation präsentiert, wobei diese Situationen so konstruiert werden, dass die Wirkungen der konstitutiven Einflussgrößen statistisch eindeutig geschätzt werden können.

2.8.1 Ansätze

Conjoint Analyse, *Contingent Valuation*, Situationsansatz, Direkte Nutzenmessung, *stated-preference*-Ansatz, *stated-response*-Ansatz sind nur einige der Namen, unter denen die oben beschriebene Idee umgesetzt wird. Lee-Gosselin (1996) schlägt eine Einteilung vor (siehe Tabelle 2.1), die die grundsätzlichen Unterschiede in der Realisierung einer solchen Befragung berücksichtigt: a) ob die Befragten zwischen fest vorgegebenen Alternativen wählen müssen oder ob sie die Alternativen konstruieren dürfen und b) ob die hypothetischen Märkte im Detail beschrieben sind oder ob die Befragten die Ausprägungen selber bestimmen dürfen.

Tabelle 2.1 Klassifikation der Befragungsverfahren mit hypothetischen Märkten. (Nach Lee-Gosselin, 1996)

	Entscheidungssituation, Ausprägungen und Randbedingungen	
	vorgegeben	**zu erfassen**
Alternativen vorgegeben	„Stated preferences“ (SP-Verfahren) Was würden Sie tun, wenn …?	„Stated tolerances“ Unter welchen Umständen würden Sie Folgendes tun?
zu erfassen	„Stated adaptation“ Was würden Sie anders machen, wenn ...? Wie würden Sie sich entscheiden, wenn …?	„Stated prospect“ Unter welchen Umständen würden Sie etwas anders machen/sich anders entscheiden und wenn wie?

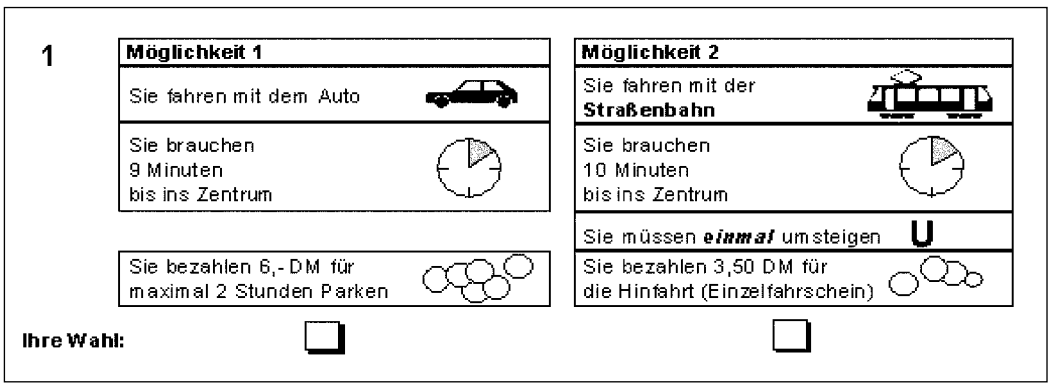


Abb. 2.26 Beispiel für eine stated-choice-Entscheidungssituation. (Axhausen et al., 2000)

Die rigideste der vier Formen, der *stated-preference*-Ansatz, ist der am weitest verbreitete (Wittink et al., 1994) und umfasst eine Reihe von Untertypen:

- *stated preferences* (Bewertung einer Alternative auf einer Skala),
- *stated choice* (Auswahl einer aus mehreren Alternativen) (siehe Abb. 2.26 und Abb. 2.27 für Beispiele) und
- *stated ranking* (Rangreihung mehrerer Alternativen),

wobei heute in der Praxis der *stated-choice*-Ansatz bevorzugt wird.

Ein Befragungsansatz der Familie lässt sich nicht wirklich in Lee-Gosselins Schema einordnen: Hoinvilles (1973) *priority evaluator*. Hier müssen die Befragten ein Budget auf die von ihnen bevorzugten Gestaltungselemente einer Einrichtung oder politischen Maßnahme aufteilen. Die Befragten haben die Freiheiten einer *stated-prospect*-Befragung, müssen aber mit rigide vorgegebenen Baublöcken arbeiten.

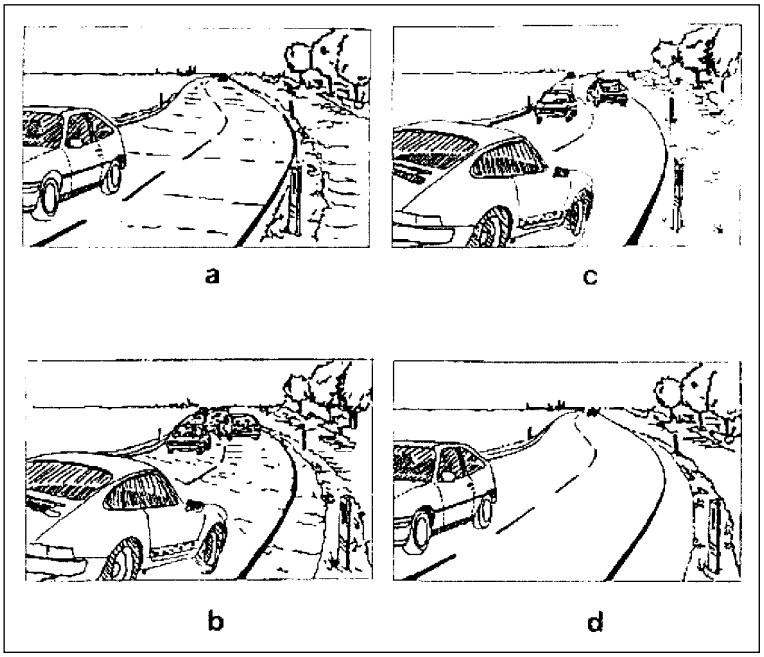


Abb. 2.27 Beispiel für einen graphisch gestalteten stated-choice-Fragebogen.
(Leutzbach et al., 1986)

2.8.2 Arbeitsschritte bei der Entwicklung einer *stated-response*-Befragung

Die Logik der Entwicklung einer stated-response-Befragung ist weitgehend von der gewählten Form unabhängig. Sie wird beispielhaft anhand des heute präferierten Ansatzes stated choice erläutert.

Eine stated-choice-Befragung ist eine Serie von Experimenten, in denen der Befragte auf vom Entwerfer gewählte Stimuli reagiert: Alternativen werden durch die spezifischen Ausprägungen der Einflussgrößen beschrieben und zu Entscheidungssituationen zusammengefasst. Zwischen den Entscheidungssituationen (Experimenten) werden die Ausprägungen so variiert, dass den Befragten eine Reihe von *trade offs* angeboten werden, so dass die beobachteten Entscheidungen dem Untersuchenden erlauben, die relativen Gewichte der Einflussgrößen zu bestimmen.

Diese Beschreibung macht klar, dass am Anfang der Entwicklung einer stated-choice-Befragung drei Arbeitsschritte stehen müssen (siehe Abb. 2.28):

- Definition der zu testenden Verhaltenshypothese
- Definition der Rahmenbedingung der Entscheidung
- Definition der Marktsegmente

Mit der Hypothese wird festgelegt, welche Alternativen und welche Einflussgrößen relevant sind. Aussagen sind nur zu diesen Alternativen und Einflussgrößen möglich. Die spätere Modellierung erlaubt es nur, Aussagen über die Stärke und Richtung der berücksichtigten Einflussgrößen zu machen; bis hin zur Feststellung fehlender Signifikanz. Es ist aber unmöglich, Aussagen über fehlende Größen oder Alternativen zu machen. Hier sind jeweils weitere Experimente notwendig.

Neben der Anzahl der Größen muss auch a priori festgelegt werden, in welcher funktionalen Form die Größen in die spätere Nutzenfunktion eingehen sollen, respektive welche

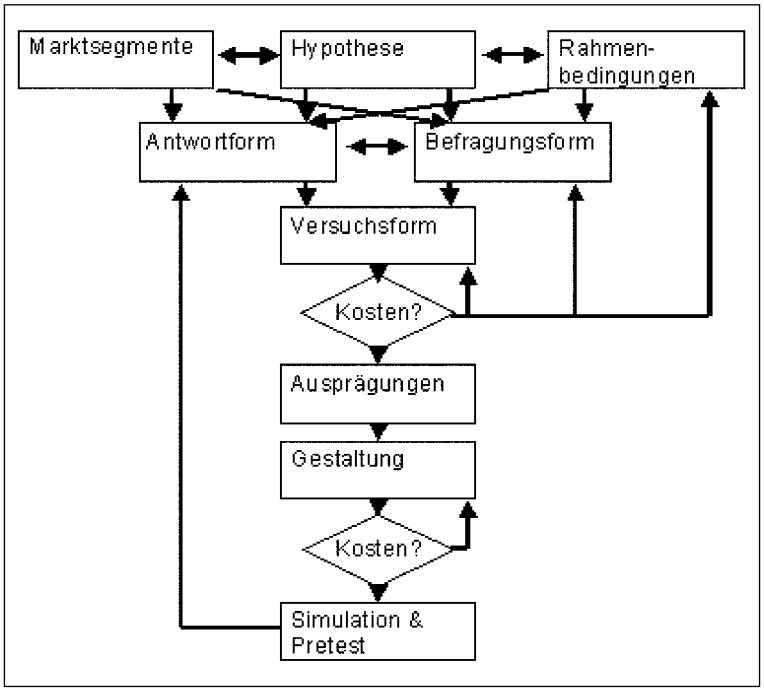


Abb. 2.28 Arbeitsablauf von *stated-response*-Befragungen (FGSV, 1996)

signifikanten Wechselwirkungen vermutet werden. Die vermutete funktionale Form (linear, quadratisch, nicht linear etc.) bestimmt, wie viele verschiedene Ausprägungen der Größe in den Experimenten (Entscheidungssituationen) präsentiert werden müssen, um die notwendigen Parameter zu bestimmen (linear: mindestens zwei Ausprägungen; quadratisch und einfache nicht lineare Formen: mindestens drei).

Entscheidungen werden vom Kontext und der Situation, in der und für die sie gefällt werden, beeinflusst: Tageszeit, Wetter, Zweck der Fahrt, Gruppengröße, Finanzierung etc. Der Untersuchende kann diese Rahmenbedingungen für den Befragten beschreiben und vorgeben. Je enger die Beschreibung ist, umso verlässlicher sollten die Antworten der Befragten werden, aber umso enger ist auch die Aussage der Ergebnisse. In vielen Studien wird diesem Arbeitsschritt zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet und die Rahmenbedingungen ergeben sich eher zufällig aus der Befragungssituation.

Im dritten Arbeitsschritt muss das Marktsegment festgelegt werden, mit dem die Befragungen durchgeführt werden sollen. Marktsegmente und Hypothese müssen aufeinander abgestimmt werden, so dass die Alternativen und deren Einflussgrößen für dieses Segment konsistent sind. Auch hier gilt, dass eine feinere Detaillierung der Marktsegmente bessere Ergebnisse ermöglichen sollte.

Mit Hypothese, Rahmenbedingungen und Marktsegment sind die grundsätzlichen Entscheidungen gefallen, für deren Umsetzung eine geeignete Befragung konstruiert werden muss:

Antwortform, d.h. der Typ der Befragung; wie oben erwähnt, wird im Verkehr fast ausschließlich mit *stated-choice*-Befragungen gearbeitet, da die Analyse der Antworten analog zu denen von *revealed-preference*-Befragungen mit Entscheidungsmodellen erfolgen kann.

Mit der Befragungsform wird die Art des Protokolls der Befragung festgelegt: schriftlich postalisch, web-basiert, CASI mit oder ohne Interviewer usw. Hier ergeben sich oft Zwänge aus der Festlegung der Marktsegmente, die nur an bestimmten Orten und auf bestimmte Weisen effektiv erreichbar sind. Man denke zum Beispiel an die Befragung viel fliegender Geschäftsreisender, die wahrscheinlich am einfachsten auf einem Flughafen zu finden sind, was wiederum eine CASI-Befragung mit Interviewer nahe legt.

Die Versuchsform legt fest,

- ob die Experimente mit a priori festgelegten Ausprägungen arbeiten sollten oder ob man die Ausprägungen relativ zu den Erfahrungen des Befragten formuliert und
- ob diese relativen Veränderungen fest vorgegeben werden oder ob sie von den vorherigen Antworten der Befragten abhängen sollen. Es ist empfehlenswert, die Ausprägungen relativ zu den Erfahrungen des Befragten zu bestimmen, d.h. einem Weg, einer Aktivität, einer Entscheidung, die der Befragte unternommen hat. Das heißt aber auch, dass dieser Weg, die Aktivität in einem ersten Teil der Befragung zu erfassen ist. Es ist heute deshalb üblich, der SC-Befragung eine geeignete RP-Befragung vorzuschalten, zum Beispiel ein Verkehrstagebuch. Die zusätzlichen Kosten sind durch den höheren Realismus der SC-Befragung gerechtfertigt.

An dieser Stelle der Entwicklung ist eine erste Kostenschätzung notwendig, um zu überprüfen, ob die bisherigen Entscheidungen mit dem vorhandenen Budget vereinbar sind. Eine Faustregel sagt, dass jede Entscheidungssituation von 30, besser 50 Befragten je Marktsegment und Rahmenbedingung beantwortet werden sollte, um verlässliche Parameterschätzungen zu erhalten. Die Anzahl der notwendigen Entscheidungssituationen hängt von der Anzahl der Ausprägungen der Einflussgrößen und den vermuteten Wechselwirkungen exponentiell wachsend ab. Für die Alternativen mit n_2, n_3, ... n_k Einflussgrößen mit jeweils 2, 3, ... k Ausprägungen ergeben sich insgesamt

$2^{n_2}\, 3^{n_3}$ ..... k^{n_k} Entscheidungssituationen

Es ist zwar nicht notwendig alle diese Entscheidungssituationen abzuprüfen, wenn man bereit ist, nur die direkten Effekte der Einflussgrößen und einige wenige Wechselwirkungen zu schätzen, aber selbst dann sind bei angemessen komplexen Hypothesen oft 50-60 Entscheidungssituationen notwendig. Die Kosten können also sehr schnell wachsen, insbesondere wenn man berücksichtigt, dass in planungspraktischen Studien den Befragten in der Regel nur maximal 10-15 Entscheidungssituationen vorlegt werden, um eine Übermüdung, respektive eine Teilnahmeverweigerung zu vermeiden. Konservativ ergeben sich die Kosten also entsprechend Gleichung 2.1.

Falls das Budget überschritten wird, ist es notwendig, alle bisherigen Entscheidungen zu überdenken, wobei natürlich die Untersuchungsziele möglichst wenig einzuschränken sind (Hypothese, Rahmenbedingungen, Marktsegmente).

Die verbleibenden Arbeitsschritte umfassen die endgültige Festlegung der zu präsentierenden Ausprägungen und die Gestaltung der Be-

$$Kosten_{sc} = \frac{€}{Befragtem}\; n_{Marktsegmente}\; n_{Rahmenbedingungen}\; \frac{n_{Entscheidungssituationen}}{10}\; 50\; Befragte \tag{2.1}$$

fragung (Fragebogen, Webseite, CASI-Interview usw.), einen abschließender Test des Instruments durch Simulation und einen Pre-Test.

Die relativen Veränderungen der Ausprägungen sind so zu wählen, dass die sich ergebenden absoluten Werte für die Befragten noch glaubwürdig sind, dass keine der Alternativen dominant ist (d.h. eindeutig besser), dass die offerierten trade offs eine weite Bandbreite haben und dass die Werte der Alternativen nicht zu stark miteinander korrelieren und damit die Modellschätzung verhindern oder erschweren. Es gibt leider keine Hilfsmittel, um hier ein entsprechendes Optimum automatisch zu finden, so dass eine systematische Suche notwendig ist.

Bei der Gestaltung eines SR-Fragebogens ist an die üblichen Dinge zu denken: Lesbarkeit, Verständlichkeit und Übersichtlichkeit der Fragen und Aufgaben.

Da die Hypothese das zu schätzende Modell festlegt, ist es möglich zu überprüfen, ob die Befragung es erlaubt, dass Modell zu schätzen, in dem man die Antworten virtueller Befragter simuliert. Man zieht zufällige Parameterwerte des Entscheidungsmodells, um die virtuellen Befragten zu definieren; beantwortet (simuliert) mit diesen Werten die Fragen und analysiert die Antworten, als ob sie von realen Befragten kommen. Das geschätzte Modell sollte die Mittelwerte der zufälligen Parameterwerte reproduzieren. Falls das nicht der Fall ist, sind bei der Konstruktion der Entscheidungssituationen Fehler unterlaufen, die es zu korrigieren gilt.

2.8.3 Zusammenfassung

Dieses Kapitel soll und kann ein Lehrbuch nicht ersetzen (Siehe unten, insbesondere Louviere et al., 2000 oder Bateman et al., 2002). Es versucht, eine Übersicht über die Bandbreite der Methoden und die wichtigsten Arbeitsschritte bei der Erstellung einer solchen Befragung zu geben. Es soll hier noch einmal betont werden, dass SR-Befragungen Verhaltenshypothesen testen, die vorab festzulegen sind. Dies ist ihre Stärke und ihre Schwäche: Stärke, da die Aufmerksamkeit der Befragten auf eine den Auftraggeber interessierende Auswahl von Einflussgrößen gelenkt werden kann; Schwäche, da Aussagen über nur genau diese Größen möglich ist und da diese Konzentration zu einer Überschätzung insbesondere sonst schwacher Einflüsse führen kann. Trotzdem sind *stated-response*-Befragungen, insbesondere *stated-choice*-Befragungen heute ein selbstverständliches Befragungsinstrument im Verkehr. Sie ergänzen *revealed-preference*-Befragungen in Fällen, in denen diese systematische Lücken lassen. In manchen Bereichen, wie bei der Ermittlung von Zahlungsbereitschaften, ersetzen sie die RP-Befragungen sogar, da ihr experimenteller Charakter die statistisch rigorose Überprüfung der Hypothesen ermöglicht.

Literatur

Axhausen, K. W. (1989): Direkte Nutzenmessung – Ein Ansatz zur Schätzung von Entscheidungsmodellen – Zwei Anwendungen. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 60 (4), S. 323-344

Axhausen, K. W. (1995): Was sind die Methoden der Direkten Nutzenmessung, Conjoint Analysis oder Stated Preferences. Straßenverkehrstechnik. 39 (5), S. 210-218

Axhausen, K. W.; Haupt, T.; Heidl, U.; Fell, B. (2000): Rail bonus before and after: Results from an SP/RP panel. Vortrag bei der 9th International Conference on Travel Behaviour Research, Goldcoast, Australia, July 2000. Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 28, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich

Hoinville, G. (1973): Evaluating community preferences. Journal of the Marketing Research Society, 15 (1), S. 1-23

Lee-Gosselin, M. (1996): Scope and potential of interactive stated response data collection methods. Conference Proceedings, 10, S. 115-133, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Leutzbach, W.; Buck, A.; Axhausen, K.W. (1986): Möglichkeiten und Grenzen der Führung des Radverkehrs auf Radfahrstreifen von anbaufreien Straßen. Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 488, Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Wittink, D. R.; Vriens, M.; Burhenne, W. (1994): Commercial use of conjoint analysis Europe: results and critical reflections. International Journal of Research in Marketing, 11 (1), S. 41-52

Weiterführende Literatur

Bateman, I. J.; Carson, T. C.: Day, B.; Hanemann, M.; Hanley, N.; Hett, T.; Jones-Lee, M.; Loomes, G.: Mourato, S.; Özdemiroglu, E.; Pearce, D. W.; Sudgen, R.; Swanson, J. (2002): Econometric Valuation with Stated Preference Techniques. Edward Elgar, Cheltenham

Box, G. E. P.; Hunter, W. G; Hunter, J. S. (1978): Statistics for Experimenters, John Wiley & Sons, New York

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.) (1996): Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preferences. Köln

McLean, R. A.; Anderson, V. L. (1984): Applied Factorial and Fractional Designs. Marcel Dekker, New York

Mitchell, R. C. u. Carson, R. T. (1989): Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method, Resources for the Future. Washington, D.C.

Louviere, J. J. (1988): Analyzing decision making: Metric Conjoint Analysis. Sage University Papers, 67, Sage, Newbury Park

Louviere, J. J.; Hensher, D. A.; Swait, J. D. (2000): Stated Choice Methods: Analysis and Application. Cambridge University Press, Cambridge

Pearmain, D.; Swanson, J.; Kroes, E.; Bradley, M. (1991): Stated Preference Techniques: A Guide to Practice. Steer Davies and Gleave, London

Pommerehne, W. W. (1987): Präferenzen für öffentliche Güter: Ansätze zu ihrer Erfassung. Mohr, Tübingen

Schubert, B. (1991): Entwicklung von Konzepten für Produktinnovationen mittels Conjointanalyse. Poeschel-Verlag, Stuttgart

3 Folgen und Wirkungen des Verkehrs

3.1 Übersicht Verkehrswirkungen

Die Wirkungen des Verkehrs entstehen durch die Verkehrsmittelnutzung auf Verkehrswegen oder in Verkehrsanlagen. Hier sollen die wesentlichen Wirkungen des Verkehrs kurz beschrieben und in ihrer Bedeutung eingestuft werden. Wirkungen können sowohl in positiver als auch in negativer Ausprägung auftreten, wobei im Zusammenhang mit planerischem Handeln die Bestrebungen vorliegen, negative Wirkungen so weit wie den Umständen nach möglich zu vermeiden bzw. zu vermindern. Demnach ist ein ganzes Spektrum derartiger Wirkungen zu betrachten, bei dem die verkehrsbedingten Umweltbelastungen einen gewichtigen Teil einnehmen. Abbildung 3.1 gibt einen Überblick über die Einwirkungsbereiche des Verkehrs. Man kann vier Hauptbereiche unterscheiden, die vom Verkehr betroffen sind:

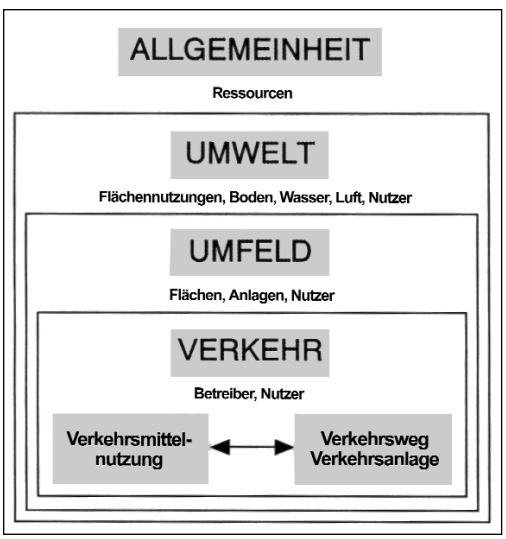


Abb. 3.1 Wirkungsbereiche des Verkehrs. (Eigene Darstellung)

Der „Verkehr“ selbst, d.h. die Nutzer der Verkehrswege und Verkehrsanlagen sowie auch deren Betreiber, die als Betroffene durch den Verkehr gelten können,

- das Umfeld des Verkehrs in Form von beeinflussten Flächen, Anlagen und deren Nutzern,
- die Umwelt als über das direkte Umfeld hinausgehender Bereich, der in Form von Flächennutzungen, Boden, Wasser und Luft vom Verkehr beansprucht wird,
- die Allgemeinheit, die entsprechend ihrer gesellschaftlichen bzw. politischen Werthaltung und Zielvorstellungen bereit ist, Ressourcen für den Verkehrssektor einzusetzen.

Die hier genannten Einwirkungsbereiche sind relevant für jede konkrete Aufgabenstellung; sie haben entsprechend der jeweiligen Planungsebene: International, Bund, Land, Region, Stadt, Stadtteil spezifische Ausprägungen, d.h. sie sind jeweils zu definieren und durch Kriterien und Indikatoren zu beschreiben, so dass die einzelnen Wirkungen möglichst adäquat erfasst werden können; sie bilden die Basis für Zustandsanalysen und dienen der Maßnahmenfindung (s. Kap. B 3.3).

Wie die Aufteilung der Wirkungen nach Einwirkungsbereichen (siehe Abb. 3.2) andeutet, treten Wirkungen auch in geografischer Hinsicht differenziert auf. Es lässt sich dazu festhalten, dass Wirkungen unterschiedlich, das heißt vornehmlich punktuell, linear oder räumlich auftreten können:

- punktuell, das heißt mehr oder weniger örtlich im „Umkreis“ um eine einzelne Verkehrsanlage (z.B. Parkplatz) herum oder auf einen Standort bezogen,

– linear entlang eines Verkehrsweges, in der Regel in einem gewissen einzelwirkungsspezifischen Ausbreitungsbereich,
– auf Verflechtungen bezogen, die das Bild der räumlichen Nachfragestruktur oder des Raumlebens darstellen,
– auf Räume bezogen, in denen sich eine Art wirkungsverursachender Gesamtverkehr abspielt, der mehr oder weniger indirekt oder direkt betroffen ist.

Zur Charakterisierung des Verkehrs anhand seiner Wirkungen ist demnach das gesamte räumlich-funktionale Spektrum zu berücksichtigen, wobei noch besonders auf den zeitlichen Anfall einzugehen ist, d.h. Wirkungen können auch im zeitlichen Verlauf sehr differenziert und auch über längere Zeiträume hinweg auftreten.

Die Wirkungen auf die Allgemeinheit lassen sich aus raumordnerischen Zielen ableiten, wonach die Raumordnung oder Flächennutzung eine räumliche Ausgeglichenheit erzeugen bzw. schaffen soll. Daraus ergeben sich Verflechtungsansprüche durch komplementäre Nutzungen, die eine gesicherte räumliche Kommunikation erfordern; der Verkehr kann sich möglicherweise sowohl positiv als auch negativ auf diese Kommunikationserfordernisse auswirken (siehe Abb. 3.3).

Der Verkehr wirkt sich auf die Allgemeinheit vordergründig in Form von Verbrauch oder Inanspruchnahme von Ressourcen aus. Mit dieser Inanspruchnahme einerseits sind andererseits jedoch auch volkswirtschaftliche Nutzenstiftungen verbunden, d. h. der Beitrag, den der Verkehr zum Wachstum des Sozialprodukts leistet, kann nach Baum und Behnke

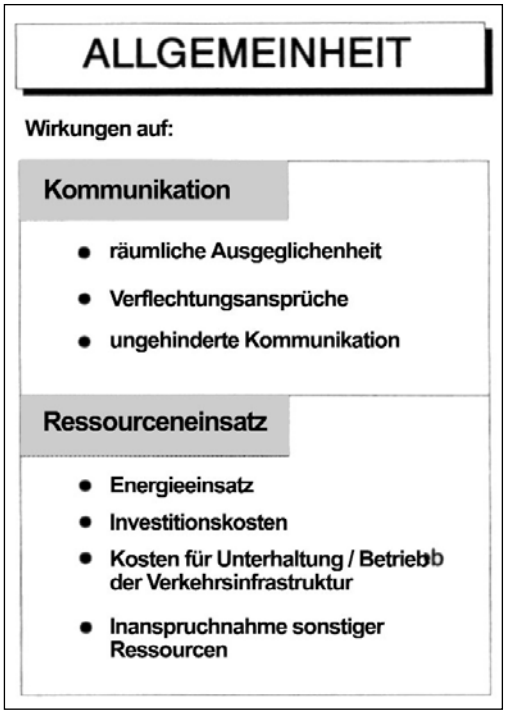


Abb. 3.2 Verkehrswirkungen auf den Bereich „Allgemeinheit". (Eigene Darstellung)

Abb. 3.3 Verkehrswirkungen auf den Bereich „Umwelt/Umfeld". (Eigene Darstellung)

(1997) als Nutzen des Verkehrs definiert werden. Unter den Wirkungen des Verkehrs sind hier nach Abbildung 3.2 im Folgenden zu verstehen:

- der Energieverbrauch, im Verkehrsbereich vornehmlich aus nicht erneuerbaren Ressourcen auf Erdölbasis
- die Investitionskosten für die Weiterentwicklung der Verkehrsinfrastruktur, über deren Höhe und Verteilung auf die verschiedenen Verkehrsträger und zeitliche Verwendung die Gesellschaft, (z.B. durch Beschlüsse der Legislative für die Finanzierung durch Haushaltsetats) zu entscheiden hat; es ist davon auszugehen, dass hier auch zunehmend privatwirtschaftliche Aspekte eine Bedeutung erlangen
- die Kosten für Unterhaltung und Betrieb der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur, über die entsprechend zu entscheiden ist
- die Inanspruchnahme sonstiger Ressourcen beispielsweise in Form von Flächen oder Humankapital.

Dem Energiebereich ist volkswirtschaftlich eine hohe Bedeutung beizumessen; der gesamte Energieeinsatz für den Verkehrsbereich lässt sich grob abschätzen. Nimmt man als eine Größe zur Verdeutlichtung den Endenergieverbrauch im Verkehr, so fallen für 2001 (siehe BMVBW, 2003a) 2681 Petajoule an, damit ist gegenüber 1989 (vgl. BMVBW, 1990) eine Steigerung von ca. 35 Prozent festzustellen. Größter Energieträger ist hierbei das Mineralöl mit 2623 Petajoule; d.h. mit einem Anteil von 97,8 Prozent; den wesentlichen Teil davon verbraucht der Straßenverkehr mit 87,4 Prozent. Mit 54,1 Prozent ist der motorisierte Individualverkehr, mit 1,5 Prozent der öffentliche Personenverkehr und mit 29,9 Prozent der Straßengüterverkehr am Energieverbrauch des Verkehrssektors im Jahre 2001 beteiligt.

Der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors liegt im Vergleich der drei Hauptverbrauchssektoren mit ca. 29 Prozent des Gesamtverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland nur wenig über dem der Industrie mit ca. 25 Prozent, während die privaten Haushalte (einschl. Kleinverbraucher, Landwirtschaft und Gewerbe) den höchsten Anteil von ca. 46 Prozent aufweisen (vgl. BMVBW, 2003a). Der Verbrauch insbesondere von fossilen Energieträgern bildet die Basis für weitere Wirkungen, die als Emissionen bzw. Immissionen die Umweltqualität beeinträchtigen und auch negative Auswirkungen auf das Klima haben können; insofern kommt einerseits der Thematik „Energie und Verkehr“ auch hier eine besondere Bedeutung zu, andererseits sind bei einer Gesamtbehandlung dieser Problematik die anderen Verbrauchssektoren nicht außer Acht zu lassen, insbesondere wenn es beispielsweise um Einsparpotentiale im Energiesektor bzw. bei den Emissionen geht.

Die getätigten Investitionen für die Verkehrsinfrastruktur sowie die aufgewendeten Kosten für deren Unterhaltung und Betrieb repräsentieren das Angebot an Verkehrsinfrastruktur in Umfang und in substanzieller Qualität. Es wurde bereits auf den Wert der Verkehrsinfrastruktur hingewiesen (siehe Kap. B 1.5). Der Problematik des nötigen kontinuierlichen Unterhaltungsaufwandes zur Aufrechterhaltung der Qualität bzw. des volkswirtschaftlichen Wertes der Verkehrsinfrastruktur, also eines wesentlichen Teils des öffentlichen Anlagevermögens, kommt eine zunehmende Bedeutung zu. Einen Überblick über die Größenordnung für die Unterhaltung der Verkehrsinfrastruktur geben in der Literatur (vgl. auch Maerschalk, 1999) aufgeführte Mindestbedarfswerte von ca. 1,5 bis 2,5 €/m² (je nach Substanz) jährlich für die Erhaltung von Fahrbahnen wieder; für Ingenieurbauwerke werden demzufolge ca. 1 Prozent des Bestandswerts jährlich als erforderlicher Aufwand für die Erhaltung angegeben. Von Bedeutung ist hier, dass nach vorliegenden Zahlenbeispielen in einzelnen Kommunen lediglich bis zu 50 Pro-

zent der Erhaltungsmittel eingesetzt werden, die für die Beibehaltung des zustandsmäßigen Status quo (Substanzerhalt) eigentlich erforderlich wären; hier sind demnach weitere negative Folgewirkungen abzusehen.

Vordergründig wird unter Ressourceninanspruchnahme zuallererst die Inanspruchnahme von Flächen durch den Verkehr und die Verkehrsanlagen verstanden. So sind in Deutschland von der Bodenfläche insgesamt ca. 12,3 Prozent als Verkehrs- und Siedlungsfläche, Stand 2001, (siehe auch BMVBW, 2003a) ausgewiesen; die Verkehrsfläche allein liegt bei 4,8 Prozent; auf Straßen entfällt ein Anteil von ca. 1,5 Prozent. Auch wenn der Anteil, den der Verkehrssektor prozentual an der Gesamtfläche Deutschlands einnimmt, statistisch gesehen relativ gering ausfällt, stellt die Flächeninanspruchnahme durch den Verkehr einen Ressourceneinsatz dar, bei dem die Limitierung vielerorts besonders augenfällig ist. Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der gesamten Bodenfläche liegt bspw. in den deutschen Stadtstaaten bei über 50 Prozent und erreicht einen Höchstwert in Berlin mit ca. 68 Prozent (vgl. auch MUV B.-W., 1997). Die überwiegend hohe Sensibilität gegenüber verkehrsbezogenen Flächeninanspruchnahmen hat vielfach zu sehr kontroversen gesellschaftlichen Auseinandersetzungen geführt, wobei häufig allerdings auch befürchtete Folge wie vornehmlich Lärmbelastungen im Vordergrund der Kontroversen stehen. Der Umgang mit der Begrenztheit von Grund und Boden stellt die Allgemeinheit daher vor große Herausforderungen. An Stellen, an denen Verkehrsmengen in hoher räumlicher Konzentration auftreten (z.B. im Individualverkehr zu bestimmten Zeiten), aber auch an Stellen, an denen besondere Schutzbedürfnisse vorliegen, lässt sich offensichtlich die an sich verkehrlich erforderliche Fläche häufig nicht zur Verfügung stellen.

Die Inanspruchnahme sonstiger Ressourcen kann einen weiten Teil von Wirkungen umfassen, die man dem Humankapital zurechnen kann. Es handelt sich hierbei um Wirkungen des Verkehrs auf Personen, z.B. durch Störung oder Beeinflussung im Verhaltensbereich allgemein. Es sind darunter Aspekte zu verstehen, die nicht auf einen speziellen Verkehrsvorgang, sondern die generell auf das Phänomen Verkehr zurückgeführt werden können. Eine konkrete Identifizierung dieser Wirkungen gestaltet sich zwar schwierig, allerdings ist von der Existenz derartiger Wirkungen auszugehen.

Die hier anzusprechenden Wirkungen auf das unmittelbare Umfeld und die darüber hinaus reichenden Wirkungen auf die weitere Umwelt nehmen den breitesten Raum aller Verkehrswirkungen ein. Abbildung 3.3 nennt die wesentlichen diesbezüglichen Verkehrswirkungen in einer Übersicht. Bestimmte, in der Vergangenheit sehr intensiv behandelte Themen wie die verkehrsbedingten Luftschadstoffe sind durch zwischenzeitliche diesbezügliche Gesetzgebungen in Deutschland öffentlich mehr in den Hintergrund gerückt, andere Themen wie verkehrsbedingte Lärmimmissionen weisen weiterhin bei Umfragen einen sehr hohen Betroffenheitsgrad in der Bevölkerung auf. Ungeachtet davon ist das Problem der verkehrsbedingten Luftverschmutzung global gesehen von höchster Bedeutung, was sich insbesondere in den rasch wachsenden Siedlungsagglomerationen im asiatischen und südamerikanischen Raum zeigt. Im Gegensatz zu anderen Wirkungen sind die vom Lärm und den Schadstoffen ausgehenden Wirkungen immer negativ, sie können günstigenfalls durch spezifische Maßnahmen gemildert werden.

Die Verkehrswirkungen auf den Stadtraum lassen sich an Einzelbauwerken, Straßenräumen, Platzräumen, Raumfolgen (Straßensequenzen), am Bebauungszusammenhang und am Stadtbild ablesen und quantitativ oder qualitativ beschreiben. Während aufgrund der

besonderen Bedeutung des Umweltschutzes dem nicht bebauten Teil, der freien Landschaft, anfangs eine erhöhte Aufmerksamkeit zukam, was sich auch in einschlägigen Merkblättern, wie den MUVS (FGSV, 1990) niederschlug, wurde der bebaute Teil der Umwelt, der Stadtraum, in der Vergangenheit zunächst eher zögerlich behandelt, wenn es um die Auswirkungen auf das räumliche Umfelderlebnis ging. Bereits seit geraumer Zeit werden jedoch auch die Effekte auf den Städtebau in weitesten Sinne bei großräumigen Projekten (vgl. dazu auch Ruske et al., 1990) wie auch bei Umweltverträglichkeitsstudien im Zuge von Linienbestimmungsverfahren behandelt. Dabei gibt es sowohl positive als auch negative Wirkungen auf den Städtebau.

Die verkehrlichen Auswirkungen auf die Landschaft äußern sich in der Inanspruchnahme von Funktionen, die die Landschaft, der weitgehend nicht bebaute Teil der Umwelt, zu übernehmen hat: Erholungsfunktion, Biotop- und Artenschutzfunktion, Regulations- und Regenerationsfunktionen von Boden, Wasser, Luft sowie Funktionen für die nachhaltige Nutzung von Naturgütern; hinzu kommen kulturelle Funktionen, die ebenfalls von der Landschaft geleistet werden. Aber auch die Reliefgestalt der Landschaft sowie deren Ansicht kann durch Verkehr beeinträchtigt werden.

Eine der wesentlichen Anforderungen, die gestellt werden, gilt den Möglichkeiten des Aufenthalts von Menschen im Straßenbereich und auf Plätzen. Dieser Aufenthalt wird vor allem durch den motorisierten Verkehr und hier insbesondere durch den motorisierten Individualverkehr beeinflusst oder gestört. In der Stadt sind es besonders die Anordnung von Flächen, die Vielfalt in der Gestaltung, die zum Verweilen, zum Aufenthalt, – bei Kindern zum Spielen – einladen. Für derartige Bereiche innerhalb der Stadt sind im Normalfall gewisse Nutzungspotentiale gegeben, die jedoch schnell reduziert werden können, wenn sich das Konfliktpotential durch den Verkehr erhöht. So hat ein Verkehrsweg eine trennende Wirkung innerhalb eines Stadtkörpers, wenn Verflechtungen über ihn hinweg nur schwer möglich sind. Zu dieser direkten linearen Trennwirkung entlang einer Strecke kommt die räumliche Trennwirkung; mit der die Beeinträchtigung räumlicher Verflechtungsansprüche erfasst wird.

Neben dem Zerschneiden oder Trennen von Nutzungen sind auch die Einschränkungen von Nutzungsansprüchen durch einen Verkehrsweg oder eine Verkehrsanlage zu nennen. Dies kann aufgrund von Platzansprüchen aus dem Verkehr ebenso geschehen wie durch die von ihm ausgehenden sonstigen Beeinträchtigungen: Unter Umständen können bestimmte Nutzungsansprüche im Umfeld des Verkehrs nur noch eingeschränkt erfüllt werden oder sie sind gar völlig auszuschließen.

Schließlich hat der Verkehr auf die einzelne Person einen besonderen Einfluss, indem er die Durchführung von Tätigkeitsprogrammen ermöglicht, unterstützt und erleichtert oder andererseits behindert, ja sogar Teile davon unmöglich macht. Die Folge äußern sich in diesbezüglichen Entscheidungsprozessen betroffener Personen im Hinblick auf die notwendige oder gewünschte Beibehaltung oder Änderung von Tätigkeitsorten bzw. Tätigkeitsprogrammen. Treten in größerem Umfang Änderungen beispielsweise durch Umzüge in eine weniger belastete Umgebung auf, so spricht man auch von sozialer Segregation, wenn damit Umschichtungen in der Sozialstruktur verbunden sind. Die Gründe für eine soziale Segregation müssen natürlich nicht immer bzw. ausschließlich in der verkehrlichen Situation liegen. Oft genug ist jedoch erwiesenermaßen der Verkehr ein ausschlaggebender Faktor.

Flächen werden vom Verkehr in vielfältiger Weise in Anspruch genommen. Im Zusam-

menhang mit dem Umfeld eines Verkehrsweges oder einer Verkehrsanlage ist mit dem Flächenanspruch des Verkehrs der Entzug oder zumindest die Einschränkung für andere Nutzungen gemeint. Denn der Anspruch an Fläche bezieht sich nicht nur auf die eigentliche Fläche des Verkehrsweges bzw. der Verkehrsanlage, sondern vielmehr auf einen Raum beiderseits des Verkehrsweges oder im Umkreis um eine Verkehrsanlage, in dem eine mehr oder minder große Nutzungseinschränkung vom Verkehr ausgeht. In diesem Zusammenhang spielt die „Kette" Emission – Translation – Immission – Wirkung bei Lärmbelastungen und verkehrsbedingten Schadstoffen eine wichtige Rolle. Ob Nutzungseinschränkungen oder Nutzungsausschlüsse vorliegen, hängt mit der Sensibilität des Umfeldes bzw. der Nutzung zusammen. Die Art der Flächennutzung sowie die bereits vorhandenen Vorbelastungen spielen zur Einschätzung dieser Sensibilität eine besondere Rolle.

Standorte zur Durchführung bestimmter Aktivitäten sind sowohl für den Personen- als auch für den Wirtschafts- und Güterverkehr hinsichtlich ihrer Erreichbarkeit von besonderer Bedeutung. Die Geometrie und Qualität des Wegeangebotes, die spezifische Erschließung durch öffentliche Verkehrsmittel, Besonderheiten der Rad- und Fußwegesysteme haben in Städten und Regionen in der Vergangenheit für überwiegend gute, teilweise aber auch sehr unterschiedliche Standortqualitäten gesorgt. Der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur hat das für bestimmte Standorte zwar zu relativ guten Erreichbarkeiten geführt; in manchen Fällen hat sich die Standortgunst durch starke bzw. gestiegene Verkehrsnachfrage, zumal wenn sie die Leistungsfähigkeit der angebotenen Verkehrsinfrastruktur übersteigt zu bestimmten Zeiten allerdings eher zum Nachteil verändert. Zu viele Fahrzeuge behindern sich gegenseitig: Aus dem Standortvorteil erwächst ein Nachteil. Ein Ausweichen auf andere Standorte erzeugt möglicherweise neue, zum Teil unerwünschte oder mit anderen nachteiligen Folgen verknüpfte Raumstrukturen, z.B. durch Ausweichen von Industrie- und Gewerbeflächen an den Rand der Städte und der Ballungsräume oder gar ganz „aufs Land". Ein Ausweichen auf andere Verkehrsmittel – sofern das überhaupt möglich ist – stößt in aller Regel sehr bald auf andere Limitierungen.

Die in Abbildung 3.3 weiteren genannten Indikatoren wie Lagegunst und Bedienungsniveau sind spezielle Ausprägungen der Standortgunst. Sie geben aus Sicht eines Standortes einerseits die Größe des direkten Kommunikationsfeldes oder des Einzugsbereiches an einerseits ist (Lagegunst) und andererseits die Qualität, mit der dieses Gebiet erschlossen ist (Bedienungsniveau). Dem steht die Qualität des Standortes selbst gegenüber, die sich beispielsweise durch das angebotene Nutzungspotential (Größe und Vielfalt) beschreiben lässt.

Die Umwelt wird vom Verkehr durch verkehrsinduzierte Schadstoffe beeinflusst, die in unterschiedlicher Weise und in verschiedenen Komponenten auftreten und die unterschiedliche toxikologische Wirkungen aufweisen (Schadstoffimmissionen, Lärm). Im Gegensatz zu vielen der bereits beschriebenen Wirkungen sind diese Wirkungen immer negativ; sie können günstigenfalls durch spezifische Maßnahmen in der Planung gemildert werden, so dass in einer Gesamtbilanz, d.h. beispielsweise in einer Gegenüberstellung von Vergleichsfall zu Planungsfall, auch positive Beiträge vermerkt werden können. Der Gesetzgeber seinerseits behandelt diesen Bereich durch vielfache Gesetze und Verordnungen bisher noch weitgehend nach nationalem Recht (z.B. Bundesimmissionsschutzgesetz), um die negativen Wirkungen in Grenzen zu halten; zukünftig erhält hier das EU-Recht die prägende Bedeutung.

Einen großen Einwirkungsbereich des Verkehrs stellt das „Stadtklima" dar, das einerseits

durch den Verkehrsablauf in Form von Emissionen beeinflusst wird (z.B. potentieller Sommersmog infolge hoher Ozon-Konzentrationen, die durch starke Sonneneinstrahlung und Stickoxid-Emissionen, an denen vor allem der Verkehr beteiligt ist, entstehen können) und das andererseits ganz wesentlich durch den Verkehrsweg oder die Verkehrsanlage selbst geprägt wird. Diese wirkt durch ihre Führung, Lage und Größe mehr oder weniger direkt auf das Stadtklima ein. Das Zerschneiden von Luftschneisen, über die Frischluft in die bebauten Bereiche geführt wird, die Versiegelung des Bodens, die zu einem erhöhten Wasserabfluss führt, die Gestaltung des Straßenumfeldes ohne Grün, die Führung einer Hauptverkehrsstraße in einem offenen Betontrog oder die Ausprägung von Straßenschluchten infolge des Verkehrsweges sind nur einige Beispiele für diese Wirkungsgattung. Da das Stadtklima auf das Befinden der Bewohner in der Stadt in vielfacher Weise Einfluss nimmt, muss diesem Aspekt bei der Verkehrsplanung im Zusammenhang mit der Bauleitplanung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. So hat man aus Untersuchungen Abhängigkeiten zwischen der Bauweise (geschlossen, aufgelockert, Anzahl Geschosse, Dachform), der Straßencharakteristik, der Verkehrssituation sowie der Windbelastung und der Verteilung der Immissionskonzentration der jeweiligen Schadstoffe im Straßenraum ableiten können.

Die Befunde sind in quantitativer Hinsicht eindeutig: Je mehr ein Luftaustausch beispielweise durch die Art der Bauweise (z.B. quer zur Hauptwindrichtung, Bildung von Leerräumen oder toten Winkeln im Straßenraum) behindert wird und je stärker die Emissionen des Straßenverkehrs infolge des Verkehrsablaufs sind, umso höher ist die Immissionskonzentration. Eine hohe Immissionskonzentration wirkt sich auf alle, die davon betroffen sind (Menschen, Tiere, Pflanzen, Bauwerke), äußerst negativ aus. Neben der Luftverunreinigung selbst können Beeinträchtigungen durch Temperaturerhöhungen und sommerlichen Smog entstehen.

Die Wirkungen des Verkehrs auf den Bereich „Umwelt/Umfeld“ sind nicht in vollem Umfang quantifizierbar. Dennoch müssen sie wegen ihrer besonderen Bedeutung bei Bewertungen oder Beurteilungen einbezogen werden. Auch dann, wenn bestimmte Verkehrswirkungen „nur“ qualitativ beschrieben werden können, ist ihnen im Rahmen von Gesamtbeurteilungen der notwendige Raum zu geben.

Durch die Verwendung eines Verkehrsmittels für einen Verkehrsvorgang entsteht für den Nutzer ein individueller Nutzen, indem von ihm eine bestimmte Aktivität an einem Ort seiner Wahl ausgeübt werden kann. Solange der

Abb. 3.4 Verkehrswirkungen auf den Verkehr selbst. (Eigene Darstellung)

Einzelne eine Wahlmöglichkeit zwischen mehreren Verkehrsmitteln hat, wird er die jeweiligen Nutzen der verschiedenen infrage kommenden Verkehrsmittel bei seiner Entscheidung berücksichtigen. Dieser Nutzen ist ganz wesentlich durch Parameter bestimmt, die die Benutzung des jeweiligen Verkehrsmittels kennzeichnen, und diese lassen sich als Wirkungen der Verkehrsnachfrage und des Verkehrsangebotes auf den Verkehr selbst beschreiben. Die wesentlichen Einflussbereiche können dabei unter den Begriffen

– Verkehrsablauf, Fahrkomfort
– Verkehrssicherheit und
– Nutzerkosten

zusammengefasst werden.

Jeder Einzelne misst bei der Entscheidung für ein bestimmtes Verkehrsmittel der „erlebten" bzw. potentiell erreichbaren Geschwindigkeit erfahrungsgemäß eine individuelle Wertschätzung zu. Im fachlichen Bereich wird häufig die mittlere Reisegeschwindigkeit als Maßstab für die Qualität von Verkehrsabläufen herangezogen, dieser Ansatz findet demzufolge auch in entsprechenden Regelwerken Berücksichtigung (z.B. in den Richtlinien für die Anlage von Straßen, RAS-Q (FGSV, 1996) sowie im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, HBS (FGSV, 2001)). Für Nutzer sind häufig auch erzielbare bzw. erwartbare Reisezeiten von vorrangiger Bedeutung; die verschiedenen Zeitaufwände für eine Fahrt, im öffentlichen Verkehr z.B. für: Zugang, Wartezeit, Beförderungszeit, Umsteigezeit etc. werden von den Individuen zudem unterschiedlich gewichtet. Insofern ergeben sich offensichtlich Problematiken im Systemvergleich beispielsweise zwischen Motorisiertem Individualverkehr (MIV) und Öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV). Im Bereich des ÖPNV wurden bzw. werden vielfältige Anstrengungen unternommen, um situationsbezogen konkurrenzfähige Reisegeschwindigkeiten zu erzielen.

Die Zusammenhänge zwischen Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot auf den Verkehrsablauf im MIV können durch die klassischen Parameter Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Verkehrsdichte für eine Netzstrecke und durch Wartezeiten oder Aufenthaltszeiten an Verkehrsknoten beschrieben werden. In der Regel kommt es jedoch nicht auf die Wirkungen in einzelnen Netzelementen an, sondern auf die Gesamtwirkung, die die auf einer Route erfahrenen Zeitaufwände in entsprechenden Kenngrößen ausweist. Derartige Kenngrößen sind z.B. Reisegeschwindigkeit, Zeitaufwand, Wegeaufwand und Komfort, der letztlich als Ausdruck für den Auslastungsgrad im Netz aufgefasst werden kann. In diesem Zusammenhang wird auch in Deutschland nunmehr das so genannte Konzept des „Level of service" verwendet (vgl. HBS (FGSV, 2001)).

Die Verkehrssicherheit ist ein weiteres Merkmal des Verkehrs, das aus Verkehrsfluss und aus dem Umfeld des benutzten Verkehrsweges sowie aus weiteren Einflussgrößen abgeleitet werden kann. Verkehrssicherheit kann ausgedrückt werden durch problematische Situationen, die vom allgemeinen Risiko über konkrete Konfliktsituationen bis hin zu Unfällen reichen, wobei sich das Maß der Verkehrssicherheit üblicherweise an den Unfällen orientiert. Da sich ein völlig unfallfreier Zustand praktisch nicht erreichen lässt, kann es bei keinem Verkehrssystem die absolute Verkehrssicherheit geben. Die Gefährdung von Leben und Gesundheit durch Unfälle stellt allerdings eine der augenfälligsten Folgen des Verkehrs dar; insofern kommt hier der Ausschöpfung von „Sicherheitspotentialen" durch vielfältige Anstrengungen und Maßnahmen besondere Bedeutung zu.

Unfälle im Straßenverkehr werden nach festgelegten Regularien statistischen Erfassungen unterzogen und können daher in vielfältiger Weise ausgewertet werden.

Verkehrssicherheit wird üblicherweise über

spezifische Kenngrößen beschrieben, wobei die registrierten absoluten Unfallzahlen in Beziehung zu anderen Größen gebracht werden, beispielsweise:

- zum Straßentyp, zur Straßenabschnittslänge, zum Umgebungstyp, zur Verkehrsstärke, zur Verkehrsmischung, zur Verkehrsleistung, zur Art der Verkehrsteilnahme etc.
- nach Kategorien der Unfallschwere, wie vornehmlich nach Unfällen mit Sachschäden, mit Leicht- bzw. Schwerverletzten, mit Getöteten
- auf den Unfallhergang mit Differenzierungen nach Unfalltyp, Unfallart, Unfallursache.

In der Verkehrssicherheitsforschung, aber auch in der praktischen Arbeit zur Verbesserung der Verkehrssicherheit, bedient man sich derartiger Kenngrößen mit dem Ziel, diesbezügliche Wirkungen des Verkehrs weiter zu vermindern.

Es ist allgemeine Tatsache, dass innerhalb bebauter Ortschaften wegen der vielen Interaktionen von Benutzern des öffentlichen Raums (einschließlich des Straßenraums) erheblich mehr Unfälle auftreten als außerhalb bebauter Ortschaften, die sich zudem in ihrer Struktur deutlich voneinander unterscheiden.

63,9 Prozent aller Unfälle mit Personenschäden und 57,9 Prozent aller Unfälle mit schwerem Sachschaden ereigneten sich 2001 innerhalb von Ortschaften. Wegen der in der Regel niedrigeren Geschwindigkeiten innerorts entfallen „nur“ 26,7 Prozent der bei Unfällen Getöteten auf den Innerortsbereich.

Bei den häufigsten Unfallursachen liegt „zu schnelles Fahren“ mit 16,7 Prozent bei Unfällen mit Personenschäden an der Spitze, „Unfälle durch Einbiegen, Ein- oder Ausfahrten, Wenden“ und durch Unfälle durch „Missachtung von Vorfahrt, Verkehrsregelung“ sind mit jeweils 12,6 Prozent vertreten (vgl. BMVBW, 2003a). Im Zusammenhang mit den Folgen von Straßenverkehrsunfällen geht es darum, die Zusammenhänge möglichst genau zu identifizieren, sie für eine wissenschaftlich fundierte Behandlung entsprechend zu kategorisieren und sie letztendlich in ihren Auswirkungen zu quantifizieren. Zu einer Demonstration der zeitlichen Entwicklung dieser Folgen eignen sich beispielsweise Zeitreihen über das Unfallgeschehen wie sie vom BMVBW (2003a) zur Verfügung gestellt werden. Aus derartigen Aufstellungen kann beispielsweise entnommen werden, dass die Anzahl der Getöteten im Straßenverkehr in Deutschland von 1970 (alte Bundesrepublik) von 19.193 bis 2002 auf 6.842 (alle Bundesländer) zurückgegangen ist. Interessante Vergleiche ergeben sich durch Gegenüberstellung der Daten zu anderen Kenngrößen, bspw. zu der Anzahl der Kraftfahrzeuge mit 16,8 Millionen im Jahre 1970 und mit 52,7 Millionen im Jahre 2003.

Die Verkehrssicherheitsforschung hat maßgebliche Beiträge für diese positive Entwicklung geleistet; die praktische Umsetzung in „Sicherheitsarbeit“ zur weiteren Minderung der Folgen vollzieht sich im behandelten fachlichen Umfeld auf drei Säulen:

- im Rahmen der Planung von Erhaltungs-, Um- und Ausbaumaßnahmen in kleinteiligen Netzen:
  Die aktuellen „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen“ ESN (FGSV, 2003) bieten konkrete Ansätze, um auf der Basis einer streckenbezogenen Unfallanalyse durch Vergleiche von rechnerischen durchschnittlichen Unfallkosten mit den tatsächlich festgestellten Unfallkosten ein so genanntes „Sicherheitspotential“ zu ermitteln.
- auf der Planungs- und Entwurfsebene von Strecken und Straßenzügen:
  Das bisher im internationalen Bereich aus mehreren Ländern bekannt gewordene Prinzip der so genannten „road safety audits“ ist für Deutschland durch die „Empfehlungen für Sicherheitsaudits an Straßen“ ESAS (FGSV, 2002) als formales standardi-

siertes Verfahren umgesetzt worden. Es geht dabei um die bestmögliche Berücksichtigung der Belange der Verkehrssicherheit. Zu diesem Zweck werden speziell qualifizierte bzw. geschulte Sicherheitsauditoren (vgl. Brannolte et al., 2004) eingesetzt; dabei handelt es sich um ein für Deutschland neues Betätigungsfeld für berufserfahrene Straßen- und Verkehrsingenieure.

– auf der Betriebsebene:
  Das Instrumentarium der örtlichen Unfalluntersuchung (vgl. auch Lipphard, 1998) wird für bestehende Straßen eingesetzt; unfallauffällige Bereiche werden dabei systematisch analysiert, um geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Unfallsituation ergreifen zu können.

Mit den drei aktuell entwickelten Komponenten kann somit eine durchgängige Behandlung der Problematik von der „ersten“ Planung bis in den Betrieb geleistet werden. Damit steht ein in sich geschlossenes Konzept im planerischen und betrieblichen Bereich zur Verfügung, um die Folgen des Verkehrs durch Unfälle weiter zu vermindern.

Eine weitere Gruppe der Wirkungen auf den Verkehr und seine Teilnehmer kann mit Nutzerkosten definiert werden. Die Nutzerkosten sollten die Kosten für eine Fahrt, d.h. für die Benutzung des Verkehrsmittels, des Verkehrsweges bzw. der Verkehrsinfrastruktur sowie die Kosten für die Verursachung etwaiger Abnutzung bzw. Schäden durch diesen Verkehrsvorgang ausmachen. Hiermit ist bereits die Problematik einer reellen Kostenzurechnung angedeutet.

Als Nutzerkosten fallen zunächst die Zeitaufwände für den Verkehrs- oder Transportvorgang an, die sich zumindest negativ auf das Zeitbudget auswirken, da während des Verkehrsvorganges andere Tätigkeiten nicht oder nur beschränkt ausgeübt werden können. Jedoch sind beispielsweise die Zeitkosten für einen Lkw-Fahrer relativ gut quantifizierbar, während die Zeitkosten für den Pkw-Selbstfahrer aufgrund der Heterogenität dieses Personenkreises schon schwieriger zu bestimmen sind. Es stellt sich die schwierig zu beantwortende Frage, ob beispielsweise die Zeitkosten für einen Fahrgast im ÖPNV, in der Eisenbahn oder im Flugzeug unterschiedlich angesetzt werden müssen, da dieser Personkreis von Fahraufgaben freigestellt ist und sich anderen Tätigkeiten widmen kann. Einer konkreten Beantwortung dieser Frage kann hier nicht nachgegangen werden.

Relativ einfach und dem gegenüber genau sind die Betriebskosten für ein individuell genutztes Fahrzeug bestimmbar. In der Praxis werden jedoch häufig die tatsächlichen Betriebskosten, die sich aus den fahrleistungsbezogenen Kosten für Kraftstoff, Reparatur und Unterhaltung und des Weiteren aus zusätzlichen Fixkosten sowie aus der Abschreibung des Kapitalaufwandes für das Fahrzeug ergeben, vom Nutzer gedanklich nicht oder nur teilweise angerechnet. Als Wirkung werden häufig nur die mit einer Fahrt offensichtlich direkt in Zusammenhang gebrachten Kosten wie beispielsweise für den Kraftstoff als so genannter „out-of-pocket“ Aufwand angesetzt.

Der vom Benutzer eines öffentlichen Verkehrsmittels zu entrichtende Fahrpreis kann einem Tarif entnommen werden. Er gilt – von Sondertarifen abgesehen – für jedermann. Die Nutzerkosten sind somit zwar ebenfalls einfach zu ermitteln, sie entsprechen jedoch nicht den tatsächlichen Kosten. Der Tarif wird aufgrund einer Mischkalkulation des Beförderungsunternehmens sowie aufgrund von sozialpolitischen Aspekten erstellt; insofern werden unterschiedliche Prinzipien wie „Verursacherprinzip“ und „Sozialprinzip“ miteinander vermengt; die Differenz zwischen den real entstehenden Kosten für eine Fahrt und dem tariflich verlangten Entgelt wird von der Allgemeinheit getragen. Es bleibt somit festzuhalten, dass auch die Fahrpreise im Öffentlichen

Verkehr nicht die realen Kosten für die Personenbeförderung darstellen.

Speziell im Güterverkehr entstehen weitere Kosten bei der Nutzung eines Verkehrsmittels. Die Standkosten ergeben sich z.B. aus verkehrlich bedingten Aufenthaltszeiten, in denen das zu transportierende Gut nicht aufgenommen, weiterbefördert oder abgeliefert werden kann. Es handelt sich dabei um verkehrlich bedingte „Ausfallzeiten", wenn z.B. durch Ankunftsverspätungen bestimmte Vorgänge nicht mehr erledigt werden können. Im Zusammenhang damit stehen auch Kosten durch etwaige Konventionalstrafen, wenn – verkehrlich bedingt – eine Ablieferung oder Abholung eines Gutes zu einem bestimmten Zeitpunkt (just-in-time) verhindert wird. Weitere Kosten können durch Schadenersatzansprüche entstehen, die aufgrund von Beschädigungen eines Gutes infolge des Verkehrsablaufs hervorgerufen werden.

Die Kosten für die Bereitstellung, Bereithaltung und Erneuerung der Verkehrswege und der Verkehrsanlagen sind den Nutzungen noch relativ gut zurechenbar. Dem Nutzer wird bei der Straße dazu fahrleistungsbezogen bzw. bezogen auf den Kraftstoffverbrauch die Mineralölsteuer abverlangt, zudem sind differenzierte Kraftfahrzeugsteuern zu entrichten. Es herrscht allgemein weitgehend Konsens in der Auffassung, dass die privaten Pkw die Wegekosten mehr als decken, die Lkw jedoch nach bisheriger Verfahrensweise weniger aufbringen, als durch sie tatsächlich an Kosten entsteht; vor diesem Hintergrund ist die Einführung einer fahrleistungsbezogenen Mautregelung für schwere Lkw auf Autobahnen zu sehen.

Während die Wegekosten noch weitgehend erfassbar sind, sind weitere Kostenkomponenten wesentlich schwieriger erfassbar bzw. nur eingeschränkt quantifizierbar. Grundlage für eine solche Quantifizierung müssten die für den durch den Verkehr angerichteten „Gesamtschaden" aufzuwendenden Kosten sein. Immerhin sind Versuche einer solchen Schätzung mit verschiedenen Ansätzen unternommen worden. Danach ergeben sich jährliche Schätzwerte von über 50 Milliarden Euro, die heute in Deutschland nicht mit den Verursachern verrechnet werden und somit als externe Kosten gelten. Das „Grünbuch" der EU-Kommission nennt Werte von 250 Milliarden Euro als so genannte externe Kosten, von denen 90 Prozent auf den Straßenverkehr entfallen (vgl. INFRAS/IWW, 1995 und EU-Commission, 1995).

Hier wird also eine Unterscheidung nach „extern" bzw. „intern" vorgenommen. Unter den internen Folgen können dabei diejenigen Kosten bzw. Ersparnisse verstanden werden, die bei den Verkehrsteilnehmern selbst anfallen, also von diesen bezahlt bzw. bei Betrachtung von Alternativen auch eingespart werden. Demgegenüber werden mit externen Folgen diejenigen Kosten bzw. Ersparnisse bezeichnet, die von den Verkehrsteilnehmern zwar verursacht, ihnen jedoch nicht (zumindest nicht ausschließlich) zur Last gelegt werden bzw. zu gute kommen.

Bei der Unterscheidung externer und interner Folgen ist zu berücksichtigen, dass die Einteilung in diese beiden Kategorien nicht unumstößlich vorgegeben ist. Hier bestehen vielmehr politische Gestaltungsmöglichkeiten, indem durch Subventionen (z. B. für öffentliche Verkehrsmittel) interne Kosten externalisiert oder durch Abgaben (z.B. Mineralölsteuer) externe Kosten internalisiert werden können. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht sind sowohl die internen als auch die externen Kosten und Ersparnisse einzubeziehen.

Es ist daher davon auszugehen, dass bezogen auf bisherig extern verbleibende Umweltfolgen zukünftig auch hierfür zunehmend „Preise" in Form von Steuern oder Abgaben verlangt werden, die stärker ins Kalkül ziehen, dass das Gut Umwelt nicht beliebig „verfügbar" ist.

Literatur

Baum, H., Behnke, N. Chr. (1997): Der volkswirtschaftliche Nutzen des Straßenverkehrs, Frankfurt/M.

Brannolte, U.; Baselau, Ch.; Fischer, L. (2004): Ausbildung von Auditoren für das Sicherheitsaudit von Straßen im Außerortsbereich – ein Erfahrungsbericht, Kirschbaum-Verlag, Straßenverkehrstechnik, Bonn

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.)
- BMVBW (1990): Verkehr in Zahlen. Bonn
- BMVBW (2003a): Verkehr in Zahlen. Bonn
- BMVBW (2003b): Bundesverkehrswegeplan BVWP 2003. Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmethodik. Berlin

EU-Commission (1995): Towards Fair and Efficient Pricing in Transport, Brüssel

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:
- FGSV (1990): Merkblatt für Umweltverträglichkeitsstudien (MUVS)
- FGSV (1996): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q)
- FGSV (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS – Entwurf 1997
- FGSV (2001): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)
- FGSV (2002): Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen (ESAS)
- FGSV (2003): Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)

INFRAS/IWW (1995): External Effects of Transport, Paris

Lipphard (1998): Unfallkommission von innen – Informationen und Empfehlungen für Unfallkommissionen, Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr, Nr. 37, Köln

Maerschalk, G. (1999): Erhaltungsbedarf für Bundesfernstraßen, Landstraßen und Kommunalstraßen, München

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (MUV B.-W.) (Hrsg.) (1997): Auf dem Weg. (Broschüre) Stuttgart

Ruske, W.; Huber, F. et. al. (1990): Fortschreibung des Verfahrenskonzeptes zur Bewertung städtebaulicher Effekte bei der Bundesfernstraßenplanung, Heft 580, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bonn

3.2 Städtebauliche Folgen

3.2.1 Verkehr und städtisches Leben

Man stelle sich einen Menschen vor, der vor 100 Jahren gelebt hat und der heute in einer beliebigen Stadt wiedererwachen würde. Er würde sich verwundert die Augen reiben. Das Aussehen der Menschen und der Gebäude würde ihn überraschen, die Höhe mancher Gebäude würde ihn beeindrucken, völlig verwirren würde ihn aber selbst in kleinen Städten der Verkehr. Von allen Veränderungen hat sicher das Anwachsen des Individualverkehrs die größten Auswirkungen auf das städtische Leben.

Zwar sagen wir auch heute noch, „ich wohne in der ... Straße". Kinder gingen noch vor einigen Jahrzehnten zum Spielen „auf die Straße". Tatsächlich ist es durch das Anwachsen des Verkehrs weitgehend unmöglich geworden, Straßen als Ort des Lebens, als Ort des Wohnens zu verstehen. Man wohnt selbstverständlich an der Bahn, neben der Auto- oder Eisenbahn. Früher fand ein nicht unbeträchtlicher Teil des Lebens „in" der Straße statt und davon zeugt noch unser Sprachgebrauch.

In einer sehr aufschlussreichen Untersuchung hat der amerikanische Verkehrsplaner Appleyard (1981) an drei baulich völlig gleichen Straßen in San Francisco die Auswirkungen des Straßenverkehrs beobachtet (siehe Abb. 3.5). Durch Verkehrslenkungsmaßnahmen war die eine Straße hoch belastet, eine andere Straße erhielt eine mäßige Verkehrsbelastung und eine dritte bekam nur sehr geringen Verkehr. Allein die graphische Darstellung der Beziehungen von einer Straßenseite zur anderen macht deutlich, welch gewaltige Einbuße des Kommunikationsverhaltens in einer Straße durch die zerschneidende Wirkung des Verkehrs entsteht. Ab einer bestimmten Verkehrsbelastung entfällt das Verbindende von einer Straßenseite zur anderen, es überwiegt das Trennende des Verkehrs. Diese Trennung setzt sich in größerem Maßstab in der Gesamtstadt fort. Verkehrsbänder zerschneiden städtische Zusammenhänge, selbst technisch aufwendige Maßnahmen können diese Trennung kaum überwinden. Zebrastreifen und Ampelkreuzungen sind meist unzulängliche Hilfsmittel, Unter- oder Überführungen können die Trennwirkung reduzieren, aber nicht aufheben.

Mit der Einfügung eigener Ebenen für Fahrverkehr und Fußgänger versucht man, die Zäsuren im Stadtgefüge zu überwinden, mit dem Preis neuer Trennungen, diesmal in der Vertikalen. Die verbindende Funktion des Verkehrs führt aber nicht nur zur Trennung von Straßenseiten oder Quartieren, sie führt auch dazu, dass städtische Funktionen separiert werden. Die Trennung von Arbeitsplatz und Wohnung wurde erst möglich durch die neuen Verkehrsmittel, die die Verbindung über große Strecken in kurzer Zeit und mit wenig körperlichem Aufwand ermöglichen. Die Trennung geht noch viel weiter: Das Wohnen auf dem Lande, ohne Verzicht auf die Teilnahme am städtischen Leben – früher nur einer besonders privilegierten Schicht vorbehalten – wird heute mehr und mehr realisierbar. Das Freizeitverhalten mit Zweitwohnungen, Feriendomizilen, Überwintern in klimatisch bevorzugten Gegenden hat an Exklusivität verloren. Was früher nur wenigen Weltbürgern zugestanden wurde, wird heute als Massenbewegung zwar kritischer gesehen, kann oder soll man aber diese Entwicklung wieder zurückdrehen?

Die neuen Verkehrsmittel beeinflussen unser ganzes Leben entscheidend. Die Stadt von heute ist nicht mehr vergleichbar mit der Stadt der Vergangenheit. Dies drückt sich sehr eindeutig in der Entscheidung aus, wie man gerne wohnen möchte. Vor 100 Jahren war die beste

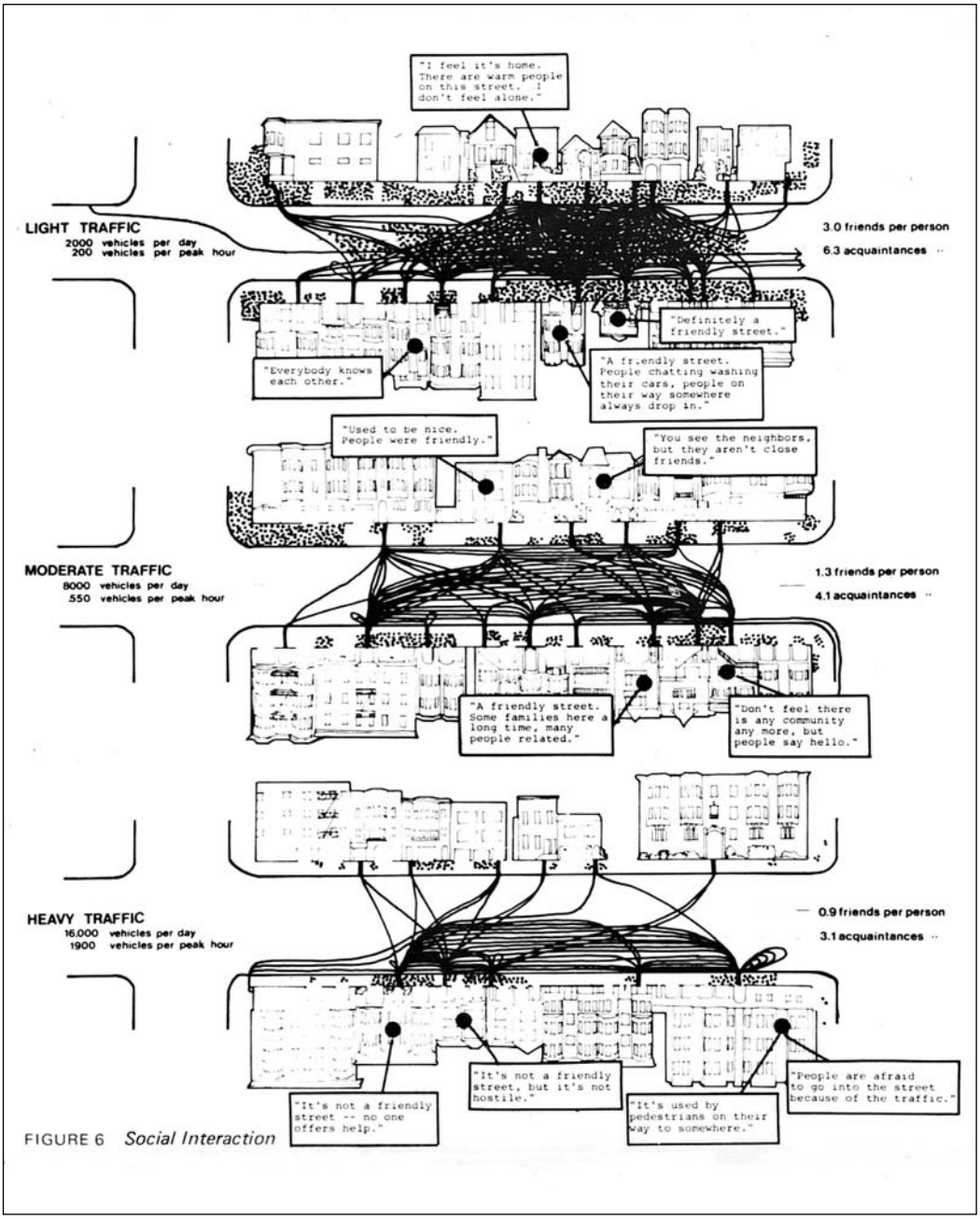


Abb. 3.5 Unterschiedliche Verkehrsbelastungen führen bei sonst gleichartigen Straßen in San Francisco zu einschneidenden Veränderungen im sozialen Interaktionsfeld der Anwohner. (Appleyard, 1981)

Wohnlage in einer Stadt die „Bel Etage", möglichst auf eine Hauptstraße orientiert, je unbedeutender die Straße, desto billiger waren die Wohnungen. Wohnen im zweiten, dritten oder vierten Hinterhof bedeutete sozialen Abstieg, unter dem Dach wohnte nur der „arme Poet". Heute wird ein Gartenhaus im Innenhof einer Blockrandbebauung vielfach einer noch so repräsentativen Wohnung im „Vorderhaus" vorgezogen. Ein „Penthouse", möglichst vom Verkehrslärm abgeschirmt, ist eine echte Alternative zum Haus im Grünen. Der Ausblick auf eine belebte Straße hat im Zeitalter des Fernsehens an Faszination erheblich eingebüßt, der Bezug zur Straße ist kaum gefragt. Die unmittelbare Nähe zu einer leistungsfähigen Straße ist für gewerbliche Nutzungen ein Vorzug, nicht für das Wohnen. Dagegen ist der Anschluss an ein öffentliches Verkehrsmittel auch heute noch oder vielmehr wieder ein gutes Verkaufsargument für Wohnungen.

Das Hauptargument gegen das Wohnen an städtischen Straßen ist die Lärmbeeinträchtigung. Nach landläufiger Vorstellung ist das Wohnen im Grünen vor den Städten automatisch mit der Vorstellung verbunden, dass es hier auch ruhig sei, die Flucht aus der Stadt wurde damit begründet. Mit zunehmender Besiedelung von Randgebieten wächst aber auch dort der Verkehr, so dass sich viele vorstädtische Bereiche im Lärmpegel kaum von ruhigen innerstädtischen Straßen unterscheiden. Wenn es gelingt, durch Verkehrslenkungsmaßnahmen Wohnstraßen vom Durchgangsverkehr zu entlasten, können selbst in dicht bebauten Gebieten Lärmwerte erreicht werden, die durchaus vergleichbar sind mit den Lärmpegeln in Vorstädten. Damit bekommt die innerstädtische Wohnlage eine neue Qualität und Wertschätzung.

Die Möglichkeit, viele Wege wieder zu Fuß zurückzulegen oder wichtige Einrichtungen mit dem Fahrrad auf kurzer Distanz zu erreichen, gleichzeitig eine gute Anbindung an ein leistungsfähiges, öffentliches Massenverkehrsmittel vorgehalten zu bekommen, macht den innerstädtischen Standort attraktiv. So ist eine Pendelbewegung zu beobachten, die vor allem bestimmte Gruppen von Menschen wieder zunehmend den Vorteil der stadtnahen oder innerstädtischen Wohnung erkennen lässt.

Eine ähnliche Entwicklung ist auch bei den Einrichtungen für den Handel zu beobachten. In der traditionellen Stadt war der Mittelpunkt städtischen Lebens und Handelns der Marktplatz, gelegen am Schnittpunkt der wichtigsten Verkehrsbeziehungen. Mit zunehmender Verkehrsdichte wurden die Märkte von ihren herkömmlichen Standorten vertrieben und wanderten mehr oder weniger in eine Randlage. Aus der Erkenntnis, dass der Umsatz eines Geschäfts nicht davon abhängt, wie viele Fahrzeuge an einem Laden vorbeifahren, sondern wie viele Kunden den Laden betreten können, entstanden zunächst in den USA, danach in Europa „Shopping Center", die gut für den Individualverkehr erreichbar, vor allem aber ein großes Angebot an Parkplätzen vorhielten. Da in den Innenstädten kaum Flächen für solche Einrichtungen zur Verfügung standen, wanderten diese sehr flächenintensiven Nutzungen an die Ränder der Städte. Die katastrophalen Folgen dieser Entwicklung sind bekannt. Ähnlich wie beim Wohnungsproblem beobachten wir auch hier eine Umkehrung des Trends. Auch ein noch so gut ausgestattetes Einkaufszentrum kann die Attraktivität des vollen Lebens einer Innenstadt nicht ersetzen. Die Stadt als Lebens- und Erlebnisraum hat sich zumindest in Europa behauptet. Sicher wird es ein Nebeneinander der verschiedenen Formen des Handels geben. Die Zunahme der Einzel- und Großhandelsflächen wäre in den meist historisch geprägten Innenstädten nicht ohne gravierende Eingriffe zu bewältigen. Ein sich gegenseitig ergänzendes Angebot, differenziert nach Groß- und Einzelhandel, lang- und kurzfristigem Bedarf und nach qualitativem Sorti-

ment ist erforderlich. Die unterschiedlichen Angebote der Innenstadt- und Stadtrandlagen sollen sich dabei ergänzen und nicht konkurrieren. Die Entwicklung integrativer Verkehrssysteme mit optimalem Anschluss an den öffentlichen Verkehr und den Individualverkehr können eine symbiotische Koexistenz entschieden fördern.

Neben den Auswirkungen der vielfältigen neuen Verkehrsmittel auf das Wohnen und auf den Handel beobachten wir gleichermaßen schwerwiegende Veränderungen im Freizeitverhalten.

Der Osterspaziergang vor die Tore der Stadt wurde abgelöst von der Autoschlange, die sich mit erschreckender Regelmäßigkeit immer wieder in Bewegung setzt. Die Leichtigkeit der Ortsveränderung macht es heute vielen möglich, ihren Aktionsradius gewaltig auszudehnen, früher war dies nur wenigen Privilegierten möglich. Es ist sicher eine gute Strategie, wenn die Städtebauer versuchen, durch Angebote von Freizeiteinrichtungen in der Nähe der Wohnstandorte der Expansionstendenz entgegenzuwirken. Für Kurzerholungen, vor allem auch für weniger mobile Bevölkerungsgruppen, für Kinder und ältere Menschen müssen wohnungsnahe Erholungseinrichtungen geschaffen werden. Es ist aber ein Irrtum zu glauben, dass damit allein die Probleme des Freizeitverkehrs bewältigt werden könnten.

3.2.2 Verkehr und Stadtstruktur

Die Ausdehnung der Städte war über Jahrtausende begrenzt durch die Reichweite der Fußgänger. Die Stadtmauern setzten der städtischen Expansion enge Grenzen. Nachdem neue Waffen die Stadtmauern überflüssig machten, fiel der Zwang der Enge, die Städte konnten sich ausdehnen. Aber erst die Einführung von Straßen und Eisenbahnen machte die Ausdehnung der Städte über das Fußgängermaß hinaus möglich. Man konnte seinen Wohnstandort unabhängig vom Arbeitsplatz suchen.

Als Folge der zunächst schienengebundenen Massenverkehrsmittel verlief die Stadtentwicklung zunächst linear entlang der Bahnen, erst die Entwicklung des Automobils befreite von der Bindung an die Schiene und ermöglichte eine flächige Besiedlung. Die neu gewonnene Freiheit hatte natürlich auch ihren Preis, mit dem Begriff „Zersiedlung“ wird diese Entwicklung deutlich charakterisiert. Solange schienengebundene Verkehrsmittel die Hauptlast des Vorortverkehrs trugen, war durch die fußläufige Anbindung an die Haltestellen die bauliche Ansiedelung begrenzt, entsprechende Baudichten waren die Folgen. Erst die Erschließung durch das Auto ermöglichte die Besiedlung von bis dahin nicht zugänglichen Flächen und befreite vom Zwang zur Verdichtung, denn es standen nun neue, bisher unerreichbare Bereiche für die Bebauung zur Verfügung.

Die ökologischen und ökonomischen Probleme unbegrenzter Flächenausdehnung sind bekannt. Für den Verkehr bedeutet die extensive Besiedlung zunächst eine Dezentralisierung und damit eine entspannte Situation in den Außenbereichen, führt aber zu langen Wegen und damit zu einer Maximierung der Verkehrsbewegungen bis hin zum erforderlichen Zweitwagen. An den Knotenpunkten bringt das erhöhte Gesamtverkehrsaufkommen erhebliche und zum Teil nicht lösbare Schwierigkeiten. Entwicklungen, die bei dünn besiedelten Ländern noch akzeptabel sind, können in weiten Teilen eines dicht besiedelten Landes nicht hingenommen werden. Deshalb ist die erneute Hinwendung zum Massenverkehrsmittel nur logisch. Es ist ausgeschlossen, dem motorisierten Individualverkehr uneingeschränkte Rechte einzuräumen. Größere Siedlungsentwicklungen ohne Anschluss an Massenverkehrsmittel sind nicht vertretbar. Der Vorrang

des öffentlichen Verkehrs muss gesichert werden. Dabei aber von einem totalen Verzicht auf das Auto auszugehen, ist unrealistisch. Auch die Reduzierung der Stellplatzanforderungen in gut mit öffentlichem Verkehr erschlossenen Gebieten ist nicht unproblematisch. Bei Arbeitsstätten können solche Regelungen sinnvoll und auch durchsetzbar sein. Da es aber nicht möglich ist, den Bezug einer günstig zum öffentlichen Verkehr gelegenen Wohnung davon abhängig zu machen, dass der Bewohner auf Dauer auf ein eigenes Auto verzichtet, sind die Konsequenzen sehr sorgfältig zu prüfen.

Es ist in vielen Fällen gut möglich, für bestimmte Nutzungen die Anfahrbarkeit rigoros einzuschränken bzw. auf den notwendigen Wirtschaftverkehr zu beschränken, und damit die Nutzung des individuellen Verkehrsmittels zu reduzieren, wenn eine gute Anbindung an ein öffentliches Verkehrsmittel gegeben ist. Davon auszugehen, dass das Auto in absehbarer Zeit durch ein völlig anderes Verkehrsmittel ersetzt wird, wäre aber unverantwortlich.

3.2.3 Stadtbild

Der moderne Verkehr beeinflusst nicht nur das Leben in Stadt und Land ganz erheblich, er bestimmt weitgehend die Struktur unserer Siedlungen, er hat aber auch einen ungeheuren Einfluss auf die Gestalt unserer baulichen Umwelt. Das Stadtbild wird vom visuellen Eindruck des modernen Stadtverkehrs überlagert. Fotos von schönen Stadtbildern werden vorzugsweise dann gemacht, wenn durch glückliche Umstände die Autos fehlen. Ästhetische Beurteilungen sind immer relativ und zeitabhängig. In den zwanziger Jahren gab es noch Visionen von Städten, in denen der Großstadtverkehr eine dominierende Rolle spielte. Heute wird der Einfluss des Stadtverkehrs auf das Stadtbild vorwiegend negativ gesehen, obwohl uns Städte ohne die Attribute des modernen Lebens eigenartig tot und grau erscheinen. Wenn selbst in weitgehend in ihrer baulichen Substanz erhaltenen Altstädten der Verkehr mit seinen Nebenwirkungen – fahrende und parkende Autos, Hinweisschilder, Straßenbeleuchtungen – schon wesentliche Veränderungen im Erscheinungsbild bewirkt, so sind die Veränderungen in Neubaugebieten oder in nach neuen Grundsätzen wieder aufgebauten Städten noch umfassender.

Entscheidend für die räumliche Qualität des Stadtbilds ist die Proportion von Straßenbreite und Gebäudehöhe und deren absolutes Maß. Vermehrtes Verkehrsaufkommen führt zwangsweise dazu, die Zahl der Fahrspuren zu vermehren und entsprechende Flächen für den ruhenden Verkehr zu schaffen. Die Ausweitung des Straßenraumes ist die Folge. In alten Städten bewundern wir, wie durch Überlappungen, Überbauungen, Krümmungen aus einer Gasse ein Raum, aus einer Straßenkreuzung ein saalartiger Platz entstand. Durch bewusste Ausbildung der begleitenden Fassaden und der Traufen wurden die Zonen zwischen der Bebauung nicht als Resträume behandelt. Viele dieser Freiräume wurden zu Festräumen, bei denen im Gegensatz zum Innenraum nur die Decke durch das Himmelsgewölbe ersetzt wurde. Die Forderung nach zügiger Führung des Verkehrs reißt die Ecken auf, in empfindlichen Altstädten entstanden durch solche Maßnahmen einschneidende Qualitätseinbußen der räumlichen Wirkung. Das Gefühl der Geborgenheit, ein wesentliches Charakteristikum beliebter Freiräume, ging verloren.

Die Verbreiterung von Straßen ist nicht ein Phänomen unserer Zeit, in seinem Buch über mittelalterliche Stadtbaukunst in der Toskana schreibt Braunfels (1953): „Im Florentiner Statut von 1322 lesen wir, dass ‚um den Dekor und die Annehmlichkeiten der Stadt und des Landgebietes von Florenz durch schöne und gerade Einfallstraßen zu vermehren und den

Kaufleuten und Bürgern, die Korn und Mehl aus den Gebieten von Mucello und Romandoli bringen, freien und unmittelbaren Zugang zu der verehrungswürdigen Loggia von Or San Michele zu ermöglichen ...' man eine schnurgerade Straße von einem Tor bis zu dem gegenüberliegenden erbauen solle. In Siena wird die Straße von der Porta Camollia zur Fonte Becci erweitert, weil diese Straße hübsch ist und von Bürgern wie von Fremden viel begangen wird." Begründet wurden die Maßnahmen zur Verbreiterung von Straßen im Trecento durch praktische, verwaltungstechnische, aber auch rein ästhetische Zielsetzungen. Die Bedeutung des Verkehrs hat man nie unterschätzt. Dass die Begradigung und Aufweitung von Straßen ausgerechnet in den herrlichen Städten der Toskana ein besonderes Anliegen war – Städte, die wir als besonders malerisch und urban empfinden – soll uns zu denken geben.

Selbst Dante setzte sich mit solch profanen Themen auseinander, als er am 28. April 1301 den Auftrag zur Überwachung des Baues einer Straße erhielt und sich auch dieser Aufgabe unterzog, wobei es das erklärte Ziel war, die Straße relativ breit und gerade zu machen, sie sauber zu pflastern und störende Einbauten zu beseitigen.

Die angemessene Breite der Hauptstraßen in Florenz im 14. Jahrhundert war allerdings nach Braunfels 12 Ellen oder 7 m, die Mindestbreite war 6 Ellen, also nur 3,50 m. Dazu kam, dass die bewegte Form des Geländes, das Temperament der Bewohner und die Zeit in den schönen italienischen Städten immer wieder für einen Ausgleich zwischen der strengen Forderung nach Regelmäßigkeit und den Anforderungen des Stadtlebens sorgten.

Auch zur Zeit der Kutschen gab es schon breite Straßen. Die Champs Elysées hat immerhin die zehnfache Breite einer florentinischen Hauptstraße, der Charakter der Straße war ganz auf das Fahren in der Kutsche abgestellt. Die begleitende Randbebauung trat hinter Baumreihen zurück. Allerdings war die Breite der Straße nicht durch das Verkehrsaufkommen bestimmt. Ansprüche an Repräsentanz, die Eignung als Aufmarsch- und Paradeweg, waren für die Dimensionierung maßgebend, keineswegs die Anzahl der unterzubringenden Fahrspuren.

Es gab aber auch schon die Aufteilung des Straßenraums in Fahrspuren und begleitende Gehwege. Nach dem Vorbild der Pariser Boulevards wurden Baumreihen gepflanzt, die Wiener Ringstraße erhielt parallele Anlieferspuren. Solche Repräsentationsstraßen waren die Ausnahme, sie beeinflussten zwar sehr bestimmend die Stadtstruktur, waren aber für das städtische, insbesondere das bürgerliche Leben weniger bedeutend. Mit dem gewaltigen Anwachsen des Individualverkehrs durch das Automobil wuchs der Platzbedarf für den fließenden und den ruhenden Verkehr sprunghaft. Gleichzeitig veränderte sich auch die Zuordnung der Bebauung zur Straße. Zwar gab es immer geschlossene und offene Baugebiete, aber ob sich die Häuser eng aneinander reihten oder in Abständen errichtet wurden, sie waren zur Straße orientiert. Erst der Zeilenbau brachte die bewusste Abwendung von der Verkehrsstraße, durch die Zwischenschaltung des Wohnwegs wurde dies möglich. In den zwanziger Jahren glaubte man, dass die Abkehr des Hauses von der Straße die logische Konsequenz des motorisierten Verkehrs sei. Man hoffte damit auch das damals schon vorhandene, wenn auch weniger kritisch eingeschätzte Problem der Störung durch Verkehrslärm zu lösen. Erst in den Nachkriegsjahren fand man durch Schallmessungen bestätigt, dass die zur Straße offene Zeilenbebauung den Verkehrslärm uneingeschränkt eindringen lässt, dass der Abstand von der Straße weit weniger bewirkt als eine konsequente Abriegelung durch Bebauung.

Durch eine Bebauung parallel zur Straße ist es wenigstens möglich, die der Straße abge-

wandte Seite weitgehend vor Lärm zu schützen. So erweist sich die lange Zeit verpönte geschlossene Blockrandbebauung unter dem Aspekt des Lärmschutzes als besonders vorteilhaft. Selbst Beeinträchtigungen in der Orientierung, Verschattung an den Ecken, Über-Ecken-Einsicht und Beeinträchtigungen der Durchlüftung nimmt man wieder in Kauf, um die inzwischen als besonders schwerwiegend empfundene Lärmbelastung zu reduzieren. Trotzdem bedeutet dies nicht ein Zurück zur Korridorstraße; auch wenn ein paar Meter mehr Distanz von der Straße akustisch kaum messbare Verbesserungen bewirken – das Gleiche gilt für Baumbepflanzungen –, so ist doch die aufgeweitete und von Baumreihen begleitete Straße der klassischen Korridorstraße in ihrer Wohnqualität entschieden überlegen. Allerdings sind der Belastbarkeit solcher Straßen enge Grenzen gesetzt. Nur durch ein hierarchisches System von Straßen für unterschiedliche Belastungen und damit auch unterschiedliche Anliegernutzungen sind Lösungen des Problems möglich. Dies bedeutet, dass im Gegensatz zur traditionellen Stadt ein weit stärker differenzierteres Straßennetz erforderlich wird.

Die Hauptverkehrsstraßen unterscheiden sich grundsätzlich auch in ihrer Gestalt von Anlieger- und Wohnstraßen. In vorhandenen Stadtstrukturen ist dies besonders schwer realisierbar. Durch Verkehrsberuhigungsmaßnahmen muss in Wohn- und Anliegerstraßen sichergestellt werden, dass nur die für den Straßentyp bewältigbare Belastung auftritt. Neben den Ansprüchen, die der Verkehr stellt, müssen auch alle übrigen Ansprüche der Nutzer Berücksichtigung finden. Dies wirkt sich auf die Gestalt von Erschließungsstraßen sehr weitgehend aus. Hier ist insgesamt eine positive Entwicklung zu beobachten.

Bei der notwendigerweise begrenzten Verkehrsbelastung solcher Straßen spielt die Zügigkeit des Verkehrsflusses keine Rolle. Man hat im Gegenteil erkannt, dass eine Verlangsamung des Verkehrs die Lärmbelastung, insbesondere aber die Sicherheit erhöht. Die meisten Argumente, die für den Stadtumbau zugunsten eines besseren Verkehrsflusses sprachen, gelten in Wohn- und Andienungsstraßen nicht oder nur bedingt. Wenn heute in verkehrsberuhigten Zonen bzw. Spielstraßen mit Pollern, Fahrbahnversetzungen und sonstigen Maßnahmen versucht wird, die gewünschte Beruhigung zu erreichen, so stellt sich die Frage, warum dies nicht besser mit den klassischen Elementen räumlichen Städtebaus angestrebt wird. Es sind dieselben Menschen, die sich einmal zu Fuß bewegen und dann wieder im Auto sitzen. Kein Klassenunterschied trennt sie mehr. Deshalb ist nicht einzusehen, warum nicht ein entspannteres Verhältnis zwischen den Verkehrsteilnehmern in ihrer unterschiedlichen Funktion eintreten sollte. Dies muss es wieder möglich machen, in einer bestimmten Straße zu wohnen und Kinder in solchen Straßen spielen zu lassen.

Andere Ansprüche gelten für Verkehrsstraßen. Die großzügig eingegrünte Haupterschließungsstraße bietet dem Autofahrer einen interessanten Stadteindruck, allerdings ist der Flächenanspruch groß und die Nutzbarkeit der begleitenden Grünstreifen durch die Störungen der Straße stark eingeschränkt. Die rationelle Einfassung der Hauptverkehrsstraßen mit Nutzungen, denen die Störungen durch die Straße zugemutet werden können, hat häufig zur Folge, dass ein optisch sehr unattraktives Erscheinungsbild entsteht. Ähnlich wie an den Eisenbahnzufahrten in unsere Städte reihen sich unerfreuliche Rückseiten. Lärmabriegelnde Einrichtungen – Lärmschutzwälle, Lärmwände – sind noch ein weites Feld der Gestaltung. Die Hauptverkehrsstraßen hinter unfreundlichen Mauern zu verbergen, ist zwar verständlich, dennoch sollten auch Autoinsassen nicht nur auf solche Mauern sehen müssen. Wenn man allerdings in Großstädten den

öffentlichen Verkehr nur im Untergrund abwickeln kann, muss auch dem störenderen Individualverkehr einiges zugemutet werden.

Bei Ortsdurchfahrten, die den oft sehr bestimmenden ersten Eindruck einer Stadt vermitteln, bei Haupterschließungsachsen, die zur Orientierung und zum Stadterlebnis entscheidend beitragen, ist aber nicht nur eine technische Lösung gefordert, auch gestalterische Aspekte spielen hier eine wichtige Rolle.

Die stärksten Auswirkungen auf das Stadtbild durch den Verkehr beobachten wir in den Stadtzentren. Ein moderner Autobahnknoten auf den mittelalterlichen Stadtkern einer Großstadt projiziert zeigt, dass die gesamte Fläche der alten Stadt überdeckt würde (siehe Abb. 3.6). Alle Versuche, die Städte gänzlich dem motorisierten Individualverkehr zu öffnen, sind gescheitert. Selbst in kleinen Städten leitet man die ursprünglich auf das Zentrum orientierten Verkehrswege an den Rändern ab. Damit eröffnet sich eine Möglichkeit, die stadtzerstörenden Auswirkungen des motorisierten Verkehrs zu bewältigen und vom menschlichen Maßstab geprägte Stadtstrukturen, die auf die Geschwindigkeit des Fußgängers und die räumliche Erfassbarkeit aus der Fußgängerperspektive abgestellt waren, zu erhalten oder wieder zu erreichen. Wie weit die Trennung von Fahrverkehr und Fußgänger zu gehen hat, ist von Fall zu Fall zu entscheiden. Es war sicher richtig, in einem ersten Schritt an besonders wichtigen Bereichen der Innenstädte eine strikte Trennung einzuführen, der weltweite Erfolg der Fußgängerzone bestätigt dies. Die Einrichtung von verkehrsfreien Zonen, die ganz dem Fußgänger zur Verfügung stehen, ist ein wichtiger Beitrag der letzten Jahrzehnte. Der nächste Schritt ist die Umsetzung der Erkenntnisse vom richtigen Umgang mit dem Auto von den Stadtzentren in die übrigen Bereiche der Stadt. Flächendeckende Verkehrskonzepte anstelle punktueller Lösungen, ein sinnvolles Gesamt-Verkehrskonzept mit Einbeziehung aller Verkehrsarten, eine vernünftige Arbeitsteilung zwischen Massenverkehr und Individualverkehr helfen nicht nur, Verkehrsprobleme zu lösen, sondern können auch einen entscheidenden Beitrag zur Gestaltung humaner Städte leisten.

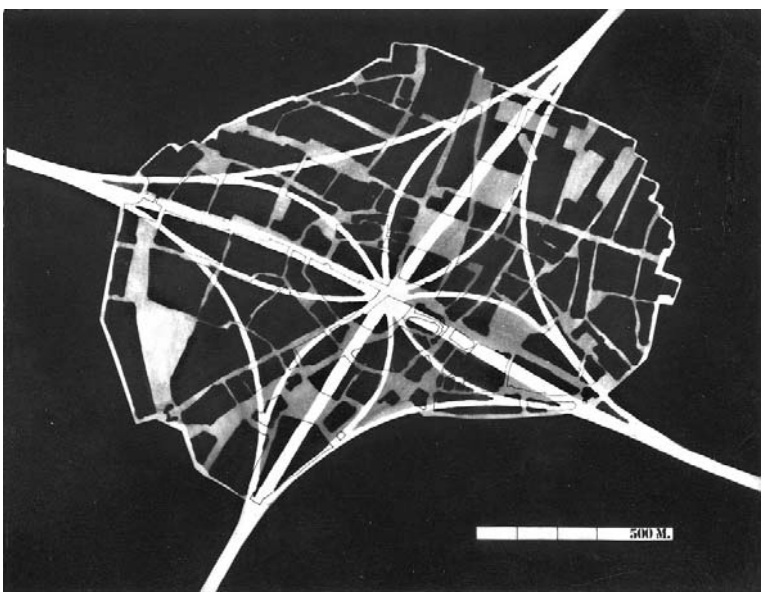


Abb. 3.6 Ein Autobahnknoten bei Würzburg über den Grundriss der Münchner Altstadt projiziert zeigt, dass die Verkehrsfläche ziemlich genau das Stadtbild ausfüllt

Parallel zu den wachstumsbedingten Verkehrsproblemen der Ballungsräume sind in manchen Regionen die Folgen der gegenteiligen Entwicklung zu beobachten. Durch die Mechnanismen der freien Marktwirtschaft, den ständigen Wandel der Gesellschaft und politische Randbedingungen verschieben sich die Entwicklungsschwerpunkte national und übernational. Ehemalige Wachstumsregionen müssen mit den „Altlasten" der entsprechend hoch entwickelten Infrasturktur wirtschaften. Nicht uneingeschränktes Wachstum bestimmt die Planungs- und Entscheidungsprozesse, sondern ein sinnvoller Umgang mit dem Status Quo, bis hin zum Rückbau. Gleichzeitig entstehen dadurch Freiräume, die die Chance bieten die Fehler der Vergangenheit zu beseitigen und den Umbau dieser Regionen gezielt zu steuern. Infolge der finanziellen Situation der betroffenen Regionen bedarf die Umwidmung der frei werdenen Flächen nicht selten neuer individueller Konzepte.

Literatur

Appleyard, D.: Livable Streets. University of California Press, Berkeley 1981.

Braunfels, W.: Mittelalterlicher Stadtbaukunst in der Toskana. Vgl. Gebr. v. Mann, Berlin 1953.

3.3 Analyse von Umweltwirkungen

3.3.1 Vorbemerkungen

Im vorliegenden Kapitel werden ausschließlich die unmittelbaren Folgen des Verkehrs auf den Menschen (also den humanen Teil der Umwelt) behandelt.

Der Begriff „Umwelt" wird häufig synonym mit dem Ökologie-Begriff verwendet, der – in einer ganz generellen Definition – die Zusammenhänge der Lebewesen und der unbelebten Materie sowohl untereinander als auch zwischen einander beschreibt. Die ökologischen Folgen auf die Gesamtumwelt sind aufgrund der besonderen Bedeutung einer ökologisch intakten Gesamtumwelt Gegenstand eines eigenständigen Kapitels (siehe Kap. B 3.5); die hier vorgenommene getrennte Betrachtungsweise entspringt demnach eher methodisch-pragmatischen als grundsätzlichen Gesichtspunkten.

Als Folgen des Verkehrs auf die menschliche Umwelt werden diejenigen Beeinträchtigungen bezeichnet, die von der Anlage (d.h. den Bauwerken) und dem Betrieb (d.h. dem Verkehr selbst) des Verkehrssystems auf den Menschen ausgehen. Diese Beeinträchtigungen ergeben sich im Wesentlichen in folgenden Bereichen, die im Weiteren in einzelnen Textabschnitten behandelt werden:

- Gefährdung von Leben und Gesundheit durch Verkehrsunfälle (Verkehrssicherheit)
- Beeinträchtigung und Belastung durch Lärm und Schadstoffimmissionen
- Folgen durch Ablauf und Betrieb

Für die auftretenden Wirkungskomponenten werden Kriterien aufgestellt und jeweils so weit wie möglich quantitativ beschrieben. So kann zum Beispiel die Gefährdung durch Verkehrsunfälle in statistischer Hinsicht durch Unfallkennzahlen quantifiziert werden. Eine

Darstellung des Ausmaßes des menschlichen Leides, das sich hinter derartigen Kennzahlen verbirgt, entzieht sich jedoch einer quantitativen Betrachtung, es handelt sich hier um einen so genannten intangiblen Wirkungsaspekt.

Ebenso weisen die Folgen des Verkehrs auf die menschliche Umwelt auch Elemente auf, die ökonomisch – hier vor allem im volkswirtschaftlichen Sinne – relevant sein können. So bedeutet z.B. die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit im physischen und psychischen Bereich etwa durch Verkehrsunfälle oder durch Lärm- bzw. Schadstoffimmissionen gleichzeitig auch eine Beeinträchtigung der gesellschaftlichen Produktivkräfte. Ebenso wie die intangiblen Wirkungsaspekte können derartige ökonomische Komponenten für alle der genannten Folgen des Verkehrs unterstellt werden. Die ökonomische monetarisierte (d.h. in Geldeinheiten qualifizierte) Bewertung der Folgen unterliegt demnach einer besonderen Problematik.

Aus methodischer und verfahrensseitiger Sicht ist zu unterscheiden zwischen den realen Folgen des Verkehrs, die von dem bestehenden Zustand (also dem Status quo) ausgehen, und den Folgen, die sich aus einer Veränderung dieses Zustandes (z.B. durch geplante Maßnahmen) potentiell ergeben können. So dient die Beschreibung der Folgen im Rahmen der Zustandsanalyse in erster Linie dazu, mögliche Schwachstellen im vorhandenen Verkehrssystem aufzudecken, um hieraus Maßnahmen zur Verbesserung dieses Zustandes ableiten zu können (Maßnahmenfindung). Demgegenüber dient die Analyse der Wirkungen, die von diesen angedachten Maßnahmen im Hinblick auf die Veränderung des Zustandes ausgehen, der Entscheidungsfindung über die Realisierungswürdigkeit einer oder mehrerer, alternativer Maßnahmen (Maßnahmenbewertung möglicherweise mit Rangfolgen). Wenngleich beide Anwendungen dieselben Inhalte betreffen, ergeben sich doch Unterschiede in den methodischen Anforderungen. So sind im Rahmen der Zustandsanalyse absolute Kenngrößen erforderlich, um die Folgen eines Status quo beschreiben zu können, während im Rahmen der Maßnahmenbewertung relative Aussagen über die Wirkungen (d.h. gegenüber dem Status quo) im Mittelpunkt stehen. Das vorliegende Kapitel befasst sich schwerpunktmäßig mit der Beschreibung der Wirkungen des Verkehrs im Rahmen der Zustandsanalyse; die dargestellten methodischen Ansätze bilden jedoch gleichzeitig auch eine Grundlage für Wirkungsanalysen im Rahmen der Maßnahmenbewertung.

Es ist auch zu beachten, dass neben den eigentlichen „Primärwirkungen“ einer zu untersuchenden Wirkungskomponente auch Folgewirkungen auftreten können, die oft schwerwiegender als die Primärwirkung sind. So kann z.B. sowohl die bestehende Lärmbelastung als auch deren Veränderung in der Maßeinheit dB(A) ausgedrückt und auf die Menge der betroffenen Bevölkerung bezogen werden. Die Schäden, die diese Belastung möglicherweise auf die menschliche (auch psychische) Gesundheit langfristig bewirkt, werden mit der physikalischen Größe jedoch nicht beschrieben, obwohl dies die eigentlich interessierende Folge durch den Verkehr ist. Hier stellt sich die Problematik aus dem kausalen Zusammenhang von physikalisch/chemischen Messgrößen und kurz- bzw. mittel- und langfristig eintretenden Folgen. Es erscheint daher zwingend erforderlich, die „quantifizierbaren“ Indikatoren einer Wirkungskomponente vor allem im Hinblick auf derartige, mit der eigentlichen Messgröße nicht erfassten, teilweise sehr langfristig auftretenden Folge kritisch zu hinterfragen und entsprechend zu interpretieren. Die diesbezüglichen Disziplinen der Wirkungsforschung sind hier angesprochen, entsprechende weitere Beiträge zu leisten.

Neben den zumindest teilweise quantifizierbaren Wirkungskomponenten gibt es Wir-

kungsbereiche, die sich quantitativ, d.h. mit physikalischen oder anderen Indikatoren überhaupt nicht oder nur sehr unzureichend abbilden lassen. Wie das genannte Beispiel der psychischen Lärmschäden zeigt, gehören zu diesen „intangiblen“ Wirkungen in vielen Fällen gerade diejenigen Folgen von zunächst als quantifizierbar erscheinenden Bereichen. Intangible Wirkungselemente sind vor allem bei den hier behandelten Folgen auf die auf den Menschen bezogene Umwelt und bei den in Kapitel 3.5 behandelten ökologischen Folgen besonders stark vertreten. Ihre Beschreibung kann häufig nur verbal argumentativ erfolgen. Dies heißt jedoch nicht, dass sie dadurch von vornherein in ihrer Bedeutung einen geringeren Stellenwert als die mit Zahlenwerten belegbaren Wirkungskomponenten einnehmen.

Zur konkreten Ermittlung der quantifizierbaren Wirkungskomponenten stehen für die Zustandsanalyse grundsätzlich entweder die empirische Erhebung (Messung) oder die modellmäßige Berechnung zur Verfügung, bei der Bewertung von Maßnahmen im Planungsstadium ist man in der Regel allerdings ausschließlich auf die Modellrechnung angewiesen. Auf den ersten Blick scheinen die unmittelbaren Messungen eines bestehenden Zustandes die vergleichsweise zuverlässigeren Daten zu liefern. In der Praxis können hierbei jedoch erhebliche Probleme auftreten. Dies betrifft beispielsweise die Problematik der Repräsentativität der Messbedingungen, die durch mehr oder weniger zufällige Einflüsse (z.B. sich ändernde Witterungsbedingungen oder ähnliche Faktoren) gestört werden kann. Darüber hinaus besteht das Problem, dass eine bestimmte Wirkungsart, z.B. der Lärm, in der Regel nicht ausschließlich durch den Verkehr verursacht wird. Bei einer physikalischen Lärmmessung werden jedoch alle Schallquellen erfasst (z.B. auch Vogelgezwitscher) – d. h. der Verkehrslärm kann nicht isoliert gemessen werden. Aus diesen Gründen schreibt z.B. das Bundesimmissionsschutzgesetz vor, dass auch eine bestehende Lärmimmission etwa zur Überprüfung von Ansprüchen an Lärmschutzmaßnahmen ausschließlich rechnerisch zu ermitteln ist. Hieraus wird deutlich, dass auch im Rahmen von Zustandsanalysen Modellrechnungen berechtigt zum Einsatz kommen. Allerdings haben für bestimmte Bereiche auch empirische Analysen durchaus ihre vorrangige Bedeutung. Dies gilt z.B. für die Erhebung der Unfallsituation in einem bestehenden Straßennetz. Da ein Unfall, gemessen an der Gesamtfahrleistung in einem Straßennetz, ein relativ seltenes Ereignis darstellt, kann eine zuverlässige Aussage über das Unfallrisiko auf einem bestimmten Straßenabschnitt nur durch eine Analyse des Unfallgeschehens über einen längeren zurückliegenden Zeitraum (d.h. Jahre) hinweg abgeleitet werden. Darüber hinaus haben Modellrechnungen auch ihre Grenzen im Hinblick auf die Abbildung sehr komplexer Konstellationen. Während z.B. die Schadstoffemissionen des Verkehrs (d. h. die von einer repräsentativen Fahrzeugflotte ausgestoßenen Schadstoffmengen) modellmäßig relativ gut ermittelt werden können, kann die Berechnung der Schadstoffimmissionen (d. h. der an einem bestimmten Ort ankommenden Schadstoffkonzentrationen) vor allem bei komplizierten Ausbreitungsbedingungen (Topographie, Bewuchs, Bebauung) zu Problemen bezüglich der Robustheit der Aussagen der mathematischen Modelle führen. Aus diesem Grund werden selbst bei der Ermittlung der Immissionswirkung geplanter Straßenbaumaßnahmen aufwendige Messungen der Schadstoffausbreitung auch mit Hilfe von physikalischen Modellen im Windkanal durchgeführt.

Ein weiteres Problem im Rahmen der Zustandsanalyse betrifft neben der Quantifizierung der einzelnen Wirkungskomponenten die Frage der Beurteilung der wie auch immer festgestellten Folgen des Verkehrs im Hinblick auf verbal formulierte Zielsetzungen. Im Ge-

gensatz zur Maßnahmenbewertung fehlt bei der reinen Zustandsanalyse – angenommen als Bezugsfall ohne Maßnahme – ein Vergleichsfall, wodurch die Wirkungen einer Maßnahme dargelegt werden könnten. Zur Beurteilung eines Zustandes bedarf es einer Bezugsgröße, mit der die Güte einer bestimmten Situation verglichen werden kann. In bestimmten Bereichen des Verkehrswesens bedient man sich dabei für die qualitative Bewertung von Zuständen des Level-of-service Konzepts (siehe HBS; FGSV, 2001).

Für einige Wirkungskomponenten liegen definierte Grenzwerte vor, deren Überschreitung einen offensichtlichen und anerkannten Mangel signalisiert und auf deren Basis zum Teil gesetzlich fundierte Ansprüche auf entsprechende Schutzmaßnahmen geltend gemacht werden können. Symptomatisch für die Festlegung solcher Grenzwerte ist der offensichtliche Widerspruch zwischen dem absolutem Schutz der Bevölkerung auf der einen Seite und der technischen und ökonomischen bzw. auch gesellschaftlich akzeptierten Realisierbarkeit dieser Grenzwerte auf der anderen Seite; z.B. treten einige Schadstoffe in einer bestimmten Konzentration ubiquitär und nicht durch verkehrliche Ursachen hervorgerufen auf, so dass die Forderung eines Nullwertes völlig unrealistisch wäre.

Bei der kausalen (z.B. medizinischen) Fundierung von Belastungsgrenzwerten ist zunächst zu unterscheiden zwischen Grenzwerten, die für die Normalbevölkerung tolerierbar erscheinen und jenen, die auch so genannte Risikogruppen mit einbeziehen (z.B. Alte, Kinder, Kranke). Nun ist aber die Einhaltung von begründbaren Grenzwerten häufig entweder mit einem verhältnismäßig hohen technischen bzw. finanziellen Aufwand oder auch mit negativen Folgewirkungen in anderen Bereichen verbunden. Viele „Grenzwerte“ stellen daher einen Kompromiss zwischen dem Wünschenswerten und dem Machbaren bzw. den gesellschaftlich akzeptierten Werten dar; Grenzwerte dieser Art finden sich in den einschlägigen und zunehmend EU-weit gültigen Regelwerken bzw. Verordnungen. Sie werden häufig auch Anpassungen unterzogen, sofern sich neue wissenschaftliche Erkenntnisse ergeben oder andere Entscheidungsgründe dazu vorliegen. Auch gesellschaftlich induzierte Änderungen von Sensibilitäten gegenüber bestimmten Schadstoffen bzw. Grenzwerten führen zu entsprechenden Anpassungsprozessen bei technischen Entwicklungen einerseits (z.B. Reduzierung der Emissionen bei Fahrzeugen) und Verschärfung der Verordnungen und Gesetzen andererseits (z.B. stufenweise „Abgasnormen“).

Darüber hinaus ist bei der Anwendung von Grenzwerten zu beachten, dass diese jeweils an ein bestimmtes Verfahren gebunden sein können. In diesen Verfahren werden beispielsweise die Messvorschriften, die räumlichen und zeitlichen Bezugspunkte, die zugelassenen Überschreitungshäufigkeiten sowie die rechtlichen Bedeutungen der Grenzwerte geregelt. Allerdings werden aus pragmatischen Gründen in vielen praktischen Anwendungen Grenzwerte auch losgelöst von ihren Verfahren herangezogen.

Für diejenigen Wirkungskomponenten, für die keine Grenzwerte zur Beurteilung einer Situation zur Verfügung stehen, sind im Rahmen der Zustandsanalyse geeignete Ersatzgrößen heranzuziehen. Eine Möglichkeit hierzu besteht pragmatisch in der Orientierung an den realen Verhältnissen, indem Beurteilungsschwellen aus der Häufigkeitsverteilung aller berechneten Einzelwerte abgeleitet werden. Untersucht man z.B. die Unfallwirkungen in einem Straßennetz, so können aus den Häufigkeitsverteilungen der Unfälle in Netzabschnitten leicht diejenigen Abschnitte ermittelt werden, die gegenüber den übrigen Strecken als vergleichsweise unfallträchtig einzustufen sind. Derartige Verfahren haben grundsätzlich

den Vorteil, dass dem in einem Netz erreichten Entwicklungsstand von vornherein Rechnung getragen werden kann. Ein Nachteil besteht grundsätzlich darin, dass – anders als z.B. bei einer medizinischen begründeten Grenzwertdefinition – kausale Zusammenhänge zwischen Schwellenwert und Wirkung nicht zum Tragen kommen.

Schließlich muss man sich bei den pragmatischen Verfahren bewusst sein, dass bereits die Wahl der Vorgehensweise und erst recht die Vorgabe z.B. eines Percentils zur Festlegung eines Schwellenwertes einen normativen Prozess darstellt, der implizit eine Wertaussage möglicherweise ohne wissenschaftliche Indikation enthält. So hat der Entscheidungsträger (i. d. R. der Gesetzgeber) Optimalforderungen nach Anspruchsniveaus mit konkurrierenden Belangen (z.B. den investitionspolitischen Rahmenbedingungen) abzuwägen. Dieser Abwägungsprozess, d.h. die Entscheidung, was einem Kostenträger – sei es Verursacher oder Gesamtgesellschaft – zur Realisierung eines abgewogenen Anspruchsniveaus anzulasten ist bzw. welche Belastungen einem Einzelnen gegenüber einem höchstmöglichen Anspruchsniveau zugemutet werden sollen, trägt diesen normativen Charakter im Sinne einer Wertaussage, die nicht auf wissenschaftlichem, sondern nur auf politischem Wege formuliert werden kann.

Eine im vorliegenden Zusammenhang häufig genannte Größe sind die so genannten sozialen Kosten des Verkehrs, also diejenigen negativen Folgen des Verkehrs, die der gesamten Gesellschaft entstehen, ohne dass sie den Verursachern – hier den Verkehrsteilnehmern – angelastet werden. Hierzu gehören vor allem diejenigen Umweltschäden, die sich erst in der Zukunft auswirken werden und von den kommenden Generationen zu tragen sind. In einer generellen Auslegung werden unter diesem Begriff alle externen Wirkungskomponenten, also auch die nicht ökonomischen, subsumiert.

Im vorangegangenen Text wurden die Folgen des Verkehrs auf die humane Umwelt anhand grundsätzlich weitgehend quantifizierbarer Kriterien dargestellt. Übrig bleibt eine „Restgröße“ dieser Folgen, die mit diesen Kriterien nur unzureichend erfasst werden kann und hier mit „psychischer Beeinträchtigung“ bezeichnet werden soll. Diese Problematik steht im Zusammenhang mit der Identifikationsmöglichkeit des Menschen mit seiner jeweiligen Umgebung. So orientiert sich der Mensch an einer für ihn subjektiv intakten Umwelt. Dazu zählt auch der Straßenraum sowohl als unmittelbares Wohnumfeld als auch als Umfeld vielfacher Aktivitäten außerhalb der Wohnumgebung. In vielen Fällen entspricht der Straßenraum dabei weder den subjektiven und noch den objektiven Anforderungen. Dies gilt für den Kfz-Verkehr, der nicht nur bei hohen Verkehrsbelastungen (z.B. aufgrund hoher Geschwindigkeiten von Einzelfahrzeugen) als Bedrohung empfunden werden kann. Auch der ruhende Verkehr kann, sofern er nicht in eine entsprechende Gestaltung des Straßenraumes eingebunden ist, das Gefühl beeinträchtigen, sich in einer als angenehm empfundenen Umwelt zu bewegen. Deshalb kommt der Gestaltung des Straßenraums auch im Hinblick auf die möglichen psychischen Beeinträchtigungen eine Bedeutung zu. Quantitative Verfahren und Kriterien zur Messung derartiger Komponenten der Folgen des Verkehrs stehen nicht zur Verfügung und sind aufgrund des hohen Subjektivitätsgehaltes dieser Wirkungskomponenten mit Allgemeingültigkeitsanspruch auch schwerlich vorstellbar. Dies heißt allerdings nicht, dass diese Wirkungen keine sozialen Kosten verursachen. Andererseits bedeutet das Vorhandensein eines monetären Ansatzes für die übrigen Wirkungen nicht, dass deren sozialen Kosten damit auch umfassend quantifiziert werden.

Vielmehr besteht ein enger Zusammenhang mit den städtebaulichen Folgen des Verkehrs

(siehe Kap. B 3.2). Die dort dargestellten Aspekte sind auch im Rahmen einer Zustands- bzw. Wirkungsanalyse der Folgen des Verkehrs auf die humane Umwelt einzubeziehen.

3.3.2 Verkehrssicherheit

Die Gefährdung von Leben und Gesundheit durch Unfälle stellt eine der augenfälligsten Folgen des Verkehrs auf den Menschen dar. Besonders im städtischen Bereich gibt es bei den Unfällen mit Personenschäden – aufgrund der mit den verkehrlichen Funktionen konkurrierenden Sozial- und Aufenthaltsfunktion des Straßenraumes – besondere Betroffenheiten bei den schwachen Bevölkerungsgruppen wie alte Menschen und Kinder, die am motorisierten Individualverkehr selbst gar nicht teilnehmen.

Eine quantitative Beschreibung der Unfallfolgen im Rahmen der Zustandsanalyse erfolgt durch eine systematische Erhebung des tatsächlichen Unfallgeschehens. Da ein Unfall statistisch gesehen ein relativ seltenes Ereignis darstellt, ist der Unfallanalyse ein Zeitraum von mindestens 3 Jahren zugrunde zu legen.

Für diesen Zeitraum werden die Unfälle u.a. differenziert nach ihrer Unfallschwere (Unfallkategorie) und ihrem Unfalltyp, d. h. der verkehrstechnischen Konstellation, die zum Unfall geführt hat, für jeden Abschnitt des zu untersuchenden Straßennetzes erhoben. Die Datenbasis hierzu liefern die so genannten Unfalltypensteckkarten der Polizeidienststellen, auf denen die Straßenverkehrsunfälle mit ihrer Lage im Netz entsprechend markiert und archiviert werden. Um für einen Unfallanalysezeitraum von drei Jahren aussagekräftiges Kartenmaterial bereitstellen zu können, liegen in der Regel die zwei folgenden aktuellen Unfalltypensteckkarten vor:

– die Einjahreskarte (1-JK) aller Unfälle und
– die Dreijahreskarte (3-JK) aller Unfälle mit Personenschaden oder der Unfälle mit schwerem Personenschaden.

Um unfallauffällige Bereiche innerhalb des betrachteten Straßennetzes ausfindig zu machen, werden diese wie folgt unterschieden:

– Unfallhäufungsstellen (UHS)
– Unfallhäufungslinien (UHL)
– Unfallhäufungsgebiete (UHG)

Um vermutete Unfallhäufungen als solche zu verifizieren, stehen die in SVS (2003) beschriebenen Kriterien zur Verfügung, anhand derer eine Beurteilung möglich ist bzw. die Durchführung der dazu notwendigen Arbeitsschritte vorgenommen werden kann. Sind unfallauffällige Bereiche festgestellt worden, können diese mit den Instrumentarien der örtlichen Unfalluntersuchung betrachtet werden. Dabei erfolgt eine Analyse des Unfallgeschehens nach strukturellen Gleichartigkeiten mit Hilfe von Unfalldiagrammen und Ortsbesichtigungen, um geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Unfallsituation zu ergreifen.

Die Monetarisierung der Unfallwirkungen stellt eines der heikelsten Kapitel der ökonomischen Bewertung der Verkehrsfolgen dar. Geht man davon aus, dass nach ethischen Gesichtspunkten Gesundheit und Leben eines Menschen mit die höchsten Güter menschlicher Wertschätzung darstellen, so entzieht sich dieser Wirkungsbereich in seiner Gesamtheit streng genommen einer ökonomischen Betrachtung.

Allerdings gibt es im Zusammenhang mit der Bewertung von Verkehrsfolgen durch Unfälle auch reale, ökonomisch relevante Komponenten, indem einerseits mit der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit eine Beeinträchtigung der gesellschaftlichen Produktivkräfte einhergeht und andererseits mit der Behebung der Unfallfolgen (z.B. Krankenhauskosten, Sachschäden) ökonomische Ressourcen gebunden werden. Dazu ist eine Systematik zur Ermittlung von Kostensätzen für Straßenverkehrsunfälle entwickelt worden;

entsprechende Kostensätze (vgl. Meewes, 2002) werden in differenzierter Form als Unfallkostensätze in Abhängigkeit von Straßentyp und Unfallschwere aufgeführt. Derartige, auch als pauschal bezeichnete Unfallkostensätze repräsentieren somit statistisch die mittleren Unfallkosten pro Unfall der jeweiligen Kategorie.

Absolute Unfallzahlen eignen sich nur bedingt zur Analyse des Unfallgeschehens; sie stellen vielmehr die notwendige Datenbasis dar. Es ist daher notwendig, auf relative Kenngrößen zurückzugreifen. Mit ihnen werden die absoluten Unfallzahlen mit verkehrlichen und straßenseitigen Größen ins Verhältnis gesetzt. So werden beispielsweise aus den Unfallraten (als fahrleistungsbezogene Kenngröße) die jeweiligen Unfallkostenraten über die diesbezüglichen Unfallkostensätze errechnet. Infolge dieser Monetarisierung wird eine Bewertung des Unfallgeschehens auf volkswirtschaftlicher Basis möglich, da sich – wie erläutert – die Unfallkostensätze aus allen der Volkswirtschaft durch den Unfall entstehenden Schäden zusammensetzen.

Auf dieser Basis erstellte Angaben über Unfallkosten sind – auch – für die innerorts gebräuchlichen Querschnitts- und Knotenpunktsformen in den „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (EWS-Entwurf) (FGSV, 1997) enthalten. Dort werden den nach ihren baulichen und betrieblichen Merkmalen typisierten Strecken des Straßennetzes typenspezifische Kenngrößen zugewiesen, so dass bereits in der Planungsphase eine Abschätzung über die Höhe der zu erwartenden volkswirtschaftlichen Verluste abgegeben werden kann. Im Zuge der Maßnahmenfindung können damit alternative Querschnitts- und Knotenpunktsformen mit dem momentanen Ausbauzustand verglichen werden. Die Wirkung der zu untersuchenden Maßnahmen auf die Verkehrssicherheit wird somit auf der Basis statistischer Erfahrungswerte prognostiziert.

Für die Wirkungsanalyse von Maßnahmen kann auf Basis dieser Kenngrößen das Unfallgeschehen für alle Abschnitte des Netzes einmal für einen Verkehrszustand ohne und einmal für einen Verkehrszustand mit Maßnahme (inklusive der Maßnahme selbst) modellmäßig berechnet werden.

Ein „Unschärfebereich“ bei der Anwendung dieses Verfahrens liegt in vereinfachenden Annahmen bspw. über die Zusammenhänge zwischen Verkehrsbelastung und Unfallhäufigkeit sowie in der sachgerechten Zuweisung der in den EWS (FGSV, 1997) definierten modellmäßigen Streckentypen zu den realen Abschnitten des Netzes. Insbesondere in kleinen Untersuchungsnetzen können örtliche Besonderheiten wirksam werden, die bei einer Berechnung des Unfallgeschehens über die als Bundesdurchschnitt ermittelten pauschalen Unfallkennzahlen nicht abgebildet werden können. Aus diesem Grund wird dann in definierter Vorgehensweise mit angepassten Kennzahlen vorgegangen, die auf den vorgefunden Unfallstrukturen im betrachteten Netz basieren.

3.3.3 Verkehrslärm

3.3.3.1 Lärmwirkungen – Grundlagen

Schallwellen sind Luftdruckschwankungen, die das menschliche Ohr wahrnehmen kann. Das gebräuchliche Maß für den Schalldruckpegel ist das Dezibel A, abgekürzt dB(A). Das „A“ bezeichnet eine international angewendete Korrekturkurve, die es ermöglicht, das Dezibel als einheitliches Maß für alle Frequenzbereiche zu verwenden, obwohl für das Ohr tiefere Töne bei gleichem Schallpegel weniger laut sind als hohe. Die Anwendung der A-Korrekturkurve bedeutet also, dass über alle Frequenzbereiche gleiche dB-Werte den gleichen Lautstärkeempfindungen entsprechen. Das Dezibel ist ein logarithmisches Maß. Die Erhö-

hung oder Verminderung eines gegebenen dB(A)-Wertes um 3 dB(A) entspricht einer Verdopplung bzw. einer Halbierung der Schallintensität; d.h. zwei genau gleich laute Schallquellen („Geräusche“), die miteinander überlagert werden, erhöhen den Schalldruckpegel je einer Schallquelle um 3 dB(A). Gelänge es z.B., den Straßenverkehrslärm durch eine Absenkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit um 3 dB(A) zu reduzieren, entspräche dies der Auswirkung einer Halbierung des Verkehrsaufkommens. Eine Änderung um 10 dB(A) entspricht für die Hörempfindung des Menschen einer Verdopplung bzw. einer Halbierung der Lautstärke (BUWAL, 2003).

Lärm ist unerwünschter, unangenehmer oder schädlicher Schall. Während der Schall als physikalisches Phänomen genau messbar ist, handelt es sich bei Lärm um eine subjektive Empfindung. Keine zwei Personen beurteilen Geräusche gleich: Was der eine als Musik empfindet, ist für den anderen unerträglicher Lärm. Empfindlichkeit, Toleranz und somit letztlich die individuelle Einstellung zur Schall- bzw. Lärmquelle spielen bei ihrer Beurteilung eine wesentliche Rolle. Gewisse Gesetzmäßigkeiten des Lärmempfindens sind jedoch nachweisbar: Periodische Einzelereignisse mit dazwischen liegenden Ruhephasen (z.B. getaktete Schienenverkehre) werden in geringerem Umfang als Lärm bewertet, obwohl sie punktuell lauter sein können als kontinuierliche Schallquellen (z.B. Verkehr auf einer Hauptstraße). Im Gegensatz zum Schall kann man den Lärm also nicht messen, sondern lediglich innerhalb gewisser Bandbreiten beurteilen. Für die Ermittlung der Lärmwirkungen im Rahmen von Bewertungsverfahren wird im Allgemeinen der A-bewertete Schalldruckpegel herangezogen.

Die gesundheitlichen Auswirkungen von (Verkehrs-)Lärm sind, wie medizinisch nachgewiesen, gravierend. Lärm stört die Kommunikation, mindert die Lern- und Konzentrationsfähigkeit und führt zu Schlafstörungen. Alle diese Beeinträchtigungen können auch organische Folgewirkungen haben. Neben einer direkten Schädigung der Gehörorgane (im Wesentlichen durch extreme Belastungen wie Fluglärm) mit den Krankheitsbildern Schwerhörigkeit, Ohrgeräusche oder Hörstürze begünstigt Lärm vor allem Herz-Kreislauf-Erkrankungen und kann letztlich auch Ursache für Herzinfarkte sein. Es ist jedoch auch auf die sozialen Auswirkungen von Lärmbelästigungen hinzuweisen, da überwiegend Personen mit geringerem Einkommen in stark verlärmten Gebieten wohnen. Diese Personengruppen haben aufgrund ihrer Wohnsituation oftmals überdurchschnittliche Erholungsdefizite und damit ungünstige Voraussetzungen, um eine adäquate Leistung am Arbeitsplatz zu erbringen, die dann über ihr berufliches Fortkommen entscheidet.

Da die Lärmentstehung zeitlichen Schwankungen unterliegt, wird zur Beurteilung der Lärmwirkungen über einen größeren Zeitraum hinweg (z.B. die Nachtperiode zwischen 22.00 und 6.00 Uhr) in der Regel der energetische Mittelwert des Schallpegels gebildet, der inhaltlich einem über die Beurteilungszeit hinweg konstanten Geräusch entspricht. Die Anwendung dieses Mittelungspegels, dessen Maßeinheit auch dB(A) ist, ist allerdings nicht unumstritten. So kann durch ein zwar lautes, aber nur kurzzeitig auftretendes Schallereignis für einen längeren Zeitraum rechnerisch ein hoher Mittelungspegel erzeugt werden, bei dem die unter Umständen langen Ruhephasen zwischen den kurzzeitigen Störungen nicht zum Ausdruck kommen. Diese Problematik ist insbesondere für den Vergleich von Straßenverkehrs- und Schienenverkehrslärm von Bedeutung, da der Straßenverkehrslärm in seiner zeitlichen Charakteristik eher dem Mittelungspegel entspricht, während der Schienenverkehrslärm mehr von kurzzeitigen Schallereignissen mit längeren Ruhephasen geprägt ist.

Zur Ermittlung einer bestehenden Lärmsituation kommen im Rahmen der Zustandsanalyse sowohl eine Messung des Verkehrslärms als auch eine Berechnung in Betracht. Die Lärmmessung hat dabei den Vorteil, auch sehr komplexe Ausbreitungsbedingungen abbilden zu können, die modellmäßig nur schwierig zu erfassen sind. Problematisch ist hier allerdings, dass Störgeräusche aus einer Messung nicht zuverlässig herausgehalten werden können und dass – vor allem bei Kurzzeitmessungen – durch zufällige Schwankungen der Wirkungsparameter (z.B. Verkehrsstärke, Witterungsverhältnisse) die Repräsentativität der Messergebnisse nicht immer zu gewährleisten ist. Das Bundesimmissionsschutzgesetz (speziell 16. BImSchV, z.B. in Feldhaus u. Hansel, 1997) verlangt daher zur Klärung von Ansprüchen auf Lärmschutzmaßnahmen auch für die Zustandsanalyse grundsätzlich die rechnerische Ermittlung des Verkehrslärms.

3.3.3.2 Lärmwirkungen – Berechnungsverfahren

Bei der Berechnung des Verkehrslärms ist zunächst zwischen den Schallemissionen, d.h. der Abstrahlung des Schalls an der Quelle, und den Schallimmissionen, d.h. dem Schall, der auf einen bestimmten Ort einwirkt, zu unterscheiden. Die Schallemissionen sind für den Straßen- und den Schienenverkehr von folgenden Faktoren abhängig:

Straßenverkehr:

- der Verkehrsstärke
- der Verkehrszusammensetzung (Lkw-Anteil)
- der Geschwindigkeit der Fahrzeuge
- der Fahrbahnoberfläche
- den Steigungsverhältnissen
- den betrieblichen Einrichtungen (Lichtsignalanlagen)

Schienenverkehr:

- den Zugfrequenzen
- der Zugart
- den Zuglängen
- der Art der Bremsen
- der Geschwindigkeit der Züge
- der Art des Gleisbettes.

Auf dem Weg von der Schallquelle zum Einwirkungsort werden die Lärmimmissionen weitgehend von den Parametern

- Abstand des Immissionsortes von der Fahrbahn
- Höhenverhältnisse
- Geländemorphologie
- Hindernisse zwischen Schallquelle und Immissionsort
- Reflexionen
- Meteorologie (Wind, Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte)

bestimmt.

Während die Berechnung sowohl der Emissionen als auch der Immissionen des Verkehrslärms unter Berücksichtigung dieser Einflussgrößen bislang auf Basis nationaler Richtlinien und Gesetze erfolgen konnte (Bundesminister für Verkehr, 1990; Deutsche Bundesbahn, 1990; Feldhaus u. Hansel, 1997), die auch in die entsprechenden Bewertungsverfahren Eingang fanden (Bundesminister für Verkehr, 1993a; FGSV, 1997; PLANCO, 1999) ist durch die Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (Europäische Union, 2002) ein neuer Rechtsrahmen geschaffen, der mit entsprechenden Übergangsfristen eine Vereinheitlichung der Lärmimmissionsberechnungen in der Europäischen Union herbeiführen soll.

Ziel der Richtlinie ist es, mittels einheitlicher Lärmindizes strategische Lärmkarten aufzustellen, anhand derer für die jeweiligen nationalen Hoheitsgebiete festgestellt werden kann, wo Grenzwerte überschritten werden und daher Maßnahmen zu ergreifen sind. Notwendige Maßnahmen sind in Aktionsplänen zu bündeln und insbesondere für

- Orte in der Nähe von Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von über sechs Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr
- Orte in der Nähe von Haupteisenbahnstrecken mit einem Verkehrsaufkommen von über 60.000 Zügen pro Jahr
- Orte in der Nähe von Großflughäfen
- Ballungsräume mit mehr als 250.000 Einwohnern

auszuarbeiten. Die Fristen und aktuellen definitorischen Probleme bei der Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht sowie bei der Erstellung der strategischen Lärmkarten und Aktionspläne sind in vorläufigen Hinweisen der Forschungsgesellschaft für Straßenwesen zusammengefasst (FGSV, 2003).

Der zentrale Beurteilungspegel für den Umgebungslärm gemäß der neuen EU-Richtlinie ist der Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den} (siehe Gleichung 3.1).

Alle hierin enthaltenen Einzelpegel sind Abewertete äquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2 (1987). Der Beurteilungszeitraum beträgt jeweils ein Jahr und die Bestimmung erfolgt an allen Kalendertagen:

- für L_{day} im Tageszeitraum von 12 Stunden
- für $L_{evening}$ im Abendzeitraum von 4 Stunden
- für L_{night} im Nachtzeitraum von 8 Stunden.

Die genannten Einzelpegel berücksichtigen nur noch den einfallenden Schall, d.h. Mehrfachreflexionen bei beidseitig geschlossener Bebauung entlang eines Verkehrsweges entfallen künftig.

Bis zu einer einheitlichen Regelung der Berechnungsvorschriften für die Einzelpegel können die nationalen Berechnungsvorschriften weiter verwendet werden. Da die deutschen Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90 (BMV, 1990) und zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen (Schall 03) (Deutsche Bundesbahn, 1990) Abewertete Dauerschallpegel verwenden, die getrennt für den Tages- und Nachtzeitraum berechnet werden und somit wesentlich die Kriterien der EU-Umgebungslärm-Richtlinie erfüllen, werden diese Berechnungsvorschriften abschließend in der Form vorgestellt, in der sie in die 16. Bundesimmissionsschutzverordnung (siehe z.B. in Feldhaus u. Hansel, 1997) Eingang gefunden haben. Die Beurteilungspegel an Straßen und bei Schienenwegen werden gemäß 16. BImSchV vereinfachend entlang eines langen geraden Verkehrsweges berechnet, wobei gekrümmte Streckenabschnitte näherungsweise in mehrere gerade Streckenabschnitte zu unterteilen sind. Dieser Berechnungsansatz kommt auch in den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (FGSV, 1997) zur Anwendung.

Der beurteilungsrelevante Immissionspegel (Mittelungspegel) an langen geraden Straßenabschnitten $L_{r,T/N}$ wird getrennt für den Tageszeitraum von 6.00 h bis 22.00 h sowie für den Nachtzeitraum von 22.00 h bis 6.00 h wie folgt berechnet (Gl. 3.1 und 3.2).

$$L_{den} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \cdot \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (3.1)$$

$$L_{r,T/N} = L_{m,T/N}^{(25)} + D_v + D_{StrO} + D_{Stg} + D_d + D_{BM} + D_B + K \quad [dB(A)] \quad (3.2)$$

mit:

$L_{m,T/N}^{(25)}$ Mittelungspegel für den Tages- oder Nachtzeitraum in 25 m Abstand von der Straßenachse (Mitte der betrachteten Fahrbahnen)

$$L_{m,T/N}^{(25)} = 37{,}3 + 10 \cdot \log[M_{T/N} \cdot (1 + 0{,}082 \cdot p_{T/N})] \quad [dB(A)]$$

(siehe Abb. 3.7)

$M_{T/N}$ = maßgebliche Verkehrsstärke in Kfz/h

$p_{T/N}$ = maßgebender Lkw-Anteil p (über 2,8 t zul. Gesamtgewicht) in %

D_v Korrektur zur Berücksichtigung unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Lkw-Anteil p

D_{StrO} Korrektur zur Berücksichtigung unterschiedlicher Straßenoberflächen

D_{Stg} Korrektur zur Berücksichtigung von Steigung und Gefälle

D_d Korrektur zur Berücksichtigung von Abständen d ≠ 25 m zwischen dem Emissionsort (0,5 m über der Mitte der berachteten Fahrbahnen) und dem maßgebenden Immissionsort (siehe Abb. 3.8)

D_{BM} Korrektur zur Berücksichtigung von Boden- und Meteorologiedämpfung

D_B Korrektur zur Berücksichtigung von topographischen Gegebenheiten (Einschnitte, Bodenerhebungen), bauli-

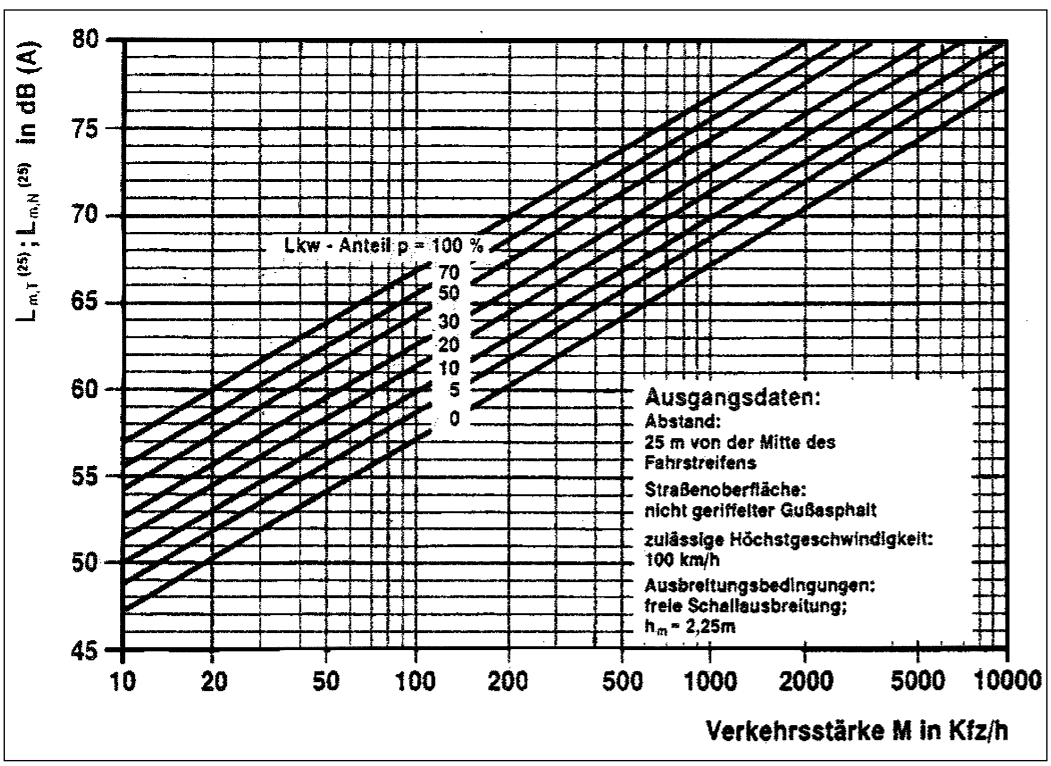


Abb. 3.7 Bestimmung der Lärmimmissionen einer langen geraden Straße. (BMV, 1993b)

chen Maßnahmen (Lärmschutzwände) und Reflexionen (bei beidseitig geschlossener Bebauung)

K Zuschlag für erhöhte Störwirkungen von lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Einmündungen

Die Berechnung des beurteilungsrelevanten Immissionspegels an langen geraden Abschnitten von Schienenstrecken (Mittelungspegel) erfolgt ebenfalls getrennt für den Tageszeitraum von 6.00 h bis 22.00 h sowie für den Nachtzeitraum von 22.00 h bis 6.00 h. Die Ausgangsgrößen der Berechnung sind die mittleren stündlichen Zugbelastungen am Querschnitt eines jeden Abschnitts des Schienennetzes. Der Mittelungspegel $L_{r,T/N,ZK}$ für den Tages- bzw. Nachtzeitraum (s. Gleichung 3.3) wird zunächst für jede Zugklasse separat ermittelt, wobei zu einer Zugklasse ausschließlich Fahrzeuge gleicher Fahrzeugart (z.B. ICE), gleicher mittlerer Zuglänge (z.B. Kurzzug) und gleicher mittlerer Geschwindigkeit gehören. Den Gesamtpegel für einen Netzabschnitt erhält man durch die logarithmische Überlagerung der Mittelungspegel der einzelnen Zugklassen. Der genannte Mittelungspegel wird für jede Zugklasse Zk wie folgt berechnet (siehe Gleichung 3.3):

mit:

$L^{(25)}_{m,T/N,Zk}$ Mittelungspegel der Zugklasse Zk für den Tages- oder Nachtzeitraum in 25 m Abstand von der Mitte der Gleisachse

$L^{(25)}_{m,T/N,Zk} = 51+10 \cdot \log[n_{T/N} \cdot (5 - 0{,}04 \cdot p_{T/N})]$ [dB(A)]

$n_{T/N}$= mittlere Zahl der Züge einer Zugklasse pro Stunde

$p_{T/N}$= Anteil der Fahrzeuge mit-Scheibenbremsen in %

$D_{l,v}$ Korrektur zur Berücksichtigung von Zuglänge l und Geschwindigkeit V

$$L_{r,T/N,\,Zk} = L^{(25)}_{m,T/N,Zk} + D_{Fz} + D_{l,v} + D_{Fb} + D_d + D_{BM} + D_{SB} + K \qquad [dB(A)] \qquad (3.3)$$

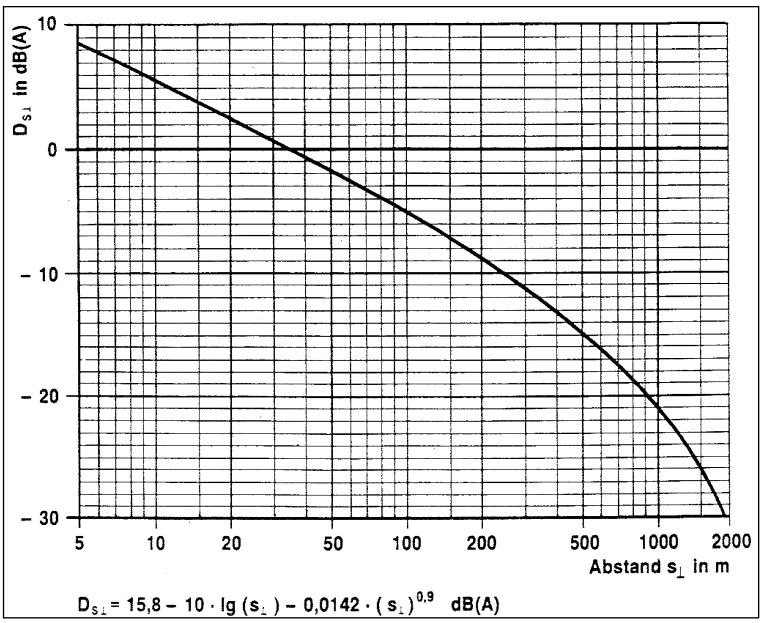


Abb. 3.8 Pegeländerung durch unterschiedliche Abstände zwischen dem Emissionsort und dem Immissionsort (BMV, 1993b)

D_{Fb} Korrektur zur Berücksichtigung unterschiedlicher Fahrbahnarten

D_d Korrektur zur Berücksichtigung von Abständen zwischen dem Emissionsort (Schienenoberkante der Gleisachse) und dem betrachteten Immissionsort (s. Abb. 3.8)

D_{BM} Korrektur zur Berücksichtigung von Boden- und Meteorologiedämpfung

D_B Korrektur zur Berücksichtigung von topographischen Gegebenheiten (Einschnitte, Bodenerhebungen), baulichen Maßnahmen (Lärmschutzwände) und Reflexionen (bei beidseitig geschlossener Bebauung)

D_{SB} Korrektur um –5dB(A) zur Berücksichtigung der geringeren Störwirkung des Schienenverkehrslärms („Schienenbonus“)

Mit diesen, hier nur in groben Zügen dargestellten Verfahren können die Lärmimmissionen des Verkehrs sowohl für die Zustandsanalyse bestehender Netze als auch für die prognostische Bewertung von Maßnahmen berechnet werden.

3.3.3.3 Lärmwirkungen in Umweltanalysen und Bewertungsverfahren

Zur Beurteilung des Verkehrslärms im Rahmen der Zustandsanalyse existieren derzeit keine verbindlichen, gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Die Grenzwerte des BlmSchG für die oben erläuterten Beurteilungspegel, festgelegt im § 2 der 16. BImSchV (s. Tabelle 3.1), gelten nur für die so genannte Lärmvorsorge beim Bau oder bei wesentlichen Änderungen von Verkehrswegen. Auch für die im § 47a des BlmSchG geforderten Lärmminderungspläne für Gebiete, die schädlichen Umweltwirkungen durch Geräusche ausgesetzt sind, werden keine Grenzwerte vorgegeben. Da sich die genannten Grenzwerte nur auf den Verkehrslärm beziehen, kann es aufgrund von Vorbelastungen anderer, verkehrsfremder Immissionsquellen auch bei Einhaltung dieser Grenzwerte durch den Verkehr zu gebietsspezifisch höheren Werten kommen.

In der Praxis werden die Grenzwerte der 16. BImSchV auch für die Zustandsanalyse als Orientierungswerte verwendet, indem alle Abschnitte des jeweils untersuchten Netzes, die diese Werte überschreiten, als unzureichend definiert werden. Für diese Abschnitte ist nach Maßnahmen zu suchen, die zu einer Verringerung der Lärmbelastung beitragen. Die EWS-97 verwenden in den Bewertungsrechnungen

Tabelle 3.1 Grenzwerte für die Lärmvorsorge gemäß BImSchG. (BMV, 1993b)

Bauliche Nutzung	**Immissionsgrenzwert dB(A)**	
	tags	**nachts**
Krankenhäuser, Schulen, Kur- und Altenheime	57	47
Reine und allgemeine Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete	59	49
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	64	54
Gewerbegebiete	69	59

als Zielpegel bzw. Grenzwert für Wohngebiete nachts 40 dB(A) und tagsüber 50 dB(A) (FGSV, 1997). Diese schärferen Grenzwerte werden aus der medizinisch nachgewiesenen, hohen gesundheitlichen Belastung durch Verkehrslärm abgeleitet. Im aktualisierten Verfahren der Bundesverkehrswegeplanung wird der Zielpegel nachts sogar zu 37 dB(A) angesetzt, demjenigen Wert, bei dem im Rahmen von Analysen zur Zahlungsbereitschaft für ruhigeres Wohnen die Zahlungsbereitschaft auf Null sinkt (PLANCO, 2000).

Die Bekämpfung des Verkehrslärms kann in drei Stufen erfolgen (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz, 2003):

– an der Quelle (Reduzierung des Verkehrsaufkommens etc.)
– durch die Verhinderung seiner Ausbreitung (Lärmschutzwände etc.)
– durch Schutzmaßnahmen beim Empfänger (Schallschutzfenster etc.).

Da die Wahrnehmung einer Lärmveränderung ab einer Größenordnung von etwa 2 bis 3 dB(A) beginnt, diese Änderung aber erst durch eine Verdoppelung bzw. Halbierung der Verkehrsstärke erreicht wird, ist offensichtlich, dass durch eine Reduktion des Verkehrsaufkommens kaum Erfolge bei der Lärmminderung zu erzielen sind. Wesentliche Potentiale zur Lärmminderung werden jedoch in der Weiterentwicklung geräuscharmer Reifen und in der Gewichtsreduktion von Fahrzeugen gesehen. Auch durch Tempolimits lassen sich Verbesserungen der Lärmbelastung im Straßenbereich erzielen. Bei den Bahnen liegen die Potentiale in der Verbesserung des Rollmaterials, so z.B. in der Einführung von Kunststoff-Bremsklötzen.

Mit dem Argument der relativ geringen Lärmerhöhung durch Verkehrzunahmen wird in der Verkehrsplanung immer wieder eine Bündelung des Verkehrs begründet. Dabei darf jedoch nicht übersehen werden, dass sich für die von der Bündelung betroffenen Netzabschnitte infolge der Verkehrzunahme negative Folgen in anderen Wirkungsbereichen (z.B. Schadstoffbelastung, Trennwirkungen u.a.m.) ergeben, die keine dem Lärm vergleichbare Toleranzen gegenüber Verkehrserhöhungen aufweisen. Negative Folgen sind auch bei den baulichen aktiven und passiven Lärmschutzmaßnahmen zu beachten. So können durch Lärmschutzwände und -wälle das Stadtbild und die Sichtbeziehungen beeinträchtigt werden und das Wohnen hinter einem (geschlossenen) Lärmschutzfenster ist nicht gleichzusetzen mit der Möglichkeit, bei geöffnetem Fenster ruhig schlafen zu können.

Im Rahmen der Wirkungsanalyse von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen ist neben der Betrachtung einzelner Netzabschnitte vor allem die Veränderung der Gesamtlärmbelastung der Bevölkerung von Bedeutung. Nur auf dieser Basis ist eine Beurteilung möglich, ob die mit einer Maßnahme hervorgerufenen Be- und Entlastungen per saldo zu einer Verbesserung der Lärmsituation führen. Um diese Gesamtbelastung zu quantifizieren, werden für jeden Netzabschnitt die Lärmimmissionen mit der Anzahl der jeweils betroffenen Einwohner gewichtet.

Bewertet werden Lärmveränderungen oberhalb von Zielpegeln, unterhalb derer keine (gesundheitliche) Beeinträchtigung der Anwohner mehr anzunehmen ist. Der Zielpegel (an der Hausfront der ersten Häuserzeile) wird, wie bereits erwähnt, in den EWS-97 in der Nacht zu 40 dB(A) und tagsüber zu 50 dB(A) angesetzt (FGSV, 1997). Liegen die errechneten Mittelungspegel unter dem jeweiligen Zielpegel, so wird der betreffende Streckenabschnitt in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Dem Umstand, dass kein linearer Zusammenhang zwischen dem Lautheitsempfinden des Menschen und dem Schalldruckpegel besteht, wird im Lärmbewertungsverfahren durch die Gewichtung der Gesamtpegel

$L_{i,R,T/N}$ mit Lautheitsgewichten $g(L_{i,R,T/N})$ – bezogen auf einen vorgegebenen Zielpegel – Rechnung getragen:

$$g(L_{i,R,T/N}) = \begin{cases} 2^{0.1 \cdot (L_{i,R,T/N} - ZP_{T/N})} & L_{i,R,T} \geq ZP_{T/N} \\ 0 & L_{i,R,T} < ZP_{T/N} \end{cases} \quad (3.4)$$

mit:

i	betrachteter Netzabschnitt i
R	Richtung R von Netzabschnitt i (= Streckenabschnitt i,R)
T	Tageszeitraum (6.00 h bis 22.00 h)
N	Nachtzeitraum (22.00 h bis 6.00 h)
$ZP_{T/N}$	Zielpegel, tagsüber 50 dB(A), nachts 40 dB(A)
$L_{i,R,T/N}$	Mittelungspegel für Streckenabschnitt i,R tagsüber bzw. nachts

Die Bewertung der Veränderung der Lärmbelastung bezieht sich auf die Anzahl der Betroffenen und die Lautheitsgewichte (Sone-Gewichte), die in so genannten Lärm-Einwohner-Gleichwerten – LEG_N für den Nachtwert, LEG_T für den Tageswert – multiplikativ zusammengefasst werden (siehe Abb. 3.9). Die Gesamtlärmbelastung in einem Straßennetz kann durch Aufsummieren der Lärm-Einwohner-Gleichwerte aller Netzabschnitte dargestellt werden:

$$LEG_{T/N} = \sum_i \sum_R g(L_{i,R,T/N}) \cdot B_{i,R} \quad (3.5)$$

mit

$g(L_{i,R,T/N})$	Lautheitsgewicht für Streckenabschnitt i,R tagsüber bzw. nachts
$B_{i,R}$	Anzahl der betroffenen Anwohner des Streckenabschnitts i,R (= Anwohner der ersten Häuserzeile)
$LEG_{i,R,T/N}$	Lärm-Einwohner-Gleichwert des Streckenabschnitts i,R tagsüber bzw. nachts

Dieses Vorgehen erlaubt sowohl eine Beurteilung der Veränderung der Lärmsituation in einem Straßennetz infolge einer Maßnahme (bzw. Maßnahmenkombination) gegenüber einem Zustand ohne Maßnahme („Nullfall“) als auch einen Vergleich der Lärmwirksamkeit von Maßnahmenalternativen untereinander. In Schweizer Bewertungsverfahren wird als Indikator für die Lärmbelastung der Bevölkerung durch Verkehr auch die Anzahl übermäßig beschallter Wohnungen verwendet, da die Einwohnerzahlen nicht immer straßenabschnittsbezogen zur Verfügung stehen (ECOPLAN, 1997).

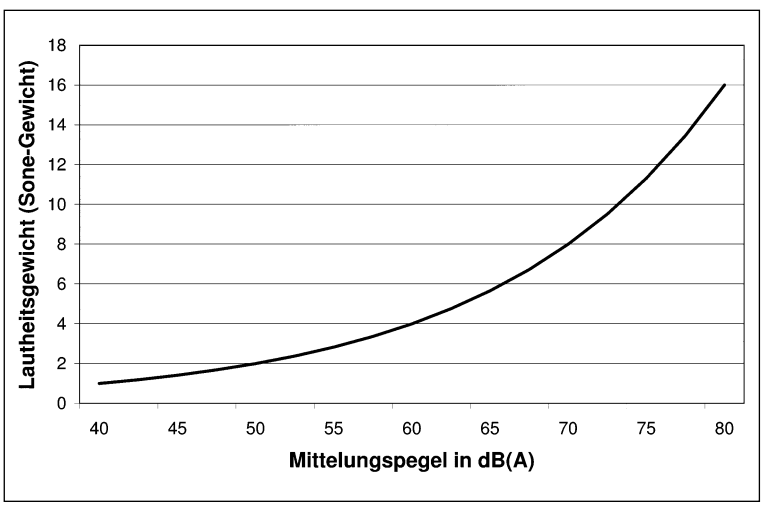


Abb. 3.9 Funktionaler Zusammenhang Mittelungspegel – Lautheitsgewicht. (Eigene Darstellung)

In den EWS-97 (FGSV, 1997) erfolgt die monetäre Bewertung der Lärm-Einwohner-Gleichwerte für den Tages- und den Nachtzeitraum nach unterschiedlichen Bewertungsansätzen. Für die Bewertung der Lärmbelastung nachts wird ein Vermeidungskostenansatz (z.B. Anschaffungskosten für Lärmschutzfenster) herangezogen, der 85,00 DM/LEG zum Preisstand 1995 beträgt. Für die Bewertung der Lärmbelastung tagsüber, die die Lärmbelastung im unmittelbaren Umfeld der Wohnung und „bei offenem Fenster" repräsentiert, kommt ein Zahlungsbereitschaftsansatz zur Anwendung, der ebenso zu einem Wert von 85,00 DM/LEG zum Preisstand 1995 führt. Dieser Wert entspräche ca. 43,50 €/LEG zum Preisstand 1995.

Im Rahmen des aktualisierten Verfahrens der Bundesverkehrswegeplanung werden ausschließlich die Lärm-Einwohner-Gleichwerte für den Nachtzeitraum ermittelt und mit einem Zahlungsbereitschaftsansatz bewertet. Der Verzicht auf eine separate Berechnung der Lärm-Einwohner-Gleichwerte für den Tageszeitraum wird damit begründet, dass der Zahlungsbereitschaftsansatz die Beeinträchtigungen während des Tages durch Verkehrslärm mit umfasse, der Beurteilungspegel nachts wegen der i.d.R. größeren Zielpegelüberschreitung aber der maßgebende sei (PLANCO, 1999). Für die Lärm-Einwohner-Gleichwerte des Nachtzeitraums ergibt sich ein Bewertungsansatz von 107,00 DM/LEG zum Preisstand 1998, somit ca. 55,00 €/LEG zum Preisstand 1998 (PLANCO, 2000). Aufgrund der üblichen Bandbreiten der Ergebnisse bei Befragungen zur Zahlungsbereitschaft („willingness to pay") erscheint eine Aktualisierung der genannten Werte auf den Preisstand 2003 nicht notwendig.

3.3.4 Luftschadstoffe – Grundlagen

3.3.4.1 Vorbemerkungen

Der Kfz-Verkehr stellt neben Kraftwerken, Industrie und Hausbrand einen der bedeutendsten Verursacher der anthropogenen Umweltbelastungen durch Schadstoffe dar. Die Einführung des Katalysators beim Pkw und die Verschärfung der Abgasgrenzwerte für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge (Lkw und Busse) in der EU seit 1998 führten in den vergangenen Jahren trotz wachsender Motorisierung und Fahrleistung zu teilweise deutlichen Minderungen bei den Emissionen des Kfz-Verkehrs in Deutschland (siehe Tabelle 3.2). Durch die weiter zunehmende Flottenverjüngung mit Fahrzeugen, die ein niedrigeres Emissionsniveau aufweisen, den zunehmenden Einsatz von Rußfiltern bei Dieselfahrzeugen und die sich bis 2008 weiter verschärfenden EU-Grenzwertstufen werden auch für die Zukunft weitere Minderungen – wenn auch auf deutlich geringerem Niveau – prognostiziert (vgl. auch Knörr u. Höpfner, 1998). Trotz dieser positiven Entwicklung bleibt der Verkehrssektor jedoch in einigen Bereichen der Luftreinhaltung weiterhin ein Mitverursacher eines erheblichen Teils der heutigen Umweltprobleme wie Klimawandel und Sommersmog.

Die verkehrsbedingten Schadstoffe entstehen hauptsächlich als Verbrennungsrückstände, Reifen- oder Bremsabrieb, Mineralölverluste oder Verdunstung. Die wesentlichen Luftschadstoffemissionen des Verkehrs, deren mengenbezogene Entwicklung sowie deren Anteil an den Gesamtemissionen ist in Tabelle 3.2 dargestellt:

Tabelle 3.2 Verkehrsverursachte Luftschadstoffe, deren Entwicklung und Bedeutung. (Umweltbundesamt, 2002)

Substanz	Entwicklung der straßenverkehrsbedingten Emissionen von 1990 bis 2000	Anteil der verkehrsbedingten Emissionen an den Gesamtemissionen Stand 1999
Stickoxide (NOx)	- 38%	63,8%
Kohlenmonoxid (CO)	- 64%	k.A.
Kohlendioxid (CO_2)	+ 14%	22,2%
Kohlenwasserstoffe (NMVOC)*	- 81%	23,4%
Feinstaub (PM 10)	- 23%	19,8%

*: flüchtige organische Verbindungen wie Benzol, Benzo(a)pyren etc.

3.3.4.2 Luftschadstoffe – Wirkung auf Mensch und Vegetation

Die gesundheitlich relevantesten verkehrsverursachten Luftschadstoffe sind nach derzeitigem medizinischem Erkenntnisstand die kanzerogenen Substanzen Dieselruß und Benzol sowie Stickoxide in ihrer Eigenschaft als Ozonvorläufersubstanzen. Blei und Schwefeldioxid haben ihre Bedeutung als verkehrsverursachte Luftschadstoffe weitestgehend verloren, da diese als Zusatzstoffe im Kraftstoff nahezu vollständig eliminiert werden konnten (bleifreies Benzin).

Dieselruß ist ein wesentlicher Bestandteil der Feinstäube, der hauptsächlich durch unvollständige Verbrennung von Dieselkraftstoff entsteht. Feinstäube mit einer Partikelgröße unter 10 µm werden als PM_{10} bezeichnet. Feinstäube sind vor allem deshalb besonders gesundheitsgefährdend, weil sie lungengängig sind. Die Ablagerung in den Lungenbläschen ist deshalb problematisch, weil sich an die Rußpartikel krebserzeugende Substanzen wie Schwermetalle oder sehr giftige polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe anlagern. Diese verursachen bei Kindern schon in geringsten Konzentrationen Atemwegserkrankungen. Bei höheren Konzentrationen von Feinstaub und gleichzeitigem Auftreten von Schwefeldioxiden steigt das Risiko für einen mortalen Verlauf der Schädigung der Atemwegsorgane deutlich an.

Benzol ist beim Menschen eindeutig krebserregend, blutschädigend und chromosomenschädigend, unbedenkliche Konzentrationen können deshalb nicht angegeben werden.

Stickoxide: Bei allen Verbrennungsvorgängen wird v.a. Stickstoffmonoxid (NO) emittiert, das in der Luft durch photochemische Reaktionen weiter zu dem gesundheitsschädlicheren Stickstoffdioxid (NO_2) reagiert. Aus NO_2 kann sich Salpetersäure bilden, die an der Bildung des sauren Regens (Waldsterben) beteiligt ist. Als Mitverursacher von saurem Regen schädigen NO_X Baustoffe, Metalle, Kunststoffe , Vegetation, Böden und Gewässer (höhere Nitratwerte). Unter Einwirkung von Sonnenlicht können Stickoxide zu gefährlichen Photooxidantien reagieren, zu denen das Ozon und das noch giftigere Peroxiacetylnitrat (PAN) gehören. Ozon ist Hauptbestandteil des im Sommer auftretenden Sommersmogs. Es wirkt aber auch als Treibhausgas.

Stickstoffdioxid ist ein starkes Reizgas und wirkt auf Schleimhäute, Atemwege und beeinträchtigt die Lungenfunktion. Reversible Ef-

fekte treten bei Expositionen von 30 Minuten gegenüber Werten von ca. 500 µg/m³ auf. Bei höheren Konzentrationen können Veränderungen des Lungengewebes auftreten und das Bakterienabwehrsystem der Lunge geschädigt werden. Chronische Effekte sind aber auch bereits bei niedrigen Konzentrationen zu erwarten. Anzeichen einer chronischen Vergiftung sind Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit und Geschwüre der Schleimhäute.

Kohlenmonoxid: Eingeatmetes Kohlenmonoxid (CO) verdrängt Sauerstoff aus dem Blut, da seine Bindung an das Hämoglobin (Hb) ca. 300-mal stärker als die von Sauerstoff ist. Die Symptomatik, die Folge der verminderten Sauerstofftransportkapazität des Blutes ist, ist stark konzentrationsabhängig: zwischen 5 und 30 Prozent durch CO gebundenem Hämoglobin (Hb-CO) im Blut zeigen sich Sehstörungen, Kopfschmerz, Mattigkeit und Schwindel; höhere Konzentrationen bedingen Lähmungen, Bewusstlosigkeit und schließlich den Tod (ab 60 Prozent Hb-CO). Aufgrund der sehr allgemeinen Symptome sind CO-Vergiftungen nur schwer als solche erkennbar. Anfällig für CO-Effekte sind Herz-Kreislauf-Patienten, da sie einen Sauerstoffmangel schlechter ausgleichen können. Darüber hinaus wirkt CO auch als Treibhausgas.

Kohlendioxid: Die Problematik bei Kohlendioxid ist nicht in einer gesundheitsschädigenden Wirkung auf den Menschen zu sehen, sondern in seiner Eigenschaft als dem zentralen Treibhausgas. Als weitere verkehrsverursachte Treibhausgase wären Kohlenmonoxid, NMVOC und Ozon zu nennen. Die anthropogen erzeugten Treibhausgase verstärken den natürlich existierenden Treibhauseffekt und sorgen so für eine zusätzliche Erwärmung der Erdoberfläche. Wissenschaftler gehen heute davon aus, dass diese Erwärmung u.a. zum Anstieg der Meeresspiegel führen wird und zur Verschiebung der Vegetationszonen. Darüber hinaus wird eine Zunahme von Häufigkeit und Intensität extremer klimatischer Ereignisse wie Orkane, Sturmfluten, Dürrekatastrophen erwartet.

Trotz intensiver Forschung zu den Wirkungen der Luftschadstoffe auf den Menschen und seine Umwelt sind noch längst nicht alle Folgewirkungen vollständig erkannt. Dies gilt insbesondere für die Wirkkomplexe der vielfältigen Luftschadstoffe. Umgekehrt lassen sich die beobachteten und ggf. monetär bewerteten (volkswirtschaftlichen) Schäden durch Luftschadstoffe in einer Region auch nicht eindeutig anteilig den einzelnen Luftschadstoffen zuscheiden.

3.3.4.3 Grenzwerte

Für eine vollständige Wirkungsanalyse der Luftschadstoffe sind sowohl die Emissionen (Übertritt eines Stoffes in die offene Atmosphäre) zu analysieren, um deren Beitrag zur Gesamtbelastung der Natur beurteilen zu können, als auch die Immissionen (Einwirkung von Schadstoffen auf einen bestimmten Ort) zu erfassen, um Aussagen zur direkten Belastung der Bevölkerung treffen zu können. Aufgrund der Bedeutung der Luftschadstoffe für Mensch und Umwelt existieren für die meisten der verkehrsverursachten Luftschadstoffe zwischenzeitlich kraftfahrzeugbezogene Emissionsgrenzwerte. Immissionsgrenzwerte werden hingegen immer im Hinblick auf die Gesamtkonzentration formuliert, der die Bevölkerung ausgesetzt ist.

Die wichtigsten Rechtsgrundlagen und ihre Durchführungsbestimmungen zur Verbesserung der Luftqualität durch Maßnahmen im Verkehrsbereich sind in verschiedenen Richtlinien der Europäischen Union festgelegt und in ergänzenden Tochterrichtlinien spezifiziert (Europäische Union, diverse Jahre). Richtlinien auf europäischer Ebene sind stets in nationales Recht umzusetzen. Bezüglich verschiedener Umweltaspekte ist auf der nationalen Ebene besonders das „Gesetz zum Schutz vor

schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG)“ zu nennen.

Für einige Luftschadstoffe, zu deren Emissionen auch der Verkehr beiträgt, wurden in folgenden Verordnungen und Vorschriften Immissionsgrenzwerte vom Gesetzgeber festgelegt:

- Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über Immissionswerte (22. BImSchV) in der Fassung vom 11.09.2002
- Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz; Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft in der Fassung vom 24.07.2002 (TA-Luft)
- Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Richtlinie VDI 2310, Maximale Immissionswerte (MIK-Werte). Div. Blätter: z.B. Blatt 12 „Stickstoffdioxid“, 2003; Blatt 15 „Ozon“, 2001
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.) (2003): MAK- und BAT-Werte-Liste 2003. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Mitteilung 38 (jährliche Aktualisierung).

Bei den genannten Grenzwerten ist zu beachten, dass sie sich auf unterschiedliche Wirkungsbereiche und somit Personengruppen beziehen. Aus diesem Grund sind sie unterschiedlich definiert und werden nach unterschiedlichen Messverfahren ermittelt.

Die 22. BImSchV in der Fassung vom 11. September 2002 dient der Umsetzung der genannten EU-Richtlinien in deutsches Recht. Hier werden Immissionsgrenzwerte, Toleranzmargen und ggf. Alarmschwellen für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickoxide, Schwebstaub und Partikel (PM_{10}), Blei, Benzol und Kohlenmonoxid sowie Schwellenwerte für Ozon festgelegt. Darüber hinaus werden in der Verordnung die Messverfahren und die Kriterien für die Festlegung der Mindestzahl von Probenahmestellen festgelegt. Ein Auszug der Grenzwerte der 22. BImSchV ist in Tabelle 3.3 zusammengestellt.

Die MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) der Deutschen Forschungsgemeinschaft stellen die maximal zulässigen Konzentrationen von Arbeitsstoffen als Gas, Dampf oder Schwebstoffe in der Luft am Arbeitsplatz dar, bei denen im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird. Zugrunde gelegt werden hier gesunde Personen im erwerbsfähigen Alter. Die MAK-Werte werden jährlich dem medizinischen Erkenntnisfortschritt angepasst. Für Stoffe, die gemäß der MAK-Liste als krebserzeugend eingestuft werden, dürfen keine MAK-Werte angegeben werden, da dies suggerieren würde, dass bei Einhaltung derselben keine Gesundheitsschädigungen mehr einträten. Für diese kanzerogenen Substanzen werden Technische Richtkonzentrationen (TRK-Werte) angegeben, die im Prinzip diejenige Atemluftkonzentration angeben, die technisch machbar sind. Das Risiko ist bei Einhaltung des TRK-Wertes also nicht „null“, wie beim MAK-Wert, sondern „vertretbar klein“.

Unter den MIK-Werten (Maximale Immissionskonzentration) versteht man nach VDI-Definition diejenigen Konzentrationen von festen, flüssigen und gasförmigen Luftverunreinigungen, die nach heutigen Wissensstand im Allgemeinen für Mensch, Pflanze, Tier und Sachgüter bei Einwirkung von bestimmter Dauer als unbedenklich gelten. Ein Individualschutz durch die MIK-Werte wird jedoch ausdrücklich ausgeschlossen. Die von der VDI-Kommission für eine Reihe von Einzelschadstoffen erarbeiteten MIK-Werte (in mg/m^3 Luft in ppm, bei Stäuben in g/m^3) sind als Richtwerte im Gegensatz zu den MAK-Werten ohne rechtliche Bedeutung. In der Regel liegen die MIK-Werte um den Faktor 20 unter den MAK-Werten.

Tabelle 3.3 Auszug der Immissionsgrenzwerte (IGW) zum Schutz der menschlichen Gesundheit. (22. BImSchV)

Schadstoff	Mittelungs-zeitraum	Immissions-grenzwert (IGW)	Erlaubte Über-schreitungen pro Jahr	Zeitpunkt, bis zu dem der Grenzwert einzuhalten bzw. zu unterschreiten ist
O_3*	1 Stunde	180µg/m³	-	21.09.1992
O_3*	8 Stunden	110µg/m³	-	21.09.1992
NO_2**	1 Stunde	200µg/m³	18	01.01.2010
NO_2	Kalenderjahr	40µg/m³	-	01.01.2010
CO	8 Stunden	10mg/m³	-	01.01.2005
PM_{10}***	24 Stunden	50µg/m³	35	01.01.2005
PM_{10}	Kalenderjahr	40µg/m³	-	01.01.2005
Benzol	Kalenderjahr	5µg/m³	-	01.01.2010

* Schwellenwerte

** Bis 31.12.2009 wird der einstündige Grenzwert als 98-Prozentwert der Summenhäufigkeit angegeben, der aus den während eines Jahres gemessenen Mittelwerten über eine Stunde oder kürzere Zeiträume berechnet wird. Ab 1.1. 2010 ist der Immissionsgrenzwert über eine volle Stunde zu mitteln.

*** Bis 31.12.2004 betragen die Immissionsgrenzwerte 150 µg/m^3 (arithmetisches Mittel aller während des Jahres gemessenen Tagesmittelwerte) und 300 µg/m^3 (95-Prozent-Wert der Summenhäufigkeit aller während des Jahres gemessenen Tagesmittelwerte).

Sämtliche Immissionsgrenzwerte beziehen sich auf die Immissionskonzentrationen von einzelnen Luftschadstoffen am betrachteten Ort unabhängig vom Verursacher. Für die gezielte Minderung der Luftschadstoffemissionen einzelner Verursacher sind hingegen Grenzwerte für die Luftschadstoffemissionen direkt am Entstehungsort festzulegen, die in der Regel durch technische Maßnahmen einzuhalten sind. Bei den Luftschadstoffemissionen des Kfz-Verkehrs konnten die wesentlichen Minderungserfolge durch den Einsatz von Katalysatoren und Filtern erzielt werden. Die rechtliche Grundlage für die Verbesserung der Luftschadstoffsituation im Straßenverkehr bilden die EU-Abgasgrenzwerte, die für Pkw und Lkw in den Abbildungen 3.10 und 3.11 dargestellt sind.

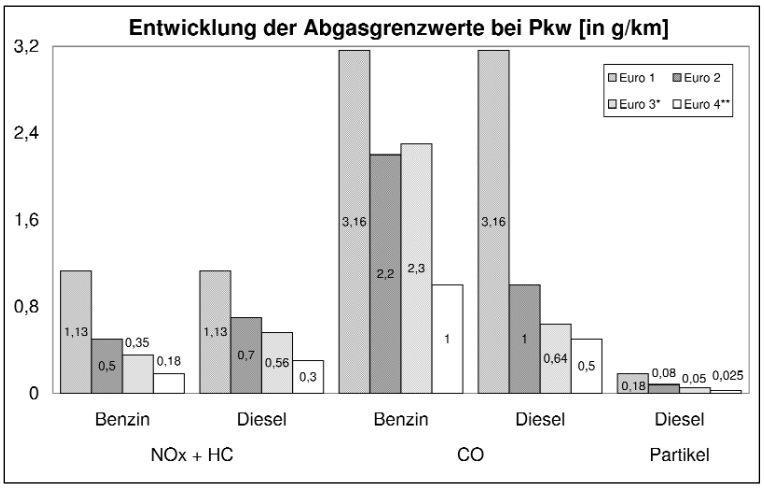


Abb. 3.10 Entwicklung der Abgasgrenzwerte bei Pkw (Euro-Norm)
*: Ab Euro 3 gilt ein verschärftes Messverfahren mit dem Grenzwert für HC von 0,20 g/km und für NOx von 0,15 g/km.
**: Ab Euro 4 gilt der Grenzwert für HC von 0,10 g/km und für NOx von 0,08 g/km. (Eigene Darstellung)

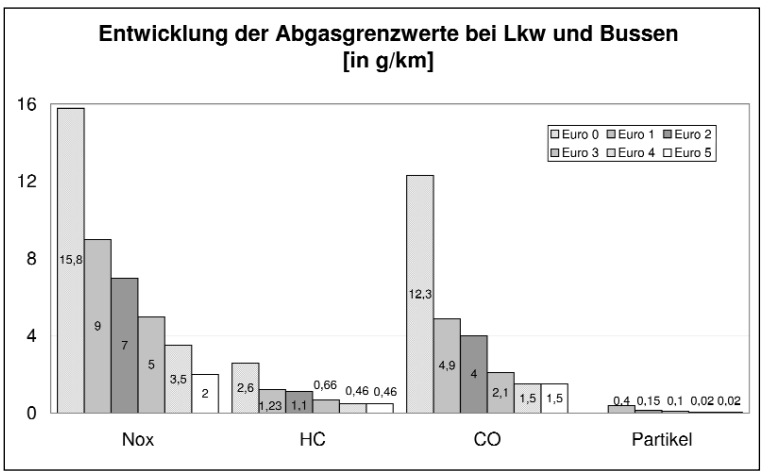


Abb. 3.11 Entwicklung der Abgasgrenzwerte bei Lkw und Bussen (Euro-Norm). (Eigene Darstellung)

3.3.4.4 Luftschadstoffe – Berechnungsverfahren Emissionen

Die in der Bundesrepublik Deutschland maßgebende Datenbasis für Emissionsberechnungen im Verkehr ist das Transport Emission Estimation Model (TREMOD) des Umweltbundesamtes. Es wird kontinuierlich fortgeschrieben und enthält Emissionsfaktoren u.a. für verschiedene Verkehrsmittel und Arten der Energiebereitstellung:

- Kraftfahrzeuge, differenziert nach Fahrzeugschichten, Längsneigung sowie Kalt- und Warmfahrt
- Kraftstoffverdunstung bei Betankung und im Stand
- Kraftstoffherstellung (Raffinierung)
- Stromgewinnung
- Dieseltraktion Schiene (je Zugkilometer im Personenverkehr und je Tonnenkilometer im Güterverkehr)
- Schifffahrt, differenziert nach Schiffstypen.

Für die Berechnung der Luftschadstoffemissionen des Straßenverkehrs wird vom Umweltbundesamt (UBA) zusammen mit dem Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) das Handbuch der

Emissionsfaktoren (HBEFA) herausgegeben, das einen Ausschnitt der TREMOD-Datenbank darstellt. Für Sommer 2004 ist die Herausgabe einer neuen Datenbankversion geplant, die für künftige Berechnungen auch die Verbreitung der Katalysatoren der Stufen EURO 4 und EURO 5 in der Fahrzeugflotte berücksichtigt.

Grundlage für das Handbuch der Emissionsfaktoren ist ein vom TÜV-Rheinland durchgeführtes umfangreiches Messprogramm zur Ermittlung von Abgas-Emissionsfaktoren von Pkw und Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1990. Hierfür wurde die Gesamtflotte in so genannte Fahrzeugschichten unterteilt und jeweils eine repräsentative Fahrzeugstichprobe vermessen. Eine Fahrzeugschicht ist gekennzeichnet durch die Fahrzeugart (Pkw, Leichtes Nutzfahrzeug, Schweres Nutzfahrzeug), die Antriebsart (Benzin, Diesel) und die Emissionsstufe, nach der das Fahrzeug zugelassen wurde (z.B. Euro 3). Eine weitere Unterteilung erfolgte nach Hubraumklassen.

Das Messprogramm liefert im Ergebnis für die genannten Fahrzeugschichten den spezifischen Kraftstoffverbrauch [g/Kfz-km] und die Emissionsfaktoren [g/Kfz-km] für die Luftschadstoffe Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickstoffoxide (ausgewiesen als NO_2) und (Ruß-)Partikel (PA) im genannten Bezugsjahr, die für Pkw differenziert nach 11 Nicht-Autobahn-Fahrmustern – inklusive eines Stop-and-Go-Fahrmusters (Stausituation) und acht Autobahngeschwindigkeitsintervallen (Technischer Überwachungsverein, 1993) sowie für Nutzfahrzeuge differenziert nach sechs Straßentypen (Technischer Überwachungsverein, 1995) angegeben werden. Für alle genannten Messpunkte werden die Werte für den spezifischen Kraftstoffverbrauch und die Emissionsfaktoren noch einmal nach verschiedenen Längsneigungsklassen unterschieden; ebenso sind Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Kaltstarteinflusses bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (LNfz) (Technischer Überwachungsverein 1993) ausgewiesen. Ausgehend von den Emissionsfaktoren für die einzelnen Fahrzeugschichten werden durch Gewichtung mit der jeweiligen Jahresfahrleistung auch Emissionsfaktoren für aggregierte Fahrzeugtypen wie Diesel-Pkw, leichte Nutzfahrzeuge usw. bereitgestellt. Diese empirisch gemessenen Zusammenhänge von diskreten Fahrsituationen und Emissionsfaktoren bilden die Basis für modellgestützte Emissionsberechnungen.

Die Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS-97) benutzen für die Ableitung weiterer Emissionsfaktoren die charakteristischen Geschwindigkeiten der Fahrmuster bzw. die Mittelwerte der verwendeten Geschwindigkeitsintervalle (FGSV, 1997). Diese bilden die Stützstellen für kontinuierliche funktionale Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Emissionsfaktoren.

Die für die Regressionsrechnungen gewählte Form der Schätzfunktion F(V) trägt den beiden Tatsachen Rechnung, dass im Bereich hoher Geschwindigkeiten der mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zunehmende Luftwiderstand als Energieverzehrer (und damit auch – teilweise mit Ausnahme von HC – als Schadstoffproduzent) dominiert und dass im Bereich niedriger Geschwindigkeiten eine Abhängigkeit der Schadstoffemissionen vom Kehrwert der Geschwindigkeit dominant gültig sein muss, da für V = 0 km/h (also bei im Stand laufendem Motor) die Schadstoffemissionsfaktoren (je Kfz-km) ins Unendliche ansteigen müssen. Für die so ermittelten analytischen Funktionen (siehe Formel 3.6 mit den Regressionsparametern c_0, c_1 und c_2) der Emissionsfaktoren aggregierter Fahrzeugtypen konnte ein hohes Bestimmtheitsmaß in der Regression erzielt werden (Cerwenka et al., 1997).

Darüber hinaus werden generell zwei Fahr-

ablaufarten unterschieden, die mit „normaler Fahrgeschwindigkeitsbereich“ einerseits und mit „Stausituation“ (Stop-and-Go-Fahrmuster) andererseits bezeichnet werden. Aus den Werten für die Emissionsfaktoren der diskreten Stop-and-Go-Fahrmuster lässt sich die ergänzende Randbedingung ableiten, dass für Geschwindigkeiten V > 20 km/h stets der normale Fahrgeschwindigkeitsbereich gelten soll; für V ≤ 20 km/h findet hingegen der normale Fahrgeschwindigkeitsbereich nur so lange Anwendung, wie seine Emissionsfaktoren geringer sind als die zugehörigen geschwindigkeitsunabhängigen Werte der jeweiligen Stausituation (c_s). Insgesamt wird für F(V) daher der funktionale Ansatz gemäß Gleichung (3.6) gewählt (siehe unten):

Im Gegensatz hierzu werden bei Berechnungen mit dem Handbuch der Emissionsfaktoren Straßentypen wie Autobahnen ohne Tempolimit, Außerortsstraßen mit gutem Ausbaugrad und gleichmäßiger Kurvigkeit, vorfahrtsberechtigte Hauptverkehrsstraßen innerorts usw. definiert und mit vier verschiedenen Auslastungssituationen verknüpft. Die Auslastungen beziehen sich auf das Verhältnis der stündlichen Belastung Q [Kfz/h] zur maximalen Auslastung QStau, bei der der Verkehrsfluss zum Erliegen kommt (Stop-and-Go-Verkehr), und sind wie folgt definiert:

$$Q < 0{,}65 \cdot Q_{Stau}$$
frei fließender Verkehr, keine Störung (3.7)

$$0{,}65 \cdot Q_{Stau} \le Q < 0{,}85 \cdot Q_{Stau}$$
teilgebundener Verkehr, mittlere Störung (3.8)

$$0{,}85 \cdot Q_{Stau} \le Q < Q_{Stau}$$
gebundener Verkehr, starke Störung (3.9)

$$Q_{Stau} \le Q$$
Stop-and-Go, Stau (3.10)

Mit Hilfe der Kombination aus Straßentyp und Auslastungssituation werden so genannte Verkehrssituationen gebildet, für die Emissionsfaktoren als Linearkombinationen der gemessenen Werte für die Fahrmuster, Geschwindigkeitsintervalle und Straßentypen (Lkw) bereitgestellt werden. Diese Emissionsfaktoren können auch für Fahrten in der Kaltstartphase und verschiedene Längsneigungen (Steigungen und Gefälle) berechnet werden. Weiterhin werden diese für 1990 gemessenen bzw. berechneten Werte über Abminderungsfaktoren in Emissionsfaktoren bis zum Jahre 2020 überführt. Die Angaben zu den Emissionen für die kanzerogenen Kohlenwasserstoffe Benzol und Benzo(a)pyren wurden ergänzend aus einer entsprechenden Literaturstudie abgeleitet (IFEU, 1995).

Die Berechnungsverfahren der aktualisierten Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) 2003 verwenden für die Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs den Ansatz der analytischen Funktionen für die Kraftstoffverbrauchsfaktoren gemäß den EWS-97 (FGSV, 1997) und für die Emissionsberechnungen das Vorgehen des Handbuchs der Emissionsfaktoren. Aufgrund seiner Aktualität wird im vorliegenden Beitrag ausführlicher auf die BVWP-Methodik im Bereich der Emissions- und Immissionsberechnung eingegangen (siehe Abb. 3.12). Diese umfasst auch Bewertungsansätze zur Erfassung der Schädigungen von Mensch und Um-

$$F(V) = \begin{cases} (c_0 + c_1 \cdot V^2 + c_2/V) & \text{für } V > 20 \text{ km/h} \\ \min\{c_s, (c_0 + c_1 \cdot V^2 + c_2/V)\} & \text{für } V \le 20 \text{ km/h} \end{cases} \quad (3.6)$$

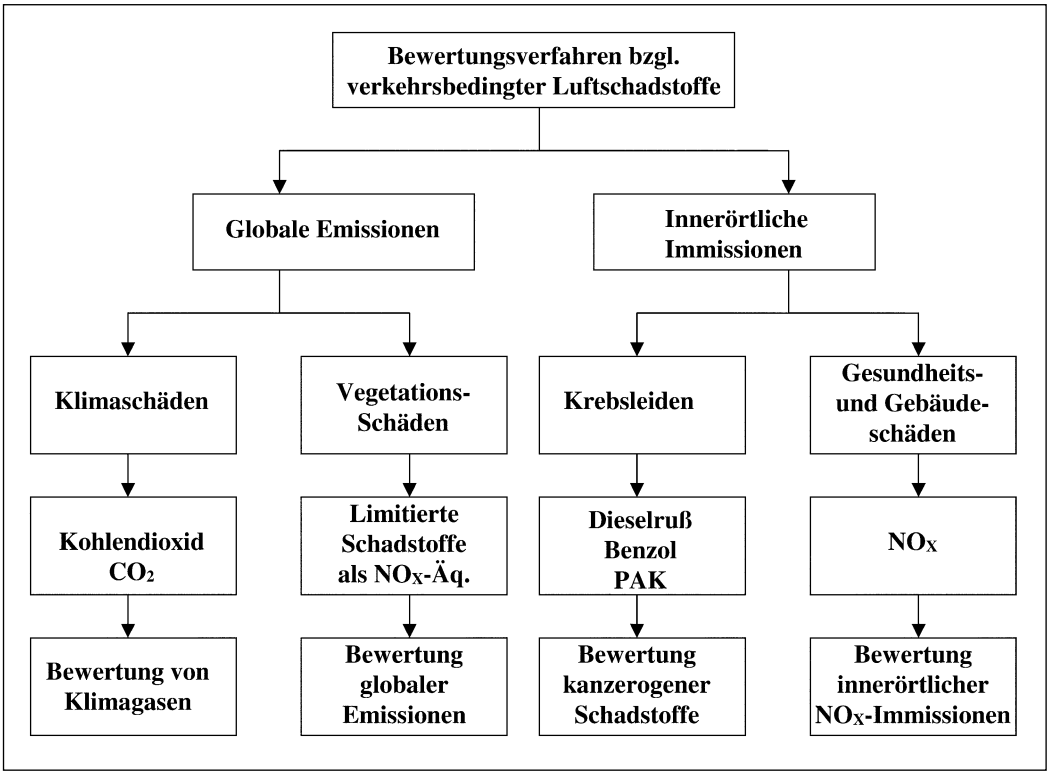


Abb. 3.12 Aufbau der Bewertung der Luftschadstoffemissionen und -immissionen des Verkehrsträgers Straße in der aktualisierten BVWP-Methodik 2003.

welt durch die verkehrsverursachten Luftschadstoffe.

Verkehrliche Bewertungsgrundlage bilden die durchschnittlichen werktäglichen Verkehre je Streckenabschnitt des zu untersuchenden Netzausschnittes. Diese Belastungswerte werden zunächst mit Hilfe regionalspezifischer Faktoren in durchschnittliche tägliche Verkehre an Werktagen, Urlaubswerktagen sowie Sonn- und Feiertagen umgerechnet. Mit Hilfe von standardisierten Tagesganglinien werden hieraus stündliche Belastungswerte ermittelt, aus denen sich je nach Streckentyp die oben beschriebenen stundenfeinen Verkehrssituationen ableiten lassen. Die stündlichen Emissionsmengen je Schadstoffart, Fahrzeugart und Streckenabschnitt ergeben sich abschließend durch Multiplikation der Fahrleistung mit den Emissionsfaktoren. Über Hochrechnungsfaktoren werden die Emissionsmengen auf Stundenbasis auf Jahreswerte hochgerechnet. Diese Art der Berechnung findet ebenso bei den CO_2-Emissionen Anwendung, die als Repräsentant der Treibhausgase berechnet werden.

Die eingangs erwähnte Datenbasis TREMOD wird in den Umweltbewertungen der aktualisierten Methodik der Bundesverkehrswegeplanung für die ergänzenden Emissionsberechnungen zu den Verkehrsträgern Schiene und Binnenschifffahrt eingesetzt.

3.3.4.5 Luftschadstoffe – Berechnungsverfahren Immissionen

Während die hier dargestellte Berechnung der Verkehrsemissionen methodisch weitgehend abgesichert ist, bereitet die modellhafte Ermittlung der Immissionen erhebliche Probleme. Die Schwierigkeiten bestehen dabei vor allem in der Simulation der Schadstoffausbreitung und Schadstoffumwandlung während des Transports, die, um nur einige zu nennen, z.B. von folgenden Faktoren abhängen:

- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Inversionslage
- Temperatur
- Strahlungsintensität der Sonne
- Geländemorphologie
- Bebauung.

Die Simulation dieser Ausbreitungsbedingungen ist mit den bestehenden Modellansätzen nur teilweise möglich. Das Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS 02) (FGSV, 2002b) verwendet z.B. ein relativ einfaches Abklingmodell, mit dem nur die Schadstoffausbreitung im weitgehend freien Gelände abgebildet werden kann. Ähnliches gilt für das Gaußmodell der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft), das mehr für die Beschreibung des großräumigen Transports von Emissionen hoher Quellen (Schornsteine) geeignet ist. Für die kleinräumige Betrachtung der Schadstoffausbreitung in bebauten Straßen kommen häufig einfache Box-Modelle zur Anwendung, die die Straßenschlucht als eine geschlossene räumliche Einheit behandeln, dabei aber Turbulenzen der Luftbewegungen vernachlässigen. Solche mikroskalischen Modelle werden in der Regel für die Berechnungen von Flächen mit einer Kantenlänge von nicht mehr als 500 bis 1.000 m eingesetzt.

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags können diese verschiedenen Modellansätze nicht ausführlich diskutiert werden. Eine grundlegende Beschreibung mathematischer Modelle für Umwandlungs- und Transportvorgänge von Luftschadstoffen findet sich z.B. in Moussiopoulos et al. (1989). Generell ist aber anzumerken, dass auch mit sehr komplexen Ansätzen nur relativ einfache räumliche Situationen simuliert werden können. Zur Ermittlung der Immissionswirkung geplanter Maßnahmen in räumlich komplizierten Gebieten werden daher auch Windkanalmessungen durchgeführt. Diese setzen eine relativ naturgetreue Modellierung des Untersuchungsgebietes voraus, sind also mit einem entsprechenden Aufwand verbunden.

Wie bei den Lärmimmissionen ist darauf hinzuweisen, dass zur Ermittlung einer bestehenden Situation der Luftschadstoffimmissionen im Rahmen der Zustandsanalyse sowohl eine Messung der Immissionskonzentrationen als auch eine Berechnung in Betracht kommen. Die Immissionsmessung hat dabei den Vorteil, auch sehr komplexe Ausbreitungsbedingungen abbilden zu können, die modellmäßig nur schwer zu erfassen sind. Problematisch ist hierbei allerdings, dass Grundbelastungen nicht verkehrlicher Emittenten kaum herausgerechnet werden können sowie dass – vor allem bei Kurzzeitmessungen – durch zufällige Schwankungen der Wirkungsparameter (z.B. Verkehrsstärke, Witterungsverhältnisse) die Repräsentativität der Messergebnisse nicht immer zu gewährleisten ist. Für vergleichende Bewertungen des Ist-Zustandes und künftiger Zustände, z.B. nach der Realisierung von Infrastrukturprojekten (Ortsumgehung) oder technischen Maßnahmen an den Fahrzeugungen, sind jedoch Berechnungen sowohl für den Ist-Zustand als auch für die Situation mit realisierter Maßnahme notwendig.

Die Berechnung der innerörtlichen Immissionswirkungen erfolgt im Rahmen der aktualisierten BVWP-Methodik 2003 auf Basis der oben ermittelten Emissionsfaktoren und durchschnittlicher normierter Immissionskon-

zentrationen. Die Immissionskonzentrationen werden mit mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodellen berechnet, wobei vereinfachend eine Gleichverteilung der Windrichtungen angenommen wird. Daher werden diese Immissionskonzentrationen als durchschnittlich bezeichnet. Die Normierung bezieht sich darauf, dass die Immissionskonzentrationen für typische Bebauungssituationen (Stadtmodellbausteine) ermittelt werden. Die vorgelagerten Emissionsberechnungen dienen der Ermittlung von Emissionsdichten [mg/m·s], mit denen die durchschnittlichen Immissionskonzentrationen gewichtet werden.

Die innerörtlichen Immissionswirkungen auf Menschen und Gebäude werden auf zweifache Weise erfasst. Die Immissionskonzentration von NO_X als Leitkomponente steht für Schädigungen an Gebäuden- und Anlagen sowie Erkrankungen der Atmungsorgane und des Herz-Kreislauf-Systems. Als Indikator werden die so genannten Schadstoff-Einwohner-Gleichwerte (SEG) als Produkt aus Immissionskonzentration der Leitkomponente NO_X mit der betroffenen Anzahl der Anwohner entlang des betrachteten Streckenabschnitts verwendet.

Bezüglich der krebserregenden Luftschadstoffe werden in einer zweiten Komponente die Substanzen Staub, Benzol sowie Benzo(a)pyren als Leitsubstanz für die polyaromatischen Kohlenwasserstoffe berücksichtigt. Für diese wird mit der Maßeinheit „unit risk“ die Wahrscheinlichkeit angegeben, bei einer lebenslangen (70 Jahre) konstanten Exposition gegenüber einer Konzentration von 1µg Schadstoff pro m^3 Atemluft an Krebs zu erkranken. Die für den jeweils betrachteten Streckenabschnitt ermittelten Immissionskonzentrationen werden in Bezug zu dieser Wahrscheinlichkeit gesetzt und hiermit die Zahl der wahrscheinlichen Todesfälle in der Bevölkerung entlang des Streckenabschnitts abgeschätzt.

3.3.4.6 Luftschadstoffe – Bewertungsansätze

Die globalen Emissionen der limitierten (d.h. es existiert ein Langzeitgrenzwert) Luftschadstoffe CO, HC, NO_X, PA und SO_2 stehen im Bewertungsverfahren der aktualisierten Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) 2003 für die Schäden an der Vegetation und dabei speziell für

- Verluste in der Forstwirtschaft
- Verluste an Erholungsmöglichkeiten durch ausbleibende Waldbesuche
- Schäden für die Wasserwirtschaft und den Bodenschutz.

Da die Auswirkungen der einzelnen Luftschadstoffe nicht bekannt sind, werden die emittierten Schadstoffmengen mit den Inversen ihrer Langzeitgrenzwerte bzgl. der Leitgröße NO_X toxisch gewichtet und zu NO_X-Äquivalenten zusammengefasst. Die Schadenskosten für eine Tonne NO_X-Äquivalent ergibt sich aus der Division des erfassten Gesamtschadens für die Bundesrepublik Deutschland durch die gesamte Schadstoffmenge. Er beträgt zum Preisstand 1998 der BVWP-Aktualisierung ca. € 365.

Im BVWP-Verfahren wird Kohlendioxid als Leitkomponente der den Treibhauseffekt verstärkenden Gase verstanden. Für die Bewertung der Kohlendioxid-Emissionen wird ein Vermeidungskostenansatz gewählt. Dieser beschreibt die Aufwendungen einer Volkswirtschaft (pro Tonne CO_2), um die Klimaschutzziele (mindesten 80 Prozent Reduktion des heutigen CO_2-Ausstoßes) durch Umstieg z.B. auf eine Wasserstoffwirtschaft zu erreichen. Ausgehend von Masuhr et al. (1991) kann dieser Vermeidungsansatz mit DM 400 bzw. € 205 je Tonne CO_2 zum Preisstand 1998 angegeben werden.

Der Indikator Schadstoff-Einwohner-Gleichwerte (SEG) steht für schadstoffbedingte Erkrankungen der Atmungsorgane und des Herz-Kreislaufssystems sowie durch Luftver-

unreinigung bedingte Gebäudeschäden. Teilt man die diesbezüglich ermittelte Schadenssumme für die Bundesrepublik Deutschland durch die im Gesamtnetz für das Jahr 1998 unter Verwendung der Stadtmodellbausteine ermittelten Schadstoff-Einwohner-Gleichwerte, so ergibt sich ein Wert von DM 6,60 bzw. € 3,37 je SEG zum Preisstand 1998. Für einen Todesfall infolge der Exposition gegenüber kanzerogenen Luftschadstoffemissionen werden die Schadenskosten im Bewertungsverfahren der aktualisierten BVWP zu 1,54 Mio. DM bzw zu 0,79 Mio. € zum Preisstand 1998 angegeben.

3.3.5 Ablauf und Betrieb

3.3.5.1 Vorbemerkungen

Zu den Grundvoraussetzungen für eine funktionierende Wirtschaft mit ausgeprägter räumlicher Arbeitsteilung gehört eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur. Sofern im Wirtschaftsverkehr das Verkehrssystem in die Logistik des Produktionsprozesses einbezogen wird, sind die Ansprüche an Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit des Transports weiter gestiegen.

Auch im Personenwirtschaftsverkehr werden die „klassischen“ Verkehrsmittel über Straße, Schiene und Flugzeug trotz der rapiden Entwicklung in der Kommunikationstechnologie ihre Funktionen behalten. Mit zunehmender Umwandlung der Wirtschaftsstrukturen in Richtung Dienstleistungsgesellschaft im Informationszeitalter werden neuartige Handels- und Wirtschaftsformen (z.B. e-commerce) auch den Verkehrssektor tangieren.

Einen besonderen Stellenwert nimmt im Rahmen der Stadtverkehrsplanung der Berufsverkehr ein. Es ist evident, dass die Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes eine unmittelbare, auch ökonomische Relevanz hat. Das Verkehrssystem determiniert zunächst primär die Erreichbarkeitsverhältnisse für die ökonomisch relevanten räumlich-funktionalen Verflechtungen. Hierzu gehört z.B. die Erreichbarkeit der Zuliefer- und Absatzmärkte, der Arbeitsplätze, der Versorgungs- und Bildungseinrichtungen und der Freizeiteinrichtungen. Dieses Gefüge steht in einer gegenseitigen, dynamischen Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussgrößen. Treten z.B. in einem Verkehrssystem offensichtliche Unzulänglichkeiten in den Abläufen bspw. durch Kapazitätsengpässe auf, so kann als sekundäre Folge die wirtschaftliche Entwicklung eines Raumes oder einer Stadt hierdurch nachhaltig beeinträchtigt werden, indem z.B. Akteure (Betriebe, qualifizierte Arbeitskräfte) abwandern oder innovative Investitionen verhindert werden. Als deren Folge wiederum kann die Auslastung des betreffenden (Wirtschafts-)Raumes für bestimmte Infrastruktureinrichtungen unter eine Tragfähigkeitsschwelle sinken, so dass durch einen Angebotsabbau weitere Abwanderungen induziert werden. Migrationen dieser Art sind bspw. nach 1989 in den neuen Bundesländern zu beobachten.

Umgekehrt können aber bei einer Verbesserung der Erreichbarkeitsverhältnisse durch Maßnahmen im Verkehrsnetz z.B. Nachfrageströme verlagert werden. So wird die Schaffung einer leistungsfähigen Verkehrsinfrastruktur (z.B. Verkehrsprojekte „Deutsche Einheit“) auch als Voraussetzung für die wirtschaftliche Entwicklung angesehen.

Vor dem Hintergrund der Bedeutung des Verkehrs für die räumliche Struktur ist zunächst die Erreichbarkeit zu sehen, die als Raumüberwindungsaufwand quantifiziert werden kann. Der Raumüberwindungsaufwand stellt sich für die einzelnen Verkehrsteilnehmer als Reisezeit und Transportkosten (Betriebskosten) dar, die z.B. für private Verkehrsteilnehmer, Betriebe und Transportunternehmen als interne Kosten zu Buche schlagen.

Daneben fallen für die Vorhaltung der Ver-

kehrsinfrastruktur Investitions- und Unterhaltskosten an, die im System der Bundesrepublik Deutschland derzeit nahezu vollständig von der öffentlichen Hand getragen werden. Bezogen auf den einzelnen Verkehrsteilnehmer stellen diese Kosten externe Kosten dar, die von ihm selbst also nicht aufgewendet werden müssen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass über Abgaben (z.B. Kraftfahrzeugsteuer, Mineralölsteuer, Tarife) ein Teil dieser Kosten wieder internalisiert wird.

Im Zusammenhang mit den Kosten sind auch die übrigen ökonomisch relevanten Folgen des Verkehrs zu nennen, auch diese fallen zum Teil als externe Kosten an, die dem Verursacher (hier dem Verkehrsteilnehmer) nicht ausschließlich zur Last gelegt werden, sie belasten vielmehr die Gesamtgesellschaft und werden daher den genannten sozialen Kosten des Verkehrs zugerechnet.

Die Quantifizierung dieser Wirkungskomponenten aus Ablauf und Betrieb unterliegt damit der beschriebenen Problematik.

3.3.5.2 Erreichbarkeit/Zeitkosten

Eine der wesentlichen Größen zur Beurteilung von Qualität und Leistungsfähigkeit eines Verkehrssystems stellt der Zeitbedarf dar, der zur Abwicklung der einzelnen Fahrten aufzuwenden ist. Die Bedeutung dieser Größe kommt nicht zuletzt im realen Verhalten der Verkehrsteilnehmer zum Ausdruck, die sowohl ihre Verkehrsmittelwahl als auch ihre Routenwahl überwiegend nach dem Kriterium der zeitkürzesten Wege treffen. In ökonomischer Hinsicht ist die Reise- bzw. Transportzeit für den Wirtschaftsverkehr als Ressource zu betrachten, die auf der Kostenseite zu Buche schlägt. Für den privaten Verkehr ist die Reisezeit vor dem Hintergrund ihrer alternativen Verwendbarkeit von Bedeutung, da der Tageszyklus nur ein begrenztes Zeitbudget zulässt.

Die Beurteilung der Reisezeit ist nicht unabhängig von dem jeweils zugrunde liegenden Fahrtzweck zu sehen. So werden an die Erreichbarkeit häufig aufzusuchender Ziele (z.B. Arbeitsplatz, Versorgungseinrichtungen zur Deckung des täglichen Bedarfs) erfahrungsgemäß höhere Ansprüche gestellt als an Ziele, die seltener frequentiert werden (z.B. Versorgungseinrichtungen zur Deckung des spezialisierten Bedarfs). Demzufolge werden nach den RAS-N (FGSV, 1988) Anforderungen an die Erreichbarkeit zentraler Orte in Abhängigkeit von ihrer Versorgungsfunktion (ausgedrückt durch die Zentralitätsstufe des Ortes) beschrieben.

Für die Zustandsanalyse der Erreichbarkeiten in städtischen Verkehrsnetzen wird auf Basis einer innergemeindlichen Gliederung analog hierzu vorgegangen. Da für die innerörtlichen Verbindungen keine definierten Anspruchsniveaus hinsichtlich anzustrebender (Höchst-) Erreichbarkeiten definiert sind, geben die Häufigkeitsverteilungen der Reisezeiten Aufschluss über die lokalen Erreichbarkeitsverhältnisse im untersuchten Netz.

Die Reisezeiten der relevanten Verbindungen sind einmal abhängig von der jeweils im Verkehrsnetz gewählten Route, wobei in der Regel der zeitkürzeste Weg zugrunde zu legen ist. Im ÖPNV werden die Reisezeiten für diese Routen im Wesentlichen durch die Fahrpläne bestimmt.

Im motorisierten Individualverkehr determinieren (neben der Länge) die auf den einzelnen Abschnitten der Route erzielbaren Geschwindigkeiten die Reisezeiten, die von der Streckencharakteristik auf der einen Seite und der Höhe und Zusammensetzung der Verkehrsbelastung auf der anderen Seite abhängen. Diese Geschwindigkeiten können entweder durch Reisezeitmessungen oder durch ein Verkehrsablaufmodell ermittelt werden.

Mit einem makroskopischen Verkehrsablaufmodell (Fundamentaldiagramm) werden die mittleren Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung und der Aus-

baucharakteristik des betreffenden Straßenabschnittes durch streckentypabhängige Geschwindigkeits-/Verkehrsstärke-Funktionen (Q-V-Diagramme) abgebildet. Als charakteristisch für derartige Modelle können die Ansätze aus dem BVWP (BMVBW, 2003), dem HBS (FGSV, 2001) und den EWS (FGSV, 1997) angesehen werden. Voraussetzung für die Anwendung der Verfahren ist eine entsprechende Typisierung der Einzelabschnitte des Straßennetzes nach ihren baulichen und betrieblichen Merkmalen sowie die Zuordnung zu vorliegenden Q-V-Diagrammen.

Im Rahmen der Wirkungsanalyse sind im Hinblick auf die ökonomisch relevanten Zeitkosten die Veränderungen der Gesamtreisezeiten im Netz infolge der untersuchten Maßnahmen von besonderem Interesse. Diese Gesamtreisezeiten der Straßennutzer (hier der Teilnehmer im Kfz-Verkehr) werden durch die Fahrtweiten der gewählten Routen (die mittels Verkehrsumlegung zu berechnen sind) und wiederum durch die auf diesen Routen erzielbaren Geschwindigkeiten bestimmt. Die bekannterweise vorliegende zeitliche Varianz der Verkehrsbelastungen (bspw. in Form von Tagesganglinien) kann dabei mit Hilfe modellmäßiger Verfahren nachgebildet werden z.B. mit Hilfe typisierter Dauerlinien, d.h. zu Stundengruppen zusammengefasster Zeitabschnitte mit annähernd gleicher Verkehrsstärke. Für jede dieser Stundengruppen können mit Hilfe des oben beschriebenen Verkehrsablaufmodells die Pkw- und Lkw-Geschwindigkeiten berechnet werden.

Die für den Pkw- und Lkw-Verkehr jeweils ermittelten Gesamtreisezeiten können daraufhin mit Zeitkostenansätzen monetär bewertet werden (siehe EWS (FGSV, 1997)).

Diese Kostensätze repräsentieren für den Güterverkehr neben den Lohnkosten für Fahrer und Beifahrer auch die Fahrzeugvorhaltekosten, was Auswirkungen von Reisezeitveränderungen auf die Fuhrparkbestände implizieren kann. Für den Pkw-Verkehr wird eine Bewertung aus einer Umlegung des Volkseinkommens auf die Arbeitstunden und die Nicht-Arbeitstunden heraus vorgenommen, was eine alternative Verwendbarkeit von Zeiteinsparungen unterstellt.

Eine Problematik bei der ökonomischen Bewertung von Reisezeitsummen besteht darin, dass minimale Zeitgewinne auf einzelnen Strecken multipliziert mit der Anzahl der betroffenen Fahrzeuge und summiert über alle Stunden eines Jahres bei hohen Verkehrsbelastungen zu erheblichen Summen eingesparter „Zeitkosten“ führen können, die jeweilige Zeitersparnis für den einzelnen Verkehrsteilnehmer ist dabei möglicherweise nicht alternativ nutzbar. Um dies zu vermeiden, kann eine Mindestschwelle vorgegeben werden, ab der eine Zeitersparnis in die Bewertung einbezogen wird.

Unter den Betriebskosten werden im Straßenverkehr sowohl die (in erster Näherung) geschwindigkeitstunabhängigen Kostenkomponenten wie Abschreibung (soweit fahrleistungsabhängig), Reifenverschleiß, Instandhaltung, Wartung und Schmierstoffe als auch die geschwindigkeitsabhängigen Kraftstoffverbrauchskosten subsumiert. Die Höhe der Betriebskosten wird im Wesentlichen von der Fahrleistung und der Art des Verkehrsablaufs determiniert. Sie werden daher – ähnlich wie die Zeitkosten – unter Berücksichtigung der zeitlichen Varianz der Verkehrbelastungen beispielsweise mit Hilfe der Dauerlinien jeweils für ein gesamtes Jahr ermittelt.

Einen besonderen Stellenwert innerhalb der Betriebskosten nimmt der Kraftstoffverbrauch ein. Aus diesem Grund werden Veränderungen des Kraftstoffverbrauchs neben den Betriebskosten in Wirkungsanalysen als eigenständige Wirkungskomponente häufig auch separat behandelt. Da der Kraftstoffverbrauch eine Teilkomponente der Betriebskosten darstellt, ist eine Doppelbewertung zu vermeiden.

3.3.5.3 Trennwirkungen

Straßen und Schienenwege wirken sich sowohl durch die Anlage als auch durch den Betrieb trennend auf räumlich-funktionale Beziehungen aus. Im Zusammenhang mit den Folgen des Verkehrs auf den Menschen stehen dabei die Trennwirkungen für die nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer im Vordergrund. Diese Beziehungen kommen weitgehend im Fußgängerverkehr zum Ausdruck; daneben betrifft die Trennwirkung auch jene Aufenthaltsfunktion des Straßenraums, die nicht verkehrliche, d.h. beispielsweise auch nicht zielgerichtete Aktivitäten wie das Spiel der Kinder umfassen.

Die Trennwirkung durch Verkehrswege schlägt sich als primäre Folge zunächst in Zeitverlusten durch Wartezeiten bzw. Umwege zur Überquerung eines Verkehrweges nieder; spezifische verkehrstechnische Maßnahmen sollen dazu beitragen, Trennwirkungen in akzeptablen Grenzen zu halten. Längerfristig kann die Trennwirkung jedoch zu einer nachhaltigen Veränderung der räumlich-funktionalen Beziehungen führen, die sich negativ auf die gewachsene Struktur einzelner Stadtteile auswirkt. Darüber hinaus kann aus der Trennwirkung die Zerschneidung soziologischer Einheiten resultieren. Kommt es zu kleinteiligen „Inselbildungen“, so kann der insbesondere für Kinder wichtige Erlebnisraum im Freien, aber auch die Qualität des wohnungsnahen Umfeldes stark eingeschränkt werden.

Zur Quantifizierung der Zeitverluste als Indikator der Trennwirkung ist der Weg zwischen potentieller Quelle und potentiellem Ziel einer Aktivität zu betrachten (die Analyse der tatsächlich zu beobachtenden Interaktionen ist nicht ausreichend, da gerade dass Ausbleiben einer Aktivität Ausdruck einer hohen Trennwirkung sein kann). Die Zeitverluste setzen sich zusammen aus dem Zeitverlust für Umwege, den Wartezeiten am Fahrbahn- bzw. Schienenrand und dem Überquerungsaufwand des Verkehrswegs selbst. Zur Berechnung der Zeitverluste für Umwege kann auf Untersuchungen über zielspezifische Fußgängergeschwindigkeiten zurückgegriffen werden; hier sind Werte etwa zwischen 0,7 und 1,8 m/s zu finden. Im Kapitel „Anlagen für den Fußgängerverkehr“ im HBS (FGSV, 2001) werden diese Werte durch Angleichungsfaktoren präzisiert nach Verkehrszweck, Längsneigung, Treppen und Gegenverkehr zur Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Fußgängerdichte. Als Mittelwert wird eine Grund-Gehgeschwindigkeit von 1,34 m/s bei durchschnittlicher Zusammensetzung des Verkehrsstroms im normalen Werktagsverkehr, bei trockener Witterung und auf ebenen Wegen, im Einrichtungsverkehr bei sehr geringer Fußgängerverkehrsstärke angegeben. Diese eigentlich für den Längsverkehr ermittelte Gehgeschwindigkeit wird auch den Betrachtungen zur Querung der Fahrbahn zugrunde gelegt, die für die Trennwirkung maßgebend sind.

Die Wartezeiten und der Überquerungsaufwand werden von folgenden Faktoren bestimmt:

- Verkehrsbelastung
- Fahrgeschwindigkeit
- bauliche Ausbildung des Verkehrsweges
- Breite
- Mitteltrennung
- Dammlage oder Einschnitt
- Querungshilfen
- Art der Anlage (Zebrastreifen, Furt, Ober- bzw. Unterführung)
- räumliche Lage und Abstand der Anlagen
- Schließart bei Schienenwegen (Andreaskreuz, Halbschranke, Vollschranke)

Angaben zur Barrierewirkung der Straße für den Fußgänger finden sich detailliert in Schnabel (1997), wobei der Überquerungsaufwand einer Straße für Fußgänger als Wahrscheinlichkeitsverteilung von Fußgängerwartezeiten nach einem Berechnungsmodell beschrieben wird. Als Beispiel wird für eine 7,00 m breite

Fahrbahn eine erforderliche Zeitlücke zum Überschreiten (Querungszeitlücke) von 8 s angenommen. Die durchschnittliche Fußgängerwartezeit bei einer Fahrbahnbreite von 7,5 m und einer Verkehrsstärke von q = 500 Kfz/h wird mit 6,9 s angegeben.

Die Wartezeiten an Lichtsignalanlagen und Fußgängerfurten sind von den Signalprogrammen und der Betriebsart abhängig und daher gesondert zu ermitteln RILSA (FGSV, 1992). Die zulässigen mittleren Wartezeiten werden nach dem HBS (FGSV, 2001) im Kapitel „Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen" ermittelt und gehen als Grenzwerte für die Qualitätsstufen (A bis F) der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen in die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs ein.

Aus Gründen der Verkehrssicherheit soll nach RILSA (FGSV, 1992) die maximale Sperrzeit an Lichtsignalanlagen für Fußgänger 60 s nicht überschreiten, da die Fußgänger sonst die Rot-Signale missachten. Bei Anwendung der angegebenen maximalen Sperrzeit von 60 s entspricht dies einer mittleren Wartezeit von ≤ 30 s, womit nach HBS (FGSV, 2001) lediglich eine Qualitätsstufe D erreicht werden kann.

Für die Wirkungsanalyse der Trennwirkung in großen Netzen liefern die Verfahren zur Bundesverkehrswegeplanung einen pragmatischen Ansatz, der allerdings in erster Linie auf die Bewertung von Ortsdurchfahrten im Zuge von Bundesfernstraßen abstellt (vgl. BMVBW, 2003). Auf der Basis von standardisierten Stadtmodellbausteinen werden dort über 100 Bebauungssituationen (Flächennutzung, Art und Höhe der Bebauung) differenziert. Jeder Baustein stellt neben Strukturmerkmalen Angaben zur Straßenraumbreite sowie zur Anzahl von Einwohnern, Beschäftigten und Aufenthaltsbetroffenen bereit.

Auf dieser Grundlage wird für jeden Netzabschnitt die Summe der Zeitverluste eines Jahres errechnet. Die Wartezeiten werden in Abhängigkeit vom jeweiligen Straßentyp durch die Parameter:

- Anzahl betroffene Anwohner,
- Überquerungshäufigkeit je betroffenen Anwohner und Tag sowie
- Wartezeiten in Abhängigkeit von der stündlichen Verkehrsstärke

bestimmt.

Damit können als Summe der Zeitverluste über alle Netzabschnitte die Veränderungen der Trennwirkungen von Maßnahmen für ein Gesamtnetz dargestellt werden.

Basis der sehr kleinräumigen Informationen sind die so genannten ATKIS-Daten der Landesvermessungsämter (Amtliches topografisch-kartografisches Informationssystem), die für die Zwecke der BVWP komplettiert wurden. Das Verfahren kann verfeinert werden, indem statt der pauschalen Annahmen über die Randbedingungen und die Anwohneranzahl die tatsächlichen Verhältnisse differenziert erhoben werden.

Für die Zustandsanalyse ist schließlich die Frage nach Grenz- bzw. Zumutbarkeitswerten einer Trennwirkung von Bedeutung. Einen Ansatz bieten die Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen R-FGÜ (BMVBW, 2001) mit der Vorgabe von Kombinationen von Grenzwerten der Fußgängerverkehrsstärken und Fahrzeugverkehrsstärken, ab der der Einsatz von Fußgängerüberwegen (Zebrastreifen) möglich ist bzw. empfohlen wird. Der Einsatz von Fußgängerüberwegen ist bei 200 Kfz/h möglich und wird ab 300 Kfz/h empfohlen. Ab 450 Kfz/h können Fußgänger-Lichtsignalanlagen eingesetzt werden. Unterhalb des möglichen/empfohlenen Einsatzbereiches sind – wenn überhaupt erforderlich – in der Regel bauliche Querungshilfen ausreichend. Weitere Aussagen zu Einsatzbereichen für Querungsanlagen sind in den Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen EFA (FGSV, 2002a) enthalten. Hier wird der Zusammenhang zwischen Fahrzeugverkehrs-

stärke, Fußgängerverkehrsstärke und zulässiger Höchstgeschwindigkeit berücksichtigt. Querungsanlagen sind demnach in der Regel entbehrlich

- wenn kein besonders ausgeprägter Querungsbedarf besteht,
- wenn bei V_{zul} = 30 km/h die Kfz-Verkehrsstärke ≤ 500 Kfz/Spitzenstunde im Querschnitt oder
- wenn bei V_{zul} = 50 km/h die Kfz-Verkehrsstärke ≤ 250 Kfz/h im Querschnitt beträgt.

Diese Werte bieten sich grundsätzlich für die Zustandsanalyse an. Es liegt jedoch auf der Hand, dass nicht alle Straßen undifferenziert betrachtet werden sollten. So ist eine Straße mit vorrangiger Aufenthaltsfunktion anders zu beurteilen als etwa eine Straße mit überwiegender Verbindungsfunktion.

In den EWS (FGSV, 1997) wird die Trennwirkung durch Straßen gegenüber Fußgängerquerungen auf der Grundlage derjenigen Zeitverluste eines Jahres operationalisiert und bewertet, die Fußgänger beim angenommenen täglichen dreimaligen Überqueren der Fahrbahnen hinnehmen müssen. Die Trennwirkung ist abhängig von baulichen und verkehrlichen Merkmalen, die in definierten Straßentypen zusammengefasst sind und denen bestimmte Verkehrsbelastungen in den jeweils vier höchstbelasteten Stundengruppen der Dauerlinie (insgesamt 2100 h/a) zugerechnet werden.

Die Zeitverluste setzen sich zusammen aus Wartezeiten für die Querung des jeweiligen Straßentyps und möglichen Verlustzeiten für Umwege. Wenn die Trennwirkung so groß wird, dass weniger als drei Querungen auftreten, weil die Anwohner sich anders orientieren, so wird diese Neuorientierung genauso bewertet wie die Zeitverluste, die die Fußgänger hätten, wenn sie ihre alten Wege beibehalten würden.

Für die zu untersuchenden Netzabschnitte werden die Anzahl der betroffenen Anwohner detailliert pro Richtung und Randbebauung ermittelt bzw. wird bei nichtverfügbaren Daten ein Näherungsverfahren in Abhängigkeit der Straßentypen zur Abschätzung der Betroffenheiten angegeben.

Die Gesamtwartezeit wird über alle Netzabschnitte und Fahrbahnseiten als [Pers.h/a] ermittelt und mit dem angegebenen Zeitkostensatz der Fußgängerstunde monetarisiert, woraus sich die jährlichen Kosten für Trennwirkungen ergeben; in den EWS (FGSV, 1997) wird ein pauschaler Zeitkostensatz von 9,50 DM/(Pers.h) ausgewiesen.

Ebenso ist eine zweite Problematik der Trennwirkung von Bedeutung, nämlich die Zerschneidung soziologischer Einheiten, die mit der Quantifizierung der Zeitverluste nicht erfasst werden kann. In diesem Zusammenhang steht das planerische Konzept der Quartierbildung und der Verkehrsberuhigung. Nach dem in den Richtlinien (vgl. RAS-N (FGSV, 1988)) niedergelegten Konzept wird das Gemeindegebiet in zusammenhängende Bereiche (Quartiere) gegliedert, innerhalb derer die Grundversorgung sichergestellt wird (z.B. mit Gütern des täglichen Bedarfs, einem Kindergarten u.a.m.). Daneben gibt es Quartiere, die eine über ihre Selbstversorgung hinausgehende, zentrale Bedeutung aufweisen (z.B. Angebot höher qualifizierter Güter, Dienstleistungs- und Verwaltungseinrichtungen). Diese Quartiere werden auch von den Grundversorgungsquartieren aus aufgesucht.

An die Straßen innerhalb der Quartiere wird ein höheres Anspruchsniveau gegenüber auftretenden Trennwirkungen gestell, als etwa an die Tangentialen, auf denen der (quartiersfremde) Verkehr gebündelt werden soll. Nach den Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen EAE (FGSV, 1985/95), die ähnlich wie die RAS-N von einem hierarchischen Konzept der Netzgestaltung ausgehen, werden in Abhängigkeit von der Funktion einer Straße Richtwerte für die maximale Ver-

kehrsbelastung in der Spitzenstunde vorgegeben. Sie reichen je nach Straßenfunktion von 60 Kfz/h (Anliegerstraßen in Wohngebieten) bis zu 1.400 Kfz/h (Hauptsammelstraßen in Industriegebieten). Die Berücksichtigung derartiger funktionsabhängiger Anspruchsniveaus bezüglich der Trennwirkung setzt voraus, dass bereits im Rahmen der Zustandsanalyse konzeptionelle planerische Vorstellungen über eine Quartier- und Netzgestaltung vorhanden sind.

Literatur

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz (BUWAL), Bern:
- BUWAL (1999): Handbuch der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs; Datenbank-Version 1.2
- BUWAL (2003): Umwelt Schweiz 2002: Die Umwelt unter Druck – Lärm

Bundesminister für Verkehr (BMV) (Hrsg.):
- BMV (1990): Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen RLS-90. Bonn
- BMV (1993a): Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen – Bewertungverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992, Heft 72 der Schriftenreihe des BMV, Schlussbericht zum FE-Vorhaben 90372/92 des BMV, durchgeführt von Planco Consulting, Essen, BVU Beratergruppe Verkehr und Umwelt, Freiburg, und Ingenieurbüro Heusch/Boesefeldt. Aachen
- BMV (1993b): Lärmschutz im Verkehr, Informationsbroschüre zu technischen und rechtlichen Grundlagen, Lärmschutzmaßnahmen, Gesetzen und Verordnungen. Bonn

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) (2001): Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen (R-FGÜ). Berlin

Cerwenka, P.; Klamer, M.; Dischinger, N.; Walther, Ch. (1997): Anwendungsorientierte Ermittlung von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in Deutschland für die Neufassung der RAS-W (EWS). In: Straßenverkehrstechnik 41, 1, S. 17-25

Deutsche Bundesbahn (1990): Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen Schall 03. München

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (2003): MAK-und BAT-Werte-Liste 2003. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Mitteilung 38 (jährliche Aktualisierung)

ECOPLAN (1997): Externalitäten im Verkehr – methodische Grundlagen und Leitfaden, Forschungsauftrag 19/95 auf Antrag der Vereinigung Schweizer Straßenfachleute. Bern

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmisionsschutzgesetz (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) vom 24.07.2002

Europäische Union (1996): Richtlinie 96/01/EG, Amtsblatt L40 vom 17.2.1996 und Richtlinie 99/96/EG, Amtsbl. L44 vom 16.2.2000 über Emissionen von Dieselmotoren (EURO III und EURO IV für Lkw und Busse)

Europäische Union (1996): Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung

Europäische Union (1996): Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität

Europäische Union (1996): Richtlinie 96/69/EG des Rates vom 1. November 1996 über die Abgasemission von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (EURO III und EURO IV Regelungen)

Europäische Union (1998): Richtlinie 98/69/EG des Rates vom 28. Dezember 1998 über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen

Europäische Union (1999): Richtlinie 99/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft – 1. Tochterrichtlinie

Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft – 2. Tochterrichtlinie

Europäische Union (2001): Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe – NEC-Richtlinie

Europäische Union (2002): Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft – 3. Tochterrichtlinie

Europäische Union (2002): Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm („Umgebungslärmrichtlinie"). In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 18.07.2002, L189/12-25, deutsche Fassung (DE)

Feldhaus, G. u. Hansel, A. D. (1997): Praxis Umweltrecht: Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) u.a. Texte, C.F.Müller Verlag, Heidelberg, 11. Auflage

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:

– FGSV (1988): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes (RAS-N)
– FGSV (1992): Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) – Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr (berichtigter Nachdruck 1998)
– FGSV (1985/95): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE 85/95)
– FGSV (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – Entwurf (EWS) – Aktualisierung der Richtlinien zur Anlage von Straßen – Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W) 1986
– FGSV (2001): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)
– FGSV (2002a): Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA)
– FGSV (2002b): Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung (MLuS 02)
– FGSV (2003): Neue Anforderungen an die Verkehrsplanung durch veränderte EU-Umweltgesetzgebung – Vorläufige Hinweise für die Umsetzung in der Praxis

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BlmSchG). In der Fassung vom 26. September 2002. Bundesgesetzblatt 2002

Knörr, W. u. Höpfner, U. (1998): TREMOD – Schadstoffe aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland. In: Schmidt, M.; Höpfner, U. (Hrsg.): 20 Jahre ifeu-Institut, Engagement für die Umwelt zwischen Wissenschaft und Politik. Braunschweig/Wiesbaden, S. 115-128

Masuhr, K.P.; Eckerle, K.; Bradke, H. et al. (1991): Konsistenzprüfung einer denkbaren zukünftigen Wasserstoffwirtschaft, Forschungsbericht FE 0326630 D im Auftrag des BMFT, erstellt durch Prognos AG und Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung. Basel/Karlsruhe

Meewes, V. (2002): Kostensätze für die volkswirtschaftliche Bewertung von Straßenverkehrsunfällen Preisstand 2000. In: Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 2002

Moussiopoulos, N,; Oehler, W.; Zeller, K. (1989): Kraftfahrzeugemissionen und Ozonbildung. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York

Patyk, A. u. Höpfner, U. (1995): Komponenten-Differenzierung der Kohlenwasserstoffemissionen von Kfz – Ermittlung von Faktoren zur Bestimmung der differenzierten Kohlenwasserstoffemissionen bei Kfz zur Erfüllung der Anforderungen des § 40.2 BlmSchG, Forschungsbericht 1050669 im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt durch das ifeu-Institut. Heidelberg

PLANCO (1999): Modernisierung der Verfahren zur Schätzung der volkswirtschaftlichen Rentabilität von Projekten der Bundesverkehrswegeplanung, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn/ Essen

PLANCO (2000): Numerische Aktualisierung interner und externer Beförderungskosten für die Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) auf den Preisstand des Jahres 1998, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn/Essen

Schnabel, W. u. Lohse, D (1997): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung – Band 1. Verkehrstechnik. – 2., neu bearb. Aufl. Verlag für Bauwesen, Berlin

SVS (2003): Sicherung des Verkehrs auf Straßen, Empfehlungen des Instituts für Straßenverkehr (ISK). Nr. 12, Köln

Technischer Überwachungsverein (TÜV) Rheinland (1993): Abgasemissionsfaktoren von Pkw in der Bundesrepublik Deutschland – Abgasemissionen von Fahrzeugen der Baujahre 1986 bis 1990. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin

Technischer Überwachungsverein (TÜV) Rheinland (1995): Abgas-Emissionsfaktoren von

Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1990. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin

Umweltbundesamt und Statistisches Bundesamt (2002): Umweltdaten Deutschland 2002. Berlin-Brandenburg

Verein Deutscher Ingenieure: Richtlinie VDI 2310, Maximale Immisionswerte (MIK-Werte) div. Blätter, unterschiedliche Erscheinungsdaten

Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes – 22. BlmSchV (2002): Verordnung über Immissionswerte vom 11. September 2002: Bundesgesetzblatt 2002

3.4 Investition und Erhaltung

3.4.1 Vorbemerkungen

In die ökonomischen Wirkungsanalysen von Maßnahmen sind die Infrastrukturkosten einzubeziehen, die für die dauerhafte Realisierung der Maßnahmen aufzuwenden sind. Diese setzen sich aus den einmaligen Herstellungskosten (Investitionskosten für den Neubau), der baulichen Erhaltung und dem betrieblichen Unterhalt zusammen. Die bauliche Erhaltung besteht aus

- der baulichen Unterhaltung (Instandhaltung): örtlich-punktuelle oder kleinflächige Maßnahmen
- der Instandsetzung (größerflächige Maßnahmen) und
- der Erneuerung (FGSV, 2001).

Der betriebliche Unterhalt berücksichtigt darüber hinaus die Arbeiten zur Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft wie Reinigungs-, Kontroll-, Pflegearbeiten und den Winterdienst.

Die bauliche Erhaltung und der betriebliche Unterhalt sind Folgekosten von Infrastrukturinvestitionen, die in Zeiten knapper Kassen der öffentlichen Hand immer mehr in das Zentrum der Betrachtung rücken. Folgekosten sind auch ein wesentlicher Aspekt der Nachhaltigkeitsdiskussion, die danach fragt, welche Verpflichtungen die heutige Generation für kommende Generationen eingeht. Dabei ist in Bezug auf Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur allerdings zu bedenken, dass zwar Kosten für kommende Generationen entstehen, ebenso aber auch die Nutzungsdauer der Verkehrsinfrastrukturen anteilig in deren Lebenszeit fällt.

Die Erhaltung der bestehenden Straßennetze (Bestandsnetze) beansprucht heute bereits etwa die Hälfte aller Haushaltsmittel, die über-

haupt für Investitionen in die Straßeninfrastrukturen zur Verfügung stehen. Trotzdem hat sich der Zustand der Straßennetze in Deutschland in den letzten Jahren deutlich verschlechtert. Deswegen setzt die Bundesregierung in diesem Bereich auf die Privatfinanzierung in Form des sogenannten A-Modells, das dem Ausbau bestehender Straßen durch zusätzliche Fahrstreifen sowie dem Betrieb und der Erhaltung aller Fahrstreifen dient. Ein privater Betreiber übernimmt die genannten Aufgaben und erhält dafür einen entsprechenden jährlichen Betrag, der mit den Einnahmen aus der Lkw-Maut (fahrleistungsabhängige Straßenbenutzungsgebühr für Lkw ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 12 Tonnen) gegenfinanziert wird.

Auch wenn Neubau und Erhaltung im Bundeshaushalt in getrennten Titeln geführt werden, so konkurrieren Neubau und Erhaltung dennoch letztlich um die für die Verkehrsinfrastrukturen insgesamt zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel. Das vorliegende Kapitel 3.4 beschreibt zunächst den bisherigen Stand zur Berücksichtigung von Investitions- und Unterhaltungskosten in den gängigen Bewertungsverfahren für Neubaumaßnahmen (BMV 1993; BMVBW, 2000; FGSV, 1997). Ergänzend wird jedoch auf neuere Entwicklungen zur Bewertung und Prioritätenreihung bei Erhaltungsmaßnahmen an Straßen und Ingenieurbauwerken eingegangen. Hierbei wird gezeigt, dass Neubau- und Erhaltungsmaßnahmen mit einem einheitlichen methodischen Ansatz volkswirtschaftlich bewertet werden können, die verfügbaren Datengrundlagen (Verkehrsmengengerüste) jedoch in der Regel vereinfachende Bewertungsansätze notwendig machen.

3.4.2 Neu- und Ausbau (Herstellungskosten)

Gemäß Anweisung zur Kostenberechnung für Straßenbaumaßnahmen (AKS) ist bei der Ermittlung der Investitionskosten nach Hauptgruppen der Bauleistungen bzw. nach Anlageteilen zu unterscheiden (BMV, 1985). Im Rahmen von Nutzen/Kosten-Analysen stehen die Investitionskosten im Nenner des Nutzen/Kosten-Quotienten, denen im Zähler die (monetarisierten) volkswirtschaftlichen Nutzen gegenüber gestellt werden. Im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung (BMV, 1993; PLANCO, 1999; PLANCO, 2000) werden die aus einer Investition resultierenden jährlichen Unterhaltungskosten als negative Nutzen im Zähler des Nutzen/Kosten-Quotienten geführt, bei den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS-97) (FGSV, 1997) sind sie als Folgekosten der Maßnahme Bestandteil der Kosten und damit Summand im Nenner des Nutzen/Kosten-Quotienten.

Bei zahlreichen Bewertungsverfahren, wie auch bei den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS-97), werden die Investitionskosten der Maßnahmen in Annuitäten (jährliche Investitionskosten unter Berücksichtigung von Zinsen) überführt. Dieses Vorgehen ermöglicht den direkten Vergleich der Kosten einer Maßnahme mit ihren meist für ein Prognosejahr ermittelten monetarisierten volkswirtschaftlichen Wirkungen (Nutzen).

Die Annuität einer Maßnahme, z.B. eines neuen Straßenabschnitts, wird additiv aus den Annuitäten der Bauteile (Unterbau, Oberbau, Straßenausstattung etc.) und der Ingenieurbauwerke (Brücken, Stützwände etc.) ermittelt. Bei unterschiedlichen (theoretischen) Nutzungsdauern der Anlageteile setzt dies voraus, dass abgängige Anlageteile bauartgleich ersetzt werden und nicht vorgesehen ist, das Pro-

jekt insgesamt zu beenden (z.B. die Brücke abzureißen). Insofern sind Erneuerungskosten in diesem Ansatz mit erfasst.

Für die finanzmathematische Berechnung der Annuitäten sind zunächst die (meist zu unterschiedlichen Zeiten anfallenden) Ausgaben für die einzelnen Anlageteile auf einen einheitlichen Bezugszeitpunkt (nach EWS-97 der 1. Januar des Jahres nach Verkehrsübergabe) auf- bzw. abzuzinsen:

$$KB_q = A_q \cdot (1 + 10^{-2} \cdot p)^r \quad [€] \qquad (3.11)$$

mit:

KB_q zum Bezugszeitpunkt auf- bzw. abgezinste Baukosten für ein Anlageteil q [€]
A_q Ausgaben für ein Anlageteil q [€]
p Zinsfuß [%]
r Zeitraum zwischen Ausgabenbetätigung und Bezugszeitpunkt [a]
q Nummer des Anlageteils

Zur Berechnung der Jahreskosten sind im nächsten Schritt diese auf einen einheitlichen Zeitpunkt bezogenen Baukosten unter Berücksichtigung der Verzinsung auf die ökonomisch oder technisch begründeten Nutzungsdauern (Abschreibungszeiträume) der jeweiligen Anlageteile zu verteilen. Hierzu wird aus dem Zinsfuß und dem jeweiligen Abschreibungszeitraum je Anlageteil ein so genannter „Annuitätenfaktor“ wie folgt ermittelt:

$$af_q = \frac{10^{-2} \cdot p \cdot (1 + 10^{-2} \cdot p)^{d_q}}{(1 + 10^{-2} \cdot p)^{d_q} - 1} \qquad (3.12)$$

mit:

p Zinsfuß [%]
d_q Abschreibungszeitraum des Anlageteils q [a]
q Nummer des Anlageteils

Bei der Bestimmung der Abschreibungszeiträume wird häufig zwischen der theoretischen und der ökonomischen Nutzungsdauer unterschieden. Die theoretische Nutzungsdauer stellt einen ingenieurwissenschaftlich begründeten Erwartungswert für die Nutzungsdauer eines Anlageteils dar. Die reale Nutzungsdauer eines Anlageteils kann bei entsprechenden Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen die theoretische Nutzungsdauer z.T. noch deutlich übersteigen (z.B. Tunnel). Demgegenüber beschreibt die ökonomische Nutzungsdauer den Zeitraum, bis ein Anlageteil voraussichtlich durch eine wirtschaftlich günstigere Lösung ersetzt wird (FGSV, 1986).

Im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Beurteilung von Neubaumaßnahmen wird die ökonomische Nutzungsdauer als maßgebend angesehen (BMV, 1993; BMVBW, 2000; FGSV, 1997: s. Tabelle 3.4). Bei Regelwerken zur Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen und zur Bestimmung von Erhaltungsaufwendungen kommt hingegen die theoretische Nutzungsdauer zur Anwendung (PTV Planung Transport Verkehr AG 2002; PTV Planung Transport Verkehr AG 2003).

Da in Zeiten knapper Kassen vorzeitigen Reinvestitionen nur dann stattgegeben werden wird, wenn deutliche Kostenvorteile in Bezug auf Erhaltung und betrieblichen Unterhalt gegenüber der bestehenden Lösung nachgewiesen werden können, ist künftig von einer verstärkten Anwendung der theoretischen Nutzungsdauern auszugehen. Bei zahlreichen Anlageteilen (z.B. Straßenbefestigungen) führen beide Ansätze zu identischen Abschreibungszeiträumen. Da die Abschreibungszeiträume Mittel- bzw. Erwartungswerte darstellen, repräsentieren die berechneten Annuitäten auch die Kosten für Anlagenteile, die mit Hilfe von Instandsetzungen eine deutlich höhere Nutzungsdauer erreichen.

Die Ableitung eines volkswirtschaftlich begründeten kalkulatorischen Zinssatzes, der für Ausgaben der öffentlichen Hand geltend gemacht werden kann, erfolgt unter Berücksichtigung des langfristigen Realzinses für öffent-

Tabelle 3.4 Richtwerte für Abschreibungszeiträume und Annuitätenfaktoren gemäß EWS-97. (FGSV, 1997)

Nr.	Anlageteil	Abschreibungszeitraum d_q [a]	Annuitätenfaktor af_q [1/a]
	Anlagen für den Straßenverkehr		
1	Grunderwerb, Entschädigung	∞	0,3000
2	Untergrund, Unterbau, Wälle	100	0,03165
3	Entwässerung	75	0,03367
4	Tragschichten	50	0,03887
5	Fahrbahndecken Asphalt Binde Asphalt Deckschicht Beton Pflaster	 25 12,5 25 50	 0,05743 0,09712 0,05743 0,03887
6	Brücken	50	0,03887
7	Stützwände	50	0,03887
8	Tunnel	50	0,03887
9	Ausstattung	10	0,11723
10	Lärmschutzwände und -fenster	25	0,05743
	Anlagen für den Schienenverkehr		
11	Fahrweg	40	0,04326
12	Untergrund, Unterbau, Bettung	80	0,03311
13	Betontragplatten	25	0,05743
14	Gleis	25	0,05743
15	Fahrleitung Tragwerk Fahrdraht	 30 10	 0,05102 0,11723

liche Anleihen. Grundlegende ökonomische Überlegungen in einer Studie für den Bundesverkehrswegeplan 1985 (Rothengatter, 1983) führen auf einen in volkswirtschaftlichen Bewertungsverfahren für Infrastrukturprojekte anzuwendenden Zinssatz von 3% p.a. Mit diesem Zinssatz lassen sich zusammen mit den Abschreibungszeiträumen der EWS-97 für die Hauptgruppen der Bauleistungen bzw. für die entsprechenden Anlageteile die in Tabelle 3.4 wiedergegebenen Annuitätenfaktoren ableiten. Für die Anlageteile der Verkehrswege im öffentlichen Verkehr (ÖV) findet sich insbesondere für den Teil „Schienenverkehr im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)“ eine sehr detaillierte Darstellung in der Standardisierten Bewertung für Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs (BMVBW, 2000, dort Tabelle 3-2).

Mit den hergeleiteten Annuitätenfaktoren können nun die gesamten Jahreskosten K_a (Annuität) aller Anlageteile einer Maßnahme durch Summation berechnet werden:

$$K_a = \Sigma af_q \cdot KB_q \quad [€/a] \qquad (3.13)$$

3.4.3 Unterhaltung (laufende Kosten)

Unter den laufenden Kosten werden bei Verkehrswegen die jährlichen Aufwendungen für den baulichen und betrieblichen Unterhalt verstanden. Diese Aufwendungen bewirken keine Veränderung des Bestandswertes der Infrastruktur und werden somit in der Bilanz nicht aktiviert, d.h. sie sind kein Bestandteil der im vorigen Kapitel 3.4.2 beschriebenen Annuitätenmethode. Durch ihre Erfassung in jährlich konstanten Größen sind sie jedoch unmittelbar annuisiert und können somit in jährliche Nutzen/Kosten-Betrachtungen eingebracht werden.

Im Bereich des Straßenbaus gehören zu den baulichen Unterhaltskosten Sofortmaßnahmen und sonstige Maßnahmen geringeren Umfangs. Die betrieblichen Unterhaltskosten umfassen Reinigungs-, Kontroll- und Pflegearbeiten sowie den Winterdienst. Für diese Kostenkomponenten sind in den EWS-97 (FGSV, 1997) längenbezogen Grundwerte in der Dimension D-Mark pro Jahr und Kilometer angegeben, mit denen in Abhängigkeit des Straßentyps die laufenden Kosten berechnet werden können (s. Tabelle 3.5). Diese Grundwerte wurden mit dem Faktor 1,95583 auf Beträge in Euro umgerechnet und auf Hundert Euro kaufmännisch gerundet. Aufgrund der nur sehr geringen Veränderungen der Preisindices im Straßenbau von 1995, dem Preisstand der EWS-97, bis 2002 (Statistisches Bundesamt, 2002) wurden keine weiteren Anpassungen der längenbezogenen Grundwerte vorgenommen.

Für den Betrieb von Straßentunneln entstehen hohe laufende Kosten für Belüftung, Beleuchtung und Überwachung. Da Beleuchtung und Belüftung weitgehend automatisiert werden können, ist – aufgrund der hohen Personalkosten – die Frage von entscheidender Bedeutung, ob eine ständig oder zeitweise besetzte Zentrale betrieben werden muss. Doch auch ohne diese Personalkosten liegen die Betriebskosten für Straßentunnel erheblich über den laufenden Kosten für freie Straßenabschnitte. Je nach Systemauslegung ergeben sich hier Größenordnungen zwischen 150.000 €/km · a und 250.000 €/km · a. In die Unterhaltungskosten für Brücken gehen auch die Personalkosten für die Prüfingenieure ein, die die zahlreichen Bauteilgruppen der Brücken (Lager, Fahrbahnübergangskonstruktionen, Entwässerung etc.) regelmäßigen Inspektionen unterziehen müssen.

Darüber hinaus gehören zum betrieblichen Unterhalt auch zunehmend die Kosten für den Betrieb von Verkehrsleitsystemen, die in den EWS-97-Ansätzen noch nicht enthalten und

Tabelle 3.5 Kosten für den baulichen und betrieblichen Unterhalt gemäß EWS-97 in Euro. (FGSV, 1997)

Autobahnen	**[€/km · a]**
Rampe planfreier Knoten	9.700
2 Fahrstreifen, mit Standstreifen	22.500
2 Fahrstreifen, ohne Standstreifen	21.500
3 Fahrstreifen, mit Standstreifen	26.600
3 Fahrstreifen, ohne Standstreifen	25.600
4 Fahrstreifen, mit Standstreifen	30.700
4 Fahrstreifen, ohne Standstreifen	29.700
Sonstige Außerortsstraßen	
2+1 Fahrstreifen, wechselnd je Richtung	12.800
1 Fahrstreifen, befestigte Fahrbahn über 7m	10.700
1 Fahrstreifen, befestigte Fahrbahn bis 7m	10.200
2 Fahrstreifen, mit Mittelstreifen	20.500
2 Fahrstreifen, ohne Mittelstreifen	19.400
3 Fahrstreifen, mit Mittelstreifen	24.500
3 Fahrstreifen, ohne Mittelstreifen	23.500
Innerortsstraßen	
1 Fahrstreifen, mit Mittelstreifen oder Mittelinseln in kurzen Abständen	7.700
1 Fahrstreifen, anbaufrei (> 50km/h) oder offene mehrgeschossige Bebauung	6.100
1 Fahrstreifen, angebaut, geschlossene Bebauung oder Geschäftsstraße	6.100
2 Fahrstreifen, mit Mittelstreifen	9.200
2 Fahrstreifen, ohne Mittelstreifen	8.200
3 Fahrstreifen, mit Mittestreifen	12.300
3 Fahrstreifen, ohne Mittelstreifen	11.200
4 Fahrstreifen, mit Mittelstreifen	15.300
4 Fahrstreifen, ohne Mittelstreifen	14.300
Erschließungsstraßen	4.100
Sonstiges	
Brücken in Zuge von Bundesautobahnen	153.400
Brücken im Zuge von sonstigen Straßen außerorts und innerorts	76.700
Tunnel im Zuge von Bundesautobahnen (2 Röhren)	255.600
Tunnel im Zuge von sonstigen Straßen außerorts und innerorts (1 Röhre)	153.400
Geh- und/oder Radweg (beidseitig)	600

somit gesondert nachzuweisen sind. Für die Betriebskosten von Verkehrsleitsystemen stehen keine pauschalen Ansätze zur Verfügung. Sie sind in hohem Maße von der Auslegung des jeweils betrachteten Systems abhängig und umfassen die Kostenkomponenten

- Personalkosten
- Stromkosten
- Kosten für Wartung, Instandhaltung, Reparaturen, Störungsbeseitigung
- Kosten für Pflege und Änderung der Betriebssoftware
- sonstige Kosten (z.B. Versicherungen).

Die Wertansätze für die Unterhaltungskosten der Verkehrswege des öffentlichen Verkehrs und hier insbesondere der Schieneninfrastrukturen können der Standardisierten Bewertung für Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs (BMVBW, 2000, dort Tabelle 3-2) entnommen werden. Hier werden die jährlichen Unterhaltungskosten jedoch in Prozentsätzen der Herstellungskosten angegeben.

Im Bereich des Öffentlichen Verkehrs stellen die Unterhaltungskosten für die Infrastrukturen nur einen Teil der so genannten laufenden Kosten dar. Diese umfassen die gesamten Produktionskosten für die Erbringung des Verkehrsangebotes bzw. der vertraglich vereinbarten Verkehrsleistung und somit:

- Fahrdienst
- Erstellung und Verkauf der Betriebsleistung
- Betriebshofdienst
- Treibstoffversorgung
- Wartung und Instandhaltung (Infrastruktur und Rollmaterial)
- Anteilige allgemeine Kosten.

Diese Kosten sind im Einzelfall aus der unternehmerischen Gesamtrechnung der Verkehrsbetriebe zu ermitteln. Die laufenden Kosten können z.B. als Grundlage für betriebswirtschaftliche Rentabilitätsuntersuchungen zu Erweiterungen des Verkehrsangebotes verwendet werden.

3.4.4 Erneuerung und Instandsetzung

Während im Bereich des Neu- und Ausbaus von Verkehrsinfrastrukturen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen insbesondere in Form von Nutzen/Kosten-Untersuchungen eine sehr weit entwickelte Tradition haben, sind die Entwicklung und wirtschaftliche Beurteilung einer systematischen Erhaltungsplanung für Verkehrsinfrastrukturen in Deutschland erst in den letzen fünf bis zehn Jahren Gegenstand intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten geworden (PTV Planung Transport Verkehr AG, 2003; RS-Consult, SEP Maerschalk, 2002; ZLV Zentrum für Logistik und Verkehrsplanung, SEP Maerschalk, 1999).

Im Bereich des Neubaus werden in der Regel Maßnahmen isoliert oder im Zusammenhang mit wenigen, als interdependent erkannten, anderen Maßnahmen bewertet. Die Realisierung der Maßnahmen erfolgt nach Maßgabe des Bewertungsergebnisses (Nutzen/Kosten-Verhältnis und ergänzende nicht monetäre Kriterien) und der verfügbaren Mittel. Kann eine an sich positiv bewertete Maßnahme aufgrund des knappen Budgets nicht realisiert werden, so bleiben zwar Engpässe bestehen, das Bestandsnetz ist davon aber nicht unmittelbar betroffen. Im Bereich der Erhaltungsplanung, die sich zentral mit Instandsetzung und Erneuerungsbauten beschäftigt, können hingegen ausbleibende Maßnahmen zu einer Gefährdung der Funktionsfähigkeit des Bestandsnetzes führen.

Grundlegende Aspekte der Erhaltungsplanung werden im Folgenden für den Bereich des Straßenbaus diskutiert. Hier besteht die Grundsituation, ein zur Verfügung stehendes jährliches Budget für ein Straßenbauamt oder ein Bundesland so einzusetzen, dass der Gesamtzustand des betrachteten Teilnetzes (z.B. die mittlere Gesamtzustandsnote) maximiert wird, wobei als Nebenbedingung kein Stre-

ckenabschnitt und keine Brücke unter einen Mindeststandard absinken darf, der die Verkehrssicherheit gefährdete und somit eine Sperrung des Streckenabschnitts notwendig machen würde. In der Praxis der Straßenerhaltung werden diese Aufgabenstellungen für die Straßenbefestigungen und die Brückenbauwerke noch separat angegangen.

Die Berechnung der optimalen Mittelverwendung bei der Erhaltungsplanung entspricht einer weit verbreiteten Grundaufgabe des Operations Research, dem so genannten Knapsack-Problem (deutsch: Rucksack-Problem). Hierbei ist ein Rucksack so mit Gegenständen zu füllen, dass ihr Wert für den Träger des Rucksacks maximal wird, das Gewicht der Gegenstände aber die Tragfähigkeit des Rucksacks nicht übersteigt. Auf das Erhaltungsmanagement übertragen entsprechen die n Gegenstände den potentiellen Erhaltungsmaßnahmen, die Gewichte den Kosten c und die Werte dem Nutzen u, gemessen durch eine geeignete Bewertung der Verbesserung des Erhaltungszustands des jeweiligen Bauwerks. Die Kapazität entspricht dem begrenzten Gesamtbudget B.

Formal ist also die Optimierungsaufgabe

$$\begin{aligned} \max! \sum_i x_i u_i &= f(x) \\ \text{s.d. } \sum_i x_i e_i &\le B \\ x_i &\in \{0,1\} \\ i &= 1 \ldots n \end{aligned} \tag{3.14}$$

zu lösen. Die Entscheidungsvariablen x_i legen dabei fest, welche Maßnahmen zur Realisierung ausgewählt werden. Da mehrfaches Instandsetzen keinen zusätzlichen Nutzen bringt, wird hier zusätzlich $x_i \in \{0,1\}$ gefordert. Diese Variante heißt deshalb auch 0-1-Knapsack-Problem. Sehr schlechte Erhaltungszustände von Bauteilen oder Bauwerksteilen können durch eine entsprechende Ausgestaltung der Nutzenfunktion u vermieden werden.

Auch wenn das primäre Ziel der Erhaltungsplanung im Straßenbau die Verbesserung des Zustands von Straßenbefestigung und Bauwerken ist, so können, analog zur Bewertung von Neubaumaßnahmen, auch volkswirtschaftlich ausgerichtete Terme in die Zielfunktion aufgenommen werden. Hierbei ist insbesondere an die Vermeidung von zusätzlichen Fahrtzeiten der Verkehrsteilnehmer aufgrund schlechter Straßenoberflächen oder gar Streckensperrungen zu denken.

Die systematische Erhaltungsplanung muss jährlich rollierend angelegt sein, da die Maßnahmen, die in einem Jahr aus Budgetgründen nicht durchgeführt werden können, im nächsten Jahr mit mindestens gleicher Dringlichkeit wieder anstehen wie zuvor bzw. dann aufgrund des einzuhaltenden Mindeststandards nicht länger aufschiebbar sind. Grundlage der Erhaltungsplanung sind somit Verhaltensfunktionen, die die Entwicklung des Zustands von Bauteilen und Bauteilgruppen beim „Nichts-Tun“ beschreiben. Im Rahmen der systematischen Erhaltungsplanung findet eine Bewertung der Maßnahmen innerhalb eines Bewertungszeitraums statt, d.h. für jedes Jahr des Bewertungszeitraums ist das Rucksack-Problem zu lösen und die Nutzen der Verkehrsteilnehmer sowie die Nutzen der Baulastträger (Zustandsverbesserungen) zu evaluieren.

Hinweise zu den Kosten der Erhaltungsplanung im Straßenbau finden sich in einer Studie der Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (SEP Maerschalk, 1999). Angaben zu den Kosten für Erhaltungsmaßnahmen bei Brückenbauwerken wurden erstmals im Rahmen der Forschungsarbeiten zum Bauwerks-Management im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (König und Heunisch Planungsgesellschaft, PTV Planung Transport Verkehr AG, 2003) repräsentativ zusammengestellt. Systematische Untersuchungen zur Abhängig-

keit der Ausgaben für Erhaltungsmaßnahmen vom Eingreifzeitpunkt liegen derzeit noch nicht vor. Es kann also z.B. nicht generell angenommen werden, dass der Aufwand für die Behebung eines Schadens zu einem frühen Zeitpunkt geringer ist als zu einem späteren. Solche Zusammenhänge ergäben entsprechende Optimierungspotentiale für das oben angeführte Rucksack-Problem.

Es ist offensichtlich, dass auch die Planung und Bewertung von Neubaumaßnahmen in Form einer mehrjährigen Betrachtung und unter Berücksichtigung von jährlichen Budgetrestriktionen erfolgen könnte. Hierbei wären die Nutzen/Kosten-Quotienten für die zur Rede stehenden Maßnahmen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Realisierung der Maßnahme und damit in Abhängigkeit von anderen dann bereits realisierten Maßnahmen zu bestimmen. Im Nachgang zum Bundesverkehrswegeplan 1985 wurden Forschungsarbeiten zur Dynamischen Investitionsplanung durchgeführt, die heuristische Verfahren zur Reduzierung der kombinatorischen Vielfalt von Maßnahmen und Investitionszeitpunkten einsetzten (Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung Karlsruhe, BVU Beratergruppe Verkehr und Umwelt, 1990).

Da die Datenanforderungen für ein solches Verfahren jedoch extrem hoch sind, ist die Reihung von Maßnahmen nach dem isolierten Nutzen/Kosten-Verhältnis als Approximation der Optimallösung des Rucksack-Problems über alle Jahre des Bewertungszeitraums das weiterhin generell angewendete Bewertungsverfahren bei Neu- und Ausbauten. Auch wenn das Verfahren der Bundesverkehrswegeplanung (BMV, 1993) ebenso wie die EWS-97 einen 20-jährigen Bewertungszeitraum angeben, so wird doch fast ausschließlich aufgrund der nur für ein Prognosejahr erstellten verkehrlichen Mengengerüste auch nur eine Punktbewertung für dieses Jahr bei annuisierten Kosten durchgeführt.

Literatur

Bundesminister für Verkehr (BMV) (Hrsg.):
- BMV (1985): Anweisung zur Kostenberechnung für Straßenbauvorhaben (AKS) mit Mustereintragungen
- BMV (1993): „Gesamtwirtschaftliche Bewertung vonVerkehrswegeinvestitionen – Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992, Heft 72 der Schriftenreihe des BMV, Schlussbericht zum FE-Vorhaben 90372/92 des BMV, durchgeführt von Planco Consulting, Essen; BVU Beratergruppe Verkehr und Umwelt, Freiburg; Ingenieurbüro Heusch/Boesefeldt, Aachen

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.):
- BMVBW (2000): Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:
- FGSV (1986): Richtlinien zur Anlage von Straßen – Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W), Kommentar
- FGSV (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – Entwurf (EWS). Aktualisierung der Richtlinien zur Anlage von Straßen – Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W) 1986
- FGSV (2001): Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen (RPE-Stra 01)

König u. Heunisch Planungsgesellschaft, PTV Planung Transport Verkehr AG (2003): Weiterentwicklung des Verfahrens zur Ermittlung von Baulastträgerkosten bei der Erhaltungsplanung von Brücken- und Ingenieurbauwerken, Endbericht zum F+E-Projekt Nr. 15.371/2002/HRB, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen. Leipzig, Karlsruhe, Bergisch-Gladbach

Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung der TU Karlsruhe, BVU Beratergruppe Verkehr und Umwelt (1990): Erweiterung des Verfahrens zur Dynamischen Investitionsplanung für Verkehrsprojekte und Vorbereitung seiner Anwendung im Rahmen des BVWP 1990, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr. Bonn, Karlsruhe, Freiburg

PLANCO (1999): Modernisierung der Verfahren

zur Schätzung der volkswirtschaftlichen Rentabilität von Projekten der Bundesverkehrswegeplanung, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn, Essen

PLANCO (2000): Numerische Aktualisierung interner und externer Beförderungskosten für die Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) auf den Preisstand des Jahres 1998, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn, Essen

PTV Planung Transport Verkehr AG, Ingenieurbüro Prof. Freundt (2000): Aktualisierung der Richtlinien für die Berechnung der Ablösungsbeträge der Erhaltungskosten für Brücken, Straßen, Wege und andere Ingenieurbauwerke (Ablösungsrichtlinien), im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn, Karlsruhe, Weimar

PTV Planung Transport Verkehr AG (2002): Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/ Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken, Richtlinie im Entwurf, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn, Karlsruhe

PTV Planung Transport Verkehr AG (2003): Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung der Erhaltungsplanung für Brücken- und Ingenieurbauwerke auf Netzebene, Endbericht zum F+E-Projekt Nr. 15.369/2002/HRB, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen. Karlsruhe, Bergisch-Gladbach

Rothengatter, W. (1983): Entwicklung eines Verfahrens für dynamische Investitionsplanung und Ermittlung des bei der BVWP anzuwendenden Zinssatzes, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr. Bonn, Ulm

RS-Consult, SEP Maerschalk (2002): Entwicklung eines Verfahrens für die Bewertung von Maßnahmevarianten für die Erhaltungsplanung auf Objektebene, Endbericht zum F+E-Projekt Nr. 15.323/2000/HRB, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen. Berlin, München, Bergisch-Gladbach

SEP Maerschalk (1999): Erhaltungsbedarf für Bundesfernstraßen, Landesstraßen und Kommunalstraßen (Langfassung und Kurzbericht), im Auftrag der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. München, Bergisch-Gladbach

Statistisches Bundesamt (2002): Preise – Messzahlen für Bauleistungspreise und Preisindizes für Bauwerke, fortlaufende Aktualisierungen. Fachserie 17/Reihe 4: Verlag Metzler-Poeschel. Stuttgart

ZLV Zentrum für Logistik und Verkehrsplanung, SEP Maerschalk (2000): Entwicklung eines BVWP/EWS-kompatiblen Bewertungsbausteins für Erhaltungsinvestitionen in die Straßeninfrastruktur und dessen bedarfsgerechte Begleitung im Feldversuch nach Integration des Bewertungsbausteins in die Software „VIAPMS“ der VIAGROUP, Winterthur (Dokumentation Stufe 1), im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn, Berlin, München

3.5 Ökologische Folgen

3.5.1 Einführung

Im Kapitel B 3.3 werden vorwiegend die Wirkungskomponenten beschrieben, die vom Verkehr ausgehen, also je nach Verkehrsträger und Kombination der Fahrzeugtypen unterschiedliche Lärm- und Abgasemissionen. Abbildung 3.13 stellt dies detailliert als Schema dar. Während im Kapitel 3.2 und 3.3 vorwiegend die direkten Folgen für den Menschen dargestellt werden, bezieht sich dieses Kapitel auf die ökologischen Folgen in der Umwelt, die auch die Umwelt des Menschen ist. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS), die ein Bestandteil der Umweltverträglichkeitsprüfung ist (siehe Teil E)

3.5.2 Verkehr als Verursacher, Umwelt als Akzeptor

Verkehr ist die Voraussetzung für die Versorgung von Menschen, die Anbindung der Infrastruktur und der Wirtschaft, Verkehrswege erschließen den Raum. Art und Menge der Verkehrswege und Verkehrsbewegungen sind somit Folge und gleichzeitig Bedingung für die Organisation unserer Arbeit und unseres Lebensstils, für Produktions- und Konsumformen sowie für die Gestaltung von Urlaub, Freizeit und sozialen Prozessen (NBBW, 2004).

Die Kehrseite der Mobilität – Transport von Gütern und die Sekundärfolgen des Verkehrs – ist eine zunehmende Belastung unserer Umwelt. Die Flächenstatistik der Bundesländer weist aus, dass die Siedlungs- und Verkehrsflächen weiterhin jährlich ansteigen. Verkehrsflächen, definiert als „Flächen für Straßen, Wege und Plätze sowie Schienen- und Luftverkehr“ beanspruchten 2001 knapp fünf Prozent der Fläche der Bundesrepublik Deutschland und rund 40 Prozent der gesamten Siedlungs- und Verkehrsfläche. Dabei zeigt sich deutlich, dass die klassifizierten Verkehrsflächen und Straßenlängen unterdurchschnittlich wachsen, die Fahrleistung jedoch ständig zunimmt. Die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen findet also überwiegend im Bereich von Gewerbe- und Industriegebieten sowie durch Wohnbautätigkeit statt. Damit wird deutlich, dass dem Stadtverkehr eine Schlüsselrolle zukommt.

Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsbetrieb wirken sich auf alle Umweltfaktoren aus: Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer, Lufthaushalt, Arten und ihre Lebensräume. Die wissenschaftliche Ökologie beschreibt und analysiert das Zusammenwirken dieser Umweltfaktoren in Ökosystemen (siehe Abb. 3.14). Das Klima, die Temperatur, die Strahlung, die Niederschläge und die Luftbewegungen setzen die Rahmenbedingungen für die Lebewesen, die an einem Ort vorkommen können. Diese reagieren unterschiedlich auf Veränderungen der Luft, insbesondere auf Schadstoffe (Luftqualität). Die Böden sind die zentrale „Drehscheibe“ in Ökosystemen, sie sind Puffer zum Beispiel für den Wasser- und Nährstoffhaushalt, Senke und Filter für Schadstoffe; sie bauen manche organischen Schadstoffe ab. Der geologische Untergrund ist nicht nur Rohstofflager: Ökologisch besonders wichtig ist das Grundwasser. Je nach Vorkommen von Poren und Hohlräumen im Gestein ist es unterschiedlich gefährdet. Die Oberflächengewässer werden durch die jahreszeitliche Dynamik von Wassermenge, Temperatur, Sauerstoffangebot, Nährstoffangebot und bei chemischer Verunreinigung gegebenenfalls durch Salzgehalt, Metalle, schwer abbaubare organische Stoffe klassifiziert. Diese Merkmale bedingen bzw. verändern die Lebensmöglichkeiten für Tier- und Pflanzenarten und für Mikroorganismen in den Gewässern.

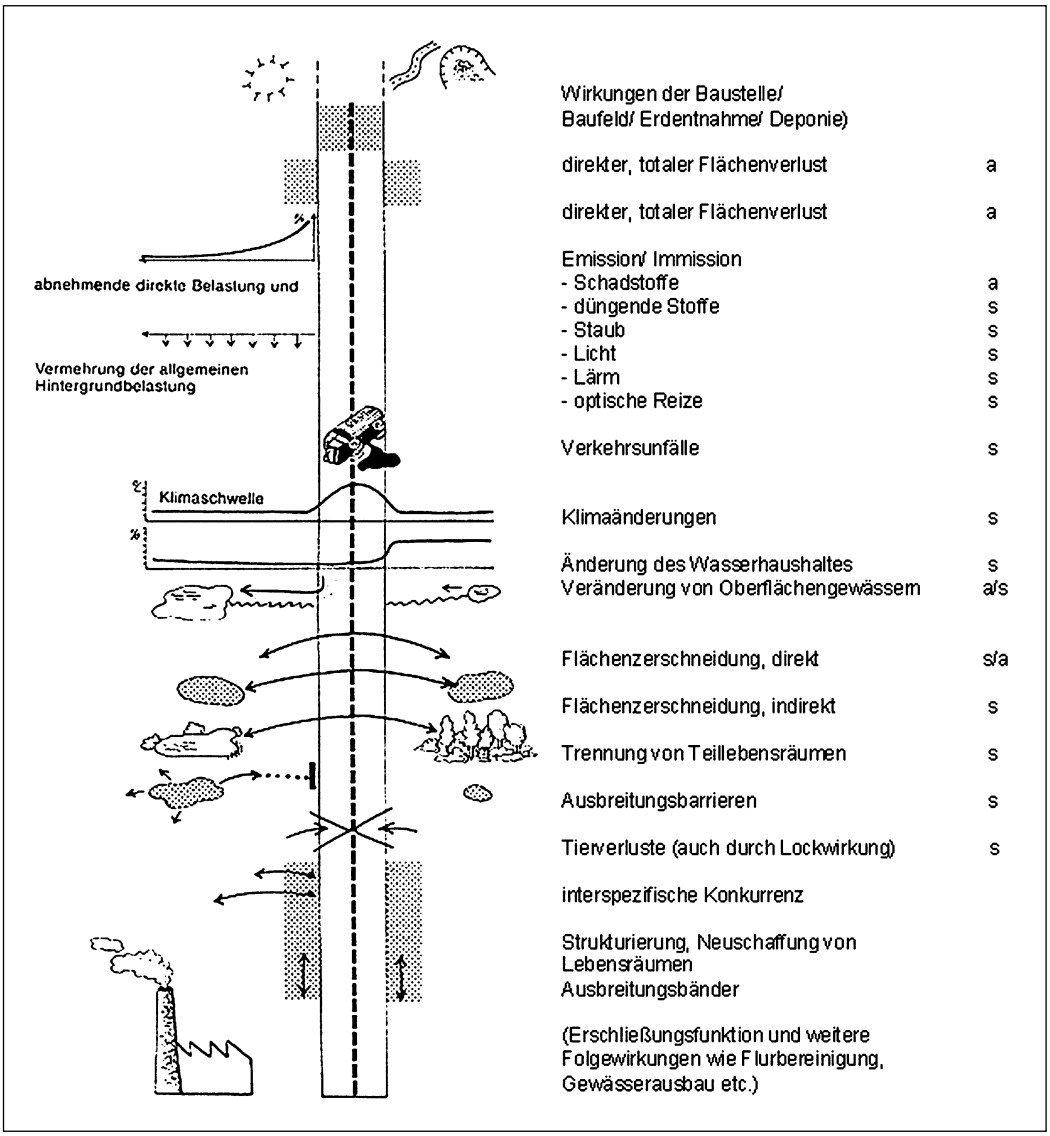


Abb. 3.13 Wirkungen einer Straße und Wirkkomponenten. (Kaule, 1991)

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften kennzeichnen die Biotope, in denen die dort vorkommenden Arten spezifische Lebensgemeinschaften bilden: grüne Pflanzen als Produzenten von Biomasse, die Konsumenten und das Netz der Abbauer.

Die physikalischen Eigenschaften der Biotope und die Verteilung von Arten sind nicht einheitlich: Sie bilden in der Landschaft ein Gefüge. Diese Einheiten, d.h. die Ökosysteme sind nicht in sich geschlossen und voneinander unabhängig; sie haben meist fließende Übergänge und stehen in stofflichem oder biotischem Austausch. Viele Arten haben z.B. unterschiedliche Tag- und Nachtbiotope, verschiedene Brut- und Nahrungsbiotope etc.

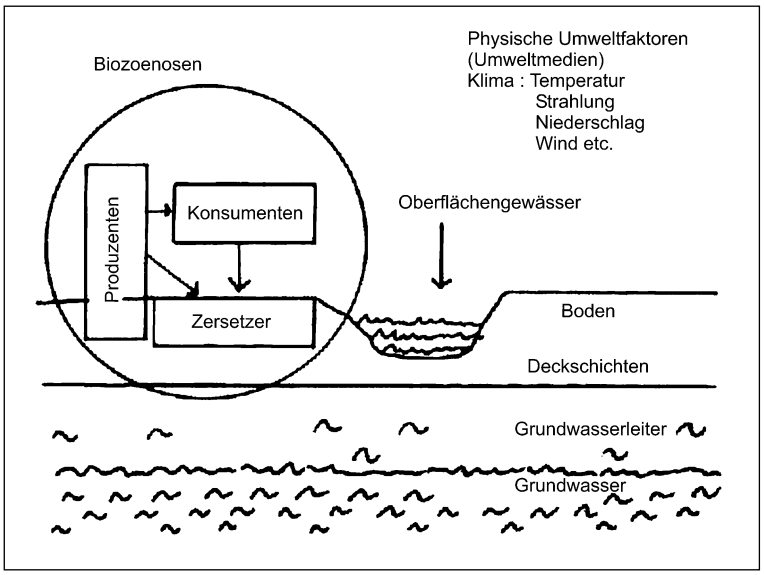


Abb. 3.14 Ökosystemschema. Bei der Beurteilung der Umweltauswirkungen müssen die Maßnahmen mit den einzelnen Umweltmedien, aber auch die Wechselwirkungen überlagert und beurteilt werden. (Eigene Darstellung)

Jede Änderung eines dieser Faktoren hat Folgen in allen anderen Bereichen und meist auch in den benachbarten Ökosystemen. Eine erhöhte Immission kann über den Transfer im Boden das Grundwasser belasten, empfindliche Arten können eliminiert werden, was eine Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse bedingen kann. Auftausalze finden sich nicht nur im Grund- und Oberflächenwasser wieder, sie verursachen die Verbreitung von salzliebenden und salztoleranten Arten, die sich an Straßenrändern ausbreiten.

Derartige Zusammenhänge sind prinzipiell bekannt und auch viele Einzeldaten qualitativ beschreibbar, jedoch ist es in den seltensten Fällen möglich, quantitativ Änderungen in der Umwelt genau einer bestimmten Auslöserkomponente zuzuordnen. Dazu sind die Hintergrundbelastungen, zeitgleiche andere Maßnahmen im Raum mit langfristigen natürlichen Schwankungen und kurzfristigen Fluktuationen zu stark überlagert.

Die natürliche Umwelt ist so komplex, dass wir sie nur unvollkommen durchschauen, ihre Vernetzung mit der menschlichen Umwelt ebenfalls. Absehbare und potentielle indirekte Folgen und kumulative Effekte müssen daher besonders sorgfältig analysiert werden. In Tabelle 3.6 werden kumulative und nicht leicht vorhersehbare Effekte zusammengestellt. Diese Zusammenstellung ist keineswegs rein theoretisch, die Richtlinien zur Durchführung der Umweltverträglichkeitsprüfung schreiben ihre Berücksichtigung vor.

3.5.3 Spezielle Merkmale von Stadtlandschaften im Hinblick auf Verkehr und Umwelt

Der Mensch ist aufgrund seiner „Populationsdichte“ das dominante Lebewesen in einer Stadt. Ökologisch gesprochen, „die Leitart“. Daher müssen die direkten Wirkungen auf den Menschen in erster Linie betrachtet werden. Die modernen Städte sind nur scheinbar von ihrer näheren Umgebung unabhängig, zwar spielt sich die Erholung zunehmend in baulichen Einrichtungen oder entfernten Erholungsgebieten ab. Dabei bleiben allerdings Kinder und Alte häufig unberücksichtigt. Un-

Tabelle 3.6 Spektrum von Summeneffekten (nach CEARC/CU.S.NRC 1968). (Runge, 1998)

Eingriffsarten	Merkmale	Beispiele
Zeitliche Summeneffekte	Regelmäßig oder unregelmäßig wiederkehrende Eingriffe, die sich meist überlappen	Tritt oder wilde Müllablagerung an Ufern und Küsten
Räumliche Summeneffekte	Räumlich überlappende Eingriffe	Lebensraumfragmentierung durch das Straßen- und Schienennetz, Siedlungsbänder Immissionen von Straße und Industrie
Funktionale Summeneffekte	Synergismen von vielen Quellen und Medien	Gas-Emissionen in die Atmosphäre Green house gas effects
Zeitlich versetzte Effekte	Langer Zeitverzug zwischen dem Beginn der Maßnahmen und den ersten sichtbaren Effekten	Waldsterben, Krebs
Räumlich entfernte Effekte	Auswirkungen oft weit entfernt von der Maßnahme	Staudämme in Flüssen (Sedimentfalle und Erosion der Ästuare) Ferntransport von Luft-Schadstoffen
Trigger- und Schwellenwert Effekte	Plötzliche Änderungen des Ökosystemverhaltens	Schwermetallauswaschung durch schleichende Bodenversauerung
Strukturell überraschende Effekte	Multimediale oder multisystemare Effekte, parallel zu natürlichen Prozessen in Ökosystemen	Anstieg der CO_2 Konzentration der Luft und „global change“
Induzierte Effekte	Nebeneffekte und induzierte Effekte einer Maßnahme	Verkehrsinfrastruktur und Siedlungsentwicklung
Sich ausbreitende Effekte	Umfassende und nachhaltige Auswirkungen einer großen Anzahl im einzelnen kleiner Maßnahmen	Fragmentierung von Ökosystemen in der Landschaft

sere Städte beziehen ihr Wasser aus entfernten Versorgungsgebieten, für die Nahrungsmittel ist das Einzugsgebiet weltweit.

Die Dichte des Zusammenlebens und die Funktionstrennungen lassen sich offensichtlich jedoch nicht beliebig steigern. Wohnen im oder am Grünen ist immer noch ein Ziel. Die Städte werden dadurch ausgefranst und sind mit weniger städtischen Landschaftsteilen verzahnt. Die nach außen hinzukommenden Siedlungsringe um die Kernstädte behalten einen größeren Freiraumanteil. Das Fahrrad erfreut sich gerade als Gerät der sportlichen Erholung in Wohnungsnähe und attraktiver Landschaft zunehmender Beliebtheit.

Es wäre zwar planerisch bequem, würde aber die Realität falsch abbilden, wollte man nun in der Stadt, in Siedlungen nur den Menschen betrachten und außerhalb derselben die „natürliche Umwelt“, die es bei uns schon lange nicht mehr gibt. Aus der Sicht Lärm gepeinigter Bewohner hochbelasteter Ortsdurchfahrten ist der Standpunkt sehr verständlich, der sich in Plakaten wie „Menschen oder Krö-

ten“ als Alternativen artikuliert. Dies dokumentiert je nach Wissensstand Zynismus oder völlige Unkenntnis ökologischer Zusammenhänge. Indirekt ist der Mensch immer betroffen, denn auch er ist ein Teil der Umwelt, von der er sich nicht lösen kann. Auch er benötigt Luftaustausch mit weniger belasteter Luft, benötigt Erholungsgebiete etc. Der wenig belastete Außenraum macht das Leben in hoch verdichteten Siedlungsformen nicht nur erträglich, sondern erst möglich. Durch die Reduzierung des Verkehrslärms in den Innenstadtbereichen wird der Freiraum als Ausgleichsfläche nicht überflüssig. Seine Entwertung durch Umgehungsstraßen entwertet auch den gesamten Komplex Siedlung und Umfeld.

Die Zusammenhänge zwischen Siedlungsstruktur und Verkehr zeigen das Spannungsverhältnis zwischen Mobilitätsanspruch und der Lebensqualität vor Ort sowie den negativen Sekundäreffekten. Die Entscheidungsebenen werden auch hier deutlich: Mit der Diskussion um eine Ortsdurchfahrt oder eine Ortsteilentlastung kann kein gesamtstädtisches oder regionales Verkehrsproblem gelöst werden, wohl aber kann die Diskussion in Richtung einer konsequenten Verkehrspolitik mit dem Ziel einer Umweltentlastung damit weiter vorangetrieben werden.

Die Diskussion und Konzeption der „Idealen Stadt“ wird mindestens seit der Renaissance intensiv betrieben. Seit dem 18. Jahrhundert wurden in diese Diskussion neben der „Gestalt“ zunehmend die Versorgung und der Verkehr einbezogen. Abbildung 3.15 macht deutlich, dass es sich bei der Entwicklung einer nachhaltigen Stadt in erster Linie um

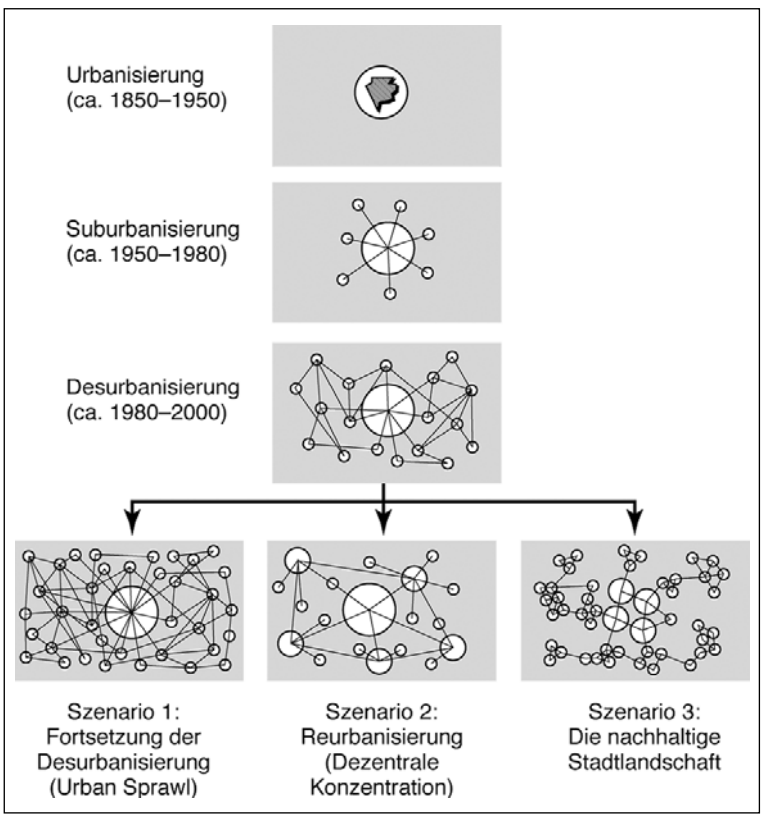


Abb. 3.15 Entwicklung der Städte seit dem 18. Jahrhundert und Zukunftsmodelle (nach Hesse, 1998). (Kaule, 2002)

Überlegungen zu einer integrierten Verkehrs- und Stadtplanung handelt.

Modelle sind immer eine Abstraktion der Wirklichkeit, analysiert man bestehende Stadtregionen, so zeigen sie unterschiedliche Merkmale der theoretischen Überlegungen. Die Region Stuttgart trägt deutlich Merkmale der „nachhaltigen Stadt“ nach Hesse und Schmitz (1998). Vergleicht man jedoch die Netzgrößen-Klassen von Stuttgart (dezentrale Struktur) und München (zentrale Struktur), so werden die Nachteile der dezentralen Struktur deutlich (siehe Abb. 3.16 u. 3.17). Beide Stadtregionen sind ähnlich groß und haben vergleichbare Einwohnerzahlen (siehe Tabelle 3.7). Aufgrund der konzentrierten Entwicklung und der deutlichen Achsenstruktur hat München jedoch einen wesentlich höheren Anteil noch gering zerschnittener Räume, die hochwertige Freiraumfunktionen erfüllen können: ruhige Erholungsmöglichkeiten, Arten- und Biotopschutz, land- und forstwirtschaftliche Produktion.

Die beiden großen Netzklassen von München kommen in der Region Stuttgart gar nicht mehr vor. Es wird deutlich, dass nach einer Phase der Entwicklung und Realisierung verkehrsberuhigter Innenstadtbereiche jetzt die Erhaltung und Entwicklung gering zerschnittener Räume ein Schwerpunkt werden muss. Dabei ist ein „Entschneidungsprogramm“, wie es aktuell in den Niederlanden durchgeführt wird, ein deutliches Signal, wie wichtig die Freiraumqualität als weicher Standortfaktor in einem modernen Industriestaat ist.

Tabelle 3.7 Kenndaten der Regionen Stuttgart und München (Werte gerundet; Berechnungsbasis ATKIS; Bearbeitung durch Dr. Schwarz von Raumer, Universität Stuttgart, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie)

	Region Stuttgart	**Region München**
Fläche	3654 km²	5504 km²
Einwohnerzahl 1993	2.560.000	2.400.000
Straßenlänge absolut (Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen)	2854 km	2437 km
Straßenlänge /km²	0,78106185 [km/km²]	0,4427689 [km/km²]
bebaute Fläche	531,7 km²	605,8 km²

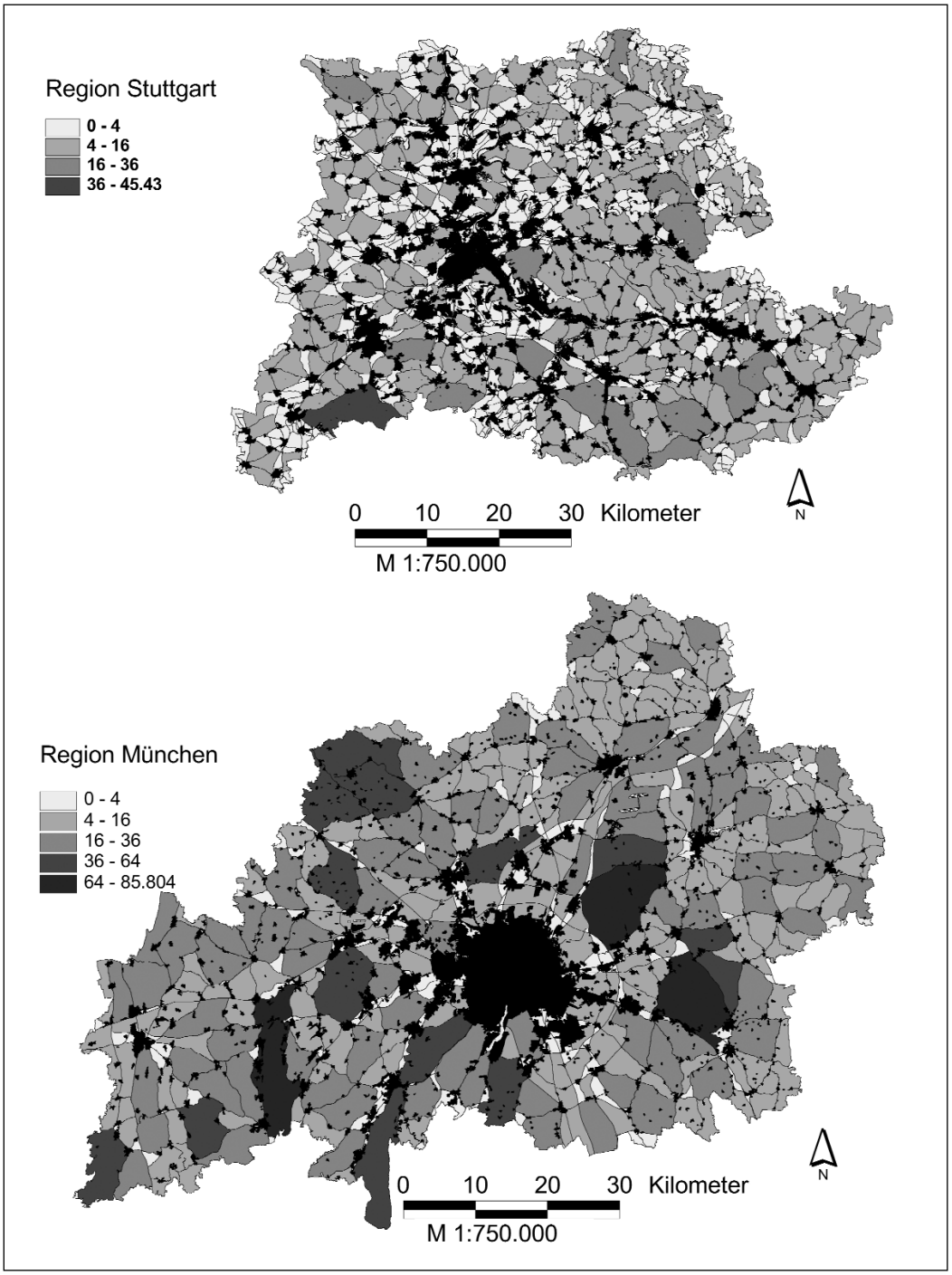


Abb. 3.16 und 3.17 Siedlungsstruktur der Region Stuttgart und des Großraumes München und Netzklassen unzerschnittener Freiräume; Bearbeitung durch Dr. Schwarz von Raumer, Universität Stuttgart, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie.

3.5.4 Räumliche Skalenebenen zur Beurteilung von Verkehr und Umwelt

Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsbetrieb wirkt sich in ganz verschiedenen Maßstabsebenen auf unsere Umwelt aus. Am Beispiel des Ozons (O_3) wird besonders deutlich, wie wichtig es ist, die räumlichen Ebenen, in denen sich das Verkehrsgeschehen auswirkt, sorgfältig zu unterscheiden, um geeignete Minderungs- und Vermeidungsmaßnahmen zu entwickeln und umzusetzen. Die Emissionen aller Verbrennungsvorgänge tragen zum globalen Anstieg der Konzentrationen der Treibhausgase bei. Stickoxide greifen in der Stratosphäre in den Ozonkreislauf ein und verringern den Schutzgürtel, der harte Strahlung filtert. Einzig mögliche Gegenmaßnahme sind Begrenzungen der Emissionen. In den bodennahen Luftschichten verhindern Stickoxide den nächtlichen Abbau von Ozon. So werden die Konzentrationen während sonnenreicher windschwacher Witterungsperioden immer höher (Los Angeles Smog). In dieser Ebene sind neben der Senkung der Abgasmengen auch planerische Maßnahmen erforderlich: Regionale und lokale Luftaustauschbahnen müssen erhalten und, wo erforderlich, erweitert werden. Ein Innenstadtbereich mit stark befahrenen Durchgangsstraßen und Kreuzungen kann nur durch Reduzierung der Verkehrsmengen (z.B. durch Pförtnerampeln) und durch Verstetigung des Verkehrsflusses entlastet werden.

Für den globalen CO_2-Haushalt oder die Zerstörung der Ozonschicht (O_3), an der auch Stickoxide (NO_x) aus Motoren beteiligt sind, ist es bedeutungslos, ob diese in Europa oder in einem anderen Kontinent emittiert werden. Entscheidend sind die global emittierten Gesamtmengen. So sollte beachtet werden, dass bei einer Verlagerung des Verkehrs z.B. aus Wohnbereichen die Betroffenen zwar entlastet werden, diese Entlastung für den globalen Lufthaushalt jedoch bedeutungslos ist. Für Populationen störempfindlicher Arten ist das gesamte Straßennetz ein limitierender Faktor. Ein einzelner Straßenabschnitt an einer kritischen Stelle kann eine Teilpopulation negativ beeinflussen, das bekannteste Beispiel sind die Krötenwanderungen. Um wenige 100 m verschoben, könnte die Straße für die Population von viel geringerer Bedeutung sein.

Diese Beispiele verdeutlichen, wie sehr ein Untersuchungsprogramm zur Abbildung von ökologischen Auswirkungen von der Fragestellung und der Betrachtungsebene abhängt.

Die Betrachtungsebenen von Tabelle 3.8 entsprechen in etwa auch den Planungsebenen.

Tabelle 3.8 Verkehr und Umwelt auf verschiedenen Betrachtungsebenen. (Eigene Darstellung)

Verkehr (Ebenen)	Umwelt
Global	
Energieumsatz, fossile Energieträger durch den Verkehr insgesamt (Maß für Verbrennung)	Globaler Klima- und Lufthaushalt, charakterisiert durch Stichworte wie „Treibhauseffekt“ und „Ozonloch“
Regional	
Regionales Verkehrsnetz, Fahrleistung im Netz, Klassifizierung unzerschnittener Räume	Gesamtbelastung des Raumes: Beeinflussung empfindlicher Populationen: Zerschneidung zusammenhängender „Großökosysteme“
Netzabschnitt	
Straßenabschnitt (Netzabschnitt), differenziert in Trasse, Bauwerke, Begleitgrün	Selektierung der besonders betroffenen Umweltmedien (Abb. 3.13)

Diese Differenzierung ist erforderlich, da Maßnahmen, die unsere Umwelt entlasten, nur in den politischen Entscheidungsgremien, denen Planungsebenen zugeordnet sind, durchgesetzt werden können. Allerdings sind die Grenzen nicht identisch; politische Grenzen und natürliche Raumeinheiten überschneiden sich.

3.5.5 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

Der Begriff Umweltverträglichkeitsprüfung ist eine Übersetzung des amerikanischen Begriffes Environmental Impact Assessment (EIA). International ist die EIA ein bedeutendes Instrument in der Umweltplanung geworden. In Deutschland gab es vor der Einführung der EIA in den USA bereits etablierte Planungsverfahren, die Umweltbelange integrierten. Besonders wichtig ist hier das Raumordungsverfahren (siehe Teil E). Über die europäische Umweltpolitik wurde das Instrument ebenfalls eingeführt und verschiedenen Ebenen zugeordnet (siehe Abb. 3.18).

Dabei wird deutlich, dass im deutschen Planungssystem mit der Regionalplanung und dem Flächennutzungsplan, der das Leitbild der Entwicklung einer Gemeinde darstellen soll, bereits wesentliche Aspekte einer strategischen UVP in der mittleren Ebene abgedeckt werden. Ein mehrstufiges Verfahren ist jedoch für die praktische Durchführung unerlässlich (siehe Kap 3.5.7 sowie Tabelle 3.8). Die Projekt-Umweltverträglichkeitsprüfung (Korridorfindung bis Planfeststellung) ist ein formales Planungsverfahren, das von den zuständigen Behörden durchgeführt wird: Landkreis, Regierungspräsidium, Gemeinde. Die Planungsgesetze regeln den Ablauf (siehe Teil E). Die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) stellt die fachlichen Planungsgrundlagen für das Abwägungsverfahren zusammen und erstellt eine fachliche Empfehlung. Im Verfahren ist die Beteiligung der Öffentlichkeit geregelt. Durch die europäische Umweltgesetzgebung hat die UVP in den letzten Jahren entscheidend an Bedeutung gewonnen. Hier ist die Berücksichtigung des europäischen Schutzgebietssystems Natura 2000 (FFH System) zwingend vorgeschrieben.

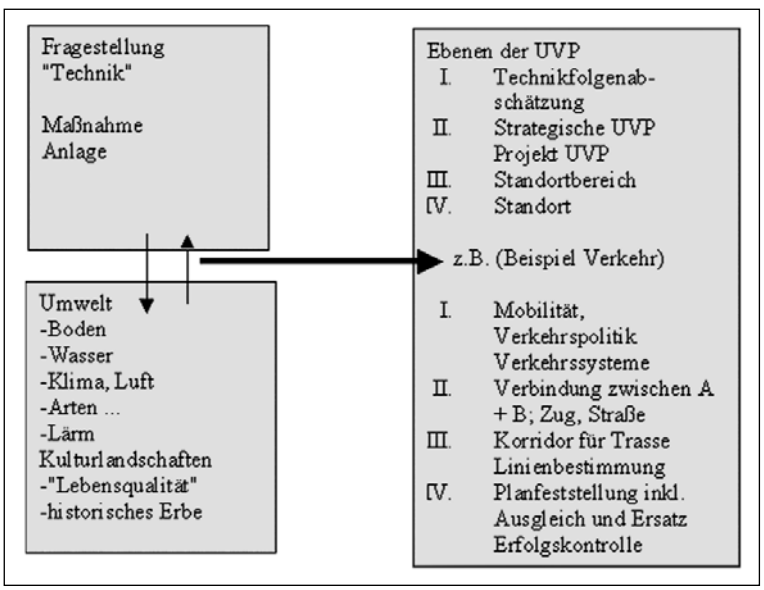


Abb. 3.18 Ebenen der Umweltverträglichkeitsprüfung am Bespiel Verkehr und Straße. (Eigene Darstellung)

3.5.6 Die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS), das Instrument zur Integration der Umweltbelange im planerischen Abwägungsverfahren der UVP

Die Schadstoff- und Lärmemissionen des Verkehrs sowie der für jeden Verkehrsträger typische Flächenbedarf sind hinreichend quantifizierbar, sie können modelliert werden und sind mehr oder weniger exakt aus Erfahrungen ableitbar. Für die globale Beurteilung verkehrspolitischer Maßnahmen genügt häufig als Indikator der durchschnittliche Energie- und Flächenbedarf. In der mittleren (regionalen) Maßstabsebene hat sich in den vergangenen Jahren die Netzanalyse durchgesetzt. Eine exakte Aussage, welche Parzellen betroffen sind, ist in dieser Planungsebene noch nicht möglich und nicht erforderlich.

Bei der Analyse von Varianten im Netz und von konkreten Alternativen sind präzise und differenzierte ökologische Bewertungen der Trassenabschnitte erforderlich. Die in Tabelle 3.9 zusammengestellten Kriterien und Messvorschriften beziehen sich auf die mittlere Maßstabsebene und die Variantenanalyse.

Bei den Untersuchungen der Umweltmedien müssen die fachwissenschaftlichen Analysen von Vertretern der entsprechenden Fachdisziplinen durchgeführt werden. Dabei liegen nur in den seltensten Fällen direkt verwertbare Unterlagen vor. Im Folgenden geht es darum, das Bewertungssystem methodisch darzustellen, nicht aber die Arbeit von Fachwissenschaftlern zu ersetzen. Nur wenn alle am Planungsprozess Beteiligten ein Grundverständnis für ökologische Zusammenhänge und die zur Anwendung gelangenden Kriterien haben, kann gemeinsam eine Bewertung, die (fast) immer ein Kompromiss sein muss, durchgeführt werden. Es geht darum, relative oder absolute Werte in der Fläche so darzustellen, dass durch Überlagerung der Straße (befestigte Trasse, Baufeld, Immissionsbänder in der Fläche) die Umweltbelange bilanzierbar werden. Ökologisch gesehen reicht jedoch die Wirkung einer Trasse über das eigentliche Baufeld hinaus. Tabelle 3.9 zeigt Beispiele verkehrsmengenabhängiger Immissionsbänder.

Boden

Beim Umweltgut Boden wird zwischen der (landwirtschaftlichen) Produktionsfunktion, den Regelungsfunktionen im Wasser- und Stoffhaushalt und der Lebensraumfunktion unterschieden. Die Letztere sollte in den Bereich Arten- und Biotopschutz integriert werden, da selten umfassende Daten über Bodenorganismen vorliegen oder erhoben werden.

Boden als landwirtschaftlicher Produktionsfaktor, d.h. die Bodengüte, ist als Grundlage für die Besteuerung für alle landwirtschaftlichen Flurstücke bekannt (Reichsbodenschätzung). In der Regel liegen auch aggregierte Daten in kleinerem Maßstab vor. Diese Daten können mit der Trasse und den Immissionsbändern überlagert werden, so wird die direkte und indirekte Flächenbeanspruchung gemessen. Die einfache Flächenbilanz berücksichtigt jedoch die Wertminderung durch Zerschneidung nur unzureichend. So sind in der Region Stuttgart, die im Zentrum von Baden-Württemberg die besten Lössböden umfasst, von ehemals über 50 Prozent hervorragenden Böden nur noch unter 10 Prozent in zusammenhängenden Flächen von 200 ha erhalten. Für 1 bis 3 „zukunftsfähige“ Betriebe, die mit verschiedenen Produktionsschwerpunkten die Freiräume wirtschaftlich rentabel bewirtschaften können, sind jedoch 200 ha und mehr erforderlich.

Die Regelungsfunktion bezieht sich auf den Wasserhaushalt und die Filterwirkung und Pufferung bzw. den Abbau von Schadstoffen. Der Boden steuert im Landschafts-Wasserhaushalt das Verhältnis von Oberflächenab-

Tabelle 3.9 Generalisierte Belastungsbänder an unterschiedlich stark befahrenen Straßen. (Kaule, 2002)

< 10.000 KFZ/d (Landstraße)	
Bodenzerstörung Baufeld	5-10m
Schwermetallbelastung	5-10m
Vegetationszerstörung	10-30m
Eutrophierung	< 10m ?
NO_2 I1 Wert	- (-)*
NO_2 I2 Wert	- (-)**
Lärm > 45 dB(A)	800m
Lärm > 55 dB(A)	200m
Lärm > 70 dB(A)	0m
Brutvögel generell	100m
Empfindliche Wiesenvögel	500m
25.000 KFZ/d (Bundesstraße)	
Bodenzerstörung Baufeld	10m
Schwermetallbelastung	15m
Vegetationszerstörung	50m
Eutrophierung	25m
NO_2 I1 Wert	- (> 200m)*
NO_2 I2 Wert	- (> 200m)**
Lärm > 45 dB(A)	1.500m
Lärm > 55 dB(A)	400m
Lärm > 70 dB(A)	45m
Brutvögel generell	250m
Empfindliche Wiesenvögel	750m
>= 50.000 KFZ/d (Autobahn)	
Bodenzerstörung Baufeld	15 -> 50m
Schwermetallbelastung	20m
Vegetationszerstörung (Wald)	50m
Eutrophierung	bis 50m
NO_2 I1 Wert	- (> 200m)*
NO_2 I2 Wert	- (> 200m)**
Lärm > 45 dB(A)	3.000m
Lärm > 55 dB(A)	800m
Lärm > 70 dB(A)	90m
Brutvögel generell	500m
Empfindliche Wiesenvögel	1.000m

* für Grenzwert I1 80 µg (für Vorsorgewert I1 20 µg)

** für Grenzwert I2 160 µg (für Vorsorgewert I2 50 µg)

fluss und Infiltration, also die Grundwasserneubildung. Zahlreiche katastrophale Hochwasserereignisse der vergangenen Jahre haben deutlich gemacht, dass das natürliche Rückhaltevermögen der Landschaft überstrapaziert wurde. Trotzdem verläuft die jährliche Zunahme der versiegelten Fläche ungebremst. Dabei fallen ca. 40 Prozent auf die Verkehrsflächen und davon der größte Teil auf die innerörtliche Erschließung. In der integrierten Verkehrs- und Stadtplanung muss daher auf das Entwässerungskonzept und den sparsamen Umgang mit Boden besonders geachtet werden.

Die Filter- und Pufferfunktionen des Bodens werden in Abbildung 3.19 dargestellt. Diese ökologischen Funktionen des Bodens im Hinblick auf Filterung, Pufferung und biologischen Abbau sind im Prinzip bekannt. Sie hängen von der Profiltiefe, der Durchlässigkeit (Porenvolumen) der Böden, dem pH-Wert, dem Lehm und dem Humusgehalt ab. Niedrige pH-Werte (saure Bedingungen) führen zur Mobilisierung von Schadstoffen, an Lehm- und Humuspartikeln können Stoffe adsorbiert werden. Durch die Trasse wird die aktive Bodenschicht entfernt, die Seitenstreifen mit Begrünung können die Funktionen ungestörter Bodenprofile nur eingeschränkt leisten. Ein Problem ist die Umsetzung der in der Abbildung 3.19 aufgezeigten Prinzipien in flächig differenzierte Daten. In der Regel gibt es keine Bodenkarten, welche die Regelungsfunktionen differenziert ausweisen, um diese Überlagerungen exakt durchführen zu können. Insbesondere in der Stadt sind die Böden sehr inhomogen, da sie häufig umgeschichtet, entfernt und künstlich aufgetragen wurden. In wenig gestörten Landschaftsteilen kann von so genannten Bodenkatenen ausgegangen werden, also typischen Verteilungsmustern vom Oberhang zum Hangfuß bis zur Talsohle. Das Bodenmuster in Städten ist dagegen an keine natürlichen Gesetzmäßigkeiten gebunden, sondern rein von der Nutzungsgeschichte abhängig. Wichtigste Kriterien sind die absolute Inanspruchnahme von Böden, insbesondere

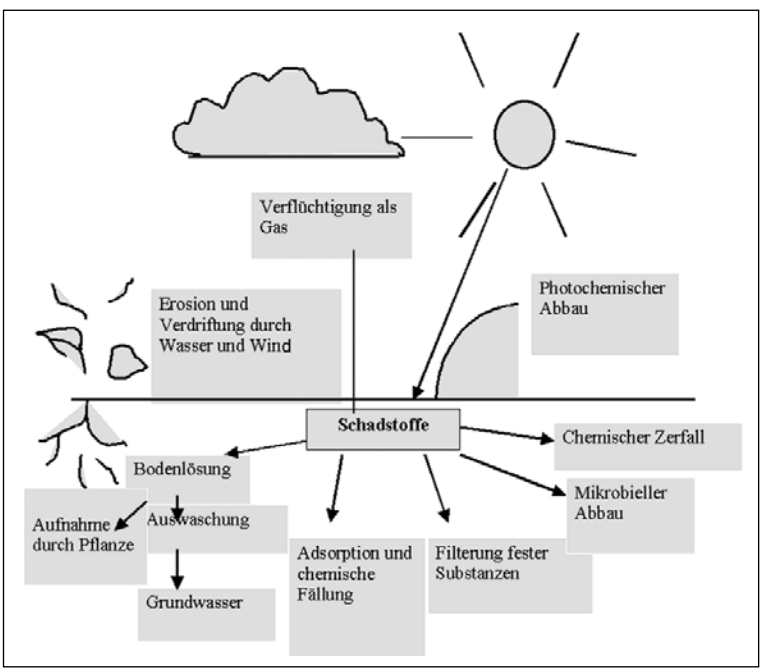


Abb. 3.19 Verhalten von Schadstoffen in Böden. (Scheffer u. Schachtschabel, 1982)

die Inanspruchnahme weitgehend über längere Zeit ungestörter Böden. Bei jüngeren sekundären Aufschüttungen und bei Verdacht auf Altlasten müssen entsprechende Bodenanalysen durchgeführt werden.

Bei der Beurteilung sollte der permanent versiegelte Bereich, das Baufeld mit entsprechenden Eingrünungsflächen und das fahrleistungsspezifische Immissionsband gesondert bilanziert werden. Bei Letzterem geht es um die zunehmende Belastung (Vergiftung) von Böden, die ein Risiko auch für die menschliche Ernährung darstellen, und die diffuse Weitergabe von Schadstoffen an das Grundwasser.

Die Art der Straßenentwässerung (mehr oder weniger direkte Verrieselung oder Sammlung und Ableitung über ein Klärbecken) muss gesondert in die Risikoeinstufung eingehen.

Grundwasser, Hydrogeologie

Die wichtigsten Grundwasserlagerstätten sind in abgestuften Schutzzonen (I-III) gesichert bzw. es laufen entsprechende Unterschutzstellungsverfahren. Dies bedeutet jedoch weder, dass das übrige Land frei von schutzwürdigem Grundwasser ist, noch dass in der Schutzzone III (in der Endstufe z.B. ca. 30 Prozent des Landes Baden-Württemberg) eine totale Veränderungssperre herrscht. In den weitaus meisten Planungsfällen sind flächendeckende ortsspezifische Aussagen zum Grundwasser zu treffen. Um die Wirkung einer Straße im Hinblick auf dieses Medium bilanzieren zu können, müssen in dem betroffenen Gebiet die Menge des im Gesteinskörper gespeicherten Wassers, die Neubildungsrate, die Filter- und Pufferkapazität von Boden und Deckschichten und das Ausbreitungsrisiko im Grundwasser dargestellt werden.

Bei der Empfindlichkeit geht es sowohl um die Verschmutzung bei laufendem Betrieb als auch um die Chance der Rückgewinnung ausgelaufener Stoffe bei Unfällen. Hierzu ist eine integrierte Bewertung Boden und Deckschichten (den Gesteinsschichten zwischen dem Boden und dem Grundwasserspiegel) erforderlich. Für die Beurteilung der Deckschichten ist die Wasserdurchlässigkeit, der Ton bzw. Lehmgehalt und der pH-Wert der Gesteine wichtig.

In kleinem Maßstab (1:100.000) gibt es in manchen Bundesländern Grundwasserkarten, die sowohl die Pufferfähigkeit von Boden und Deckschichten als auch das Ausbreitungsrisiko im Grundwasser wiedergeben. Bei Variantenanalysen (1:25.000 bis 1:10.000) liegen jedoch in den seltensten Fällen direkt verwertbare Karten vor. Für die allgemeine Planungspraxis verwertbare Grundwassermodelle gibt es ebenfalls noch nicht. Sie sind hochkompliziert und benötigen Messreihen zur Validierung und werden daher nur in speziellen Problemfällen eingesetzt.

Für den Normalfall einer Variantenanalyse und die Beurteilung des Risikos einer Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasserkörper kann eine Beurteilung der Gesteinsschichten im Hinblick auf Grundwasserhäufigkeit und die Ausbreitungsbedingungen für Schadstoffe im Grundwasserkörper ausreichen.

Oberflächengewässer

Oberflächengewässer werden durch Baumaßnahmen beeinträchtigt, dazu zählen auch indirekte Maßnahmen wie Hochwasserschutzdämme und Hochwasserfreilegung. Brückenbauwerke verringern die Durchlässigkeit des Gewässersystems. Die Wasserqualität wird durch Einleitungen vom Straßenabfluss der befestigten Oberflächen beeinträchtigt. Das Verkehrsnetz ist aufgrund seiner Entstehungsgeschichte eng an den Verlauf der Auen gebunden. Da die Topografie hier den Trassenbau begünstigt, hat dies zur Konsequenz, dass nicht durch Straßen belastete Auenabschnitte selten sind und hohe Schutzpriorität haben.

Quantitativ messbare Kriterien zur Quantifizierung von Eingriffen sind:

- Beeinträchtigungen von Überflutungsgebieten in Auen (m^2 Fläche oder m^3 Stauraum) einschließlich Auswirkungen sekundärer Maßnahmen.
- Beanspruchung von Gewässerabschnitten, differenziert nach der Qualität, d.h. von Abschnitten, die naturbelassen sind, biologisch verbaut wurden oder technisch verbaut sind. Diese Beeinflussung kann durch die Trasse direkt geschehen oder durch Maßnahmen, die erforderlich sind, um Kapazität für erhöhten Oberflächenabfluss zu schaffen.
- Zusätzliche Fragmentierung zusammenhängender Lebensräume im Gewässer, am Ufer und in der Aue.

Eine GIS-gestützte Analyse zeigt in erster Näherung den landschaftszerschneidenden Effekt der Siedlungsentwicklung. Dadurch, dass Auen als bevorzugte Siedlungsstandorte und Flusstäler als Leitlinien der Verkehrserschließung dienten, sind kaum mehr größere siedlungs- und verkehrsferne Fließgewässerabschnitte in Baden-Württemberg zu finden. Abbildung 3.20 zeigt diesen Effekt. Die Siedlungs- und Verkehrsferne wurde mit den Spezifikationen der Tabelle 3.10 umgesetzt. Eine Bilanzierung für die gesamte Landesfläche von Baden-Württemberg ergibt, dass nur noch etwa 36,7 Prozent der größeren Fließgewässer wenigstens in kleinen Abschnitten relativ ungestört sind. Berücksichtigt wurden Abschnitte von mehr als 500 m Länge, die sich in siedlungs- und verkehrsferner Lage außerhalb der in Tabelle 3.10 definierten Störungsbereiche befinden. Betrachtet man längere Abschnitte von 4 und mehr Kilometern, reduziert sich der Anteil auf 5,3 Prozent.

Zur Vermeidung von Grundwasserbelastungen wird der Direktabfluss von Straßen ge-

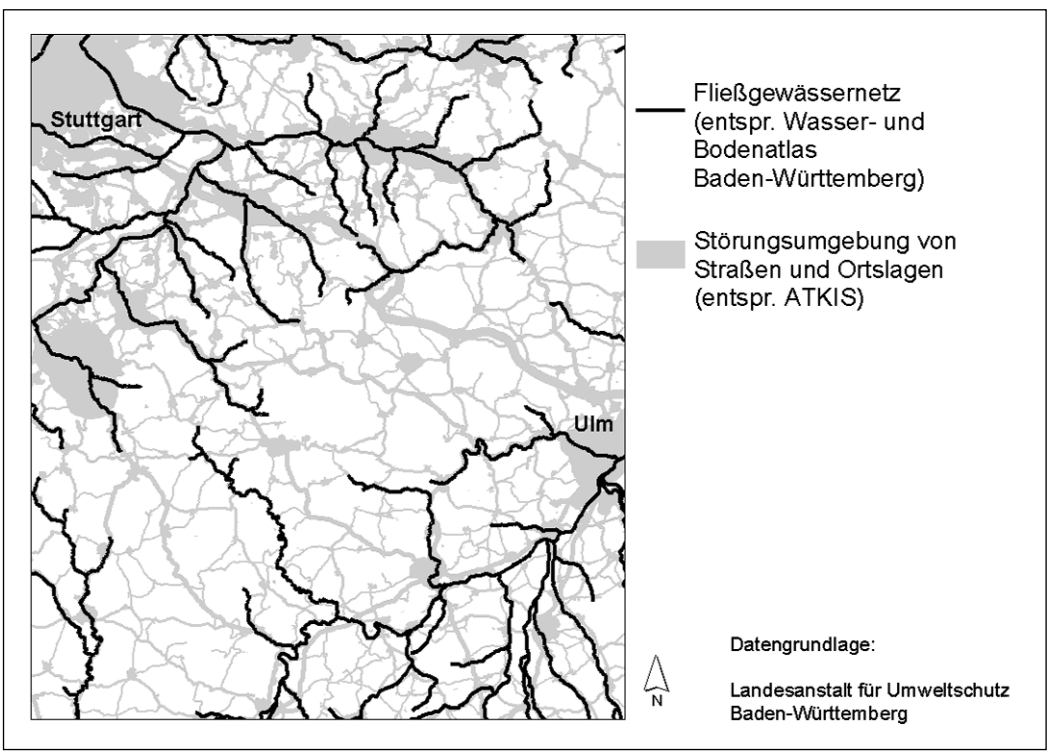


Abb. 3.20 Straßennetz und Gewässernetz. (Eigene Darstellung)

Tabelle 3.10 Festlegung der Störungsumgebungen von Straßen und Siedlungen. (Eigene Darstellung)

Autobahn	500 m – Korridor
Bundessstraße	250 m – Korridor
Landesstraße	150 m – Korridor
Kreisstraße	100 m – Korridor
Gemeindeverbindungsstraße	nicht berücksichtigt
Ortslage	flächenproportionale Pufferumgebung (1 m/ha)

sammelt, dadurch verschiebt sich die Belastung vom Grundwasser zu den Oberflächengewässern. Bei der Einleitung von verschmutztem Wasser in die Gewässer, auch nach Vorklärung, muss die Vorbelastung und das Verhältnis der eingeleiteten Wassermenge zur Kapazität des „Vorfluters" berücksichtigt werden. Zur Dämpfung der Hochwasserspitzen sind künstliche Rückhaltebecken erforderlich, die gleichzeitig die Funktion einer biologischen Klärung übernehmen können.

In Siedlungsgebieten sind die Gewässer meist verbaut, hier müssen die Möglichkeiten einer Gewässersanierung und die Einbeziehung der Gewässer und Uferzonen in den Stadtraum beurteilt werden.

Klima/Luft

Unsere Gesellschaft hat sich zunehmend von einer Industriegesellschaft zu einer „Mobilitäts-" und Dienstleistungsgesellschaft gewandelt. Verkehr ist die Voraussetzung für unseren Lebensstil. Damit wird verständlich, dass trotz verbesserter Motoren und Katalysatoren die Emittentengruppe Verkehr zu der Schadstoffbelastung der Luft den Hauptanteil beiträgt. Die Emissionen können aus den Verkehrsmengen, den Charakteristika der Flotte und dem Fahrmodus berechnet werden (siehe Kap. B 3.3.4.4 und 3.3.4.5).

In Städten, die in Landschaften mit häufig austauscharmen Wetterlagen liegen, sind daher auch in Zukunft mehrtägige Perioden mit kritischen Schadstoffkonzentrationen zu erwarten. Dann sind lokale Luftaustauschbahnen von besonderer Bedeutung. Sie sind aber auch zur Abkühlung bei schwülen Wetterlagen Voraussetzung. Die Zahl der windschwachen oder windstillen Tage bzw. die Zahl der Tage mit Nebel zeigen auf, wie die örtliche Klimasituation einzustufen ist. Derartige regionale Klima-Klassifizierungen gibt es bereits in verschiedenen Bundesländern.

Verkehrsbauwerke können die lokalen Luftströmungen umleiten und durch starke Aufwärmung Luftbewegungen verändern. Dies

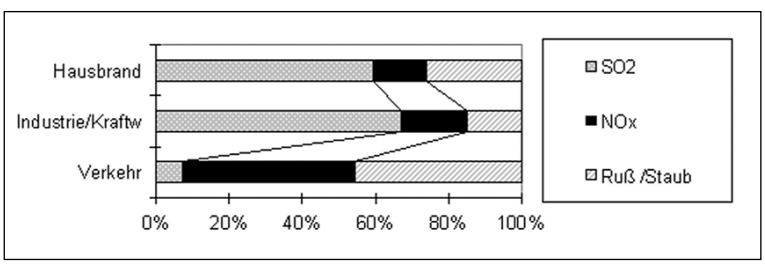


Abb. 3.21 Anteil des Verkehrs an den Gesamtemissionen. (WUMS, 2000)

kann im Einzelfall für empfindliche Nutzungen, z.B. Sonderkulturen, eine Beeinträchtigung darstellen. In jedem Fall sehr problematisch ist jedoch die Veränderung des Lokalklimas bei gleichzeitiger Luftbelastung, wenn also Frischluftströme belastet werden, oder Gebiete, die bereits belastet sind, nicht mehr von Frischluft erreicht werden. Entsprechend der regionalen Klimasituation sind für austauscharme Tal- und Beckenlagen, für hohe Ebenen und für Austausch begünstigte Berglagen die Vorbedingungen unterschiedlich. Abbildung 3.22 zeigt lokale topographische Standorte und Klimasituationen, denen geplante Trassen und Siedlungen zugeordnet werden können. Dies ermöglicht eine relative Einstufung, für die in Abbildung 3.22 Vorschläge gemacht werden. In einer Grobanalyse über Topographie, Vorbelastung und der Modellrechnung der Emissionen kann beurteilt werden, ob die geplante Maßnahme entweder unbedenklich oder in jedem Fall kritisch ist, oder ob örtliche Untersuchungen (Klima- und Luftmessungen) durchgeführt werden müssen.

Lärm

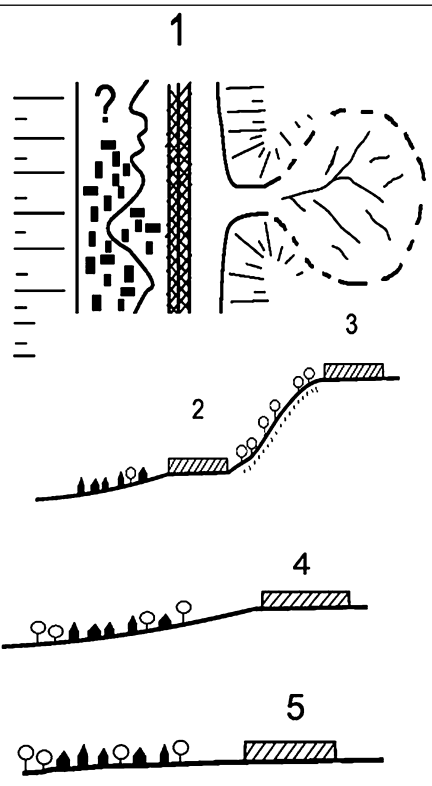
Die Belastung durch Schall wird mit standardisierten Modellen berechnet (siehe Kapitel 3.3.3.2). Bezugseinheit für die Lärmbelastung mit den errechneten Schallpegeln sind innerhalb von Siedlungen Einwohner im betroffenen Gebiet (Lärm-Einwohnergleichwerte, Kapitel 3.3.3.3), bzw. unterschiedlich empfindliche Nutzungen, vgl. Tab. 3.9). Außerhalb des besiedelten Gebietes können die Bezugseinheiten einzelne Objekte (z.B. Erholungspunkte) oder vom Lärm zusätzlich belastete Flächen sein. Im letzteren Fall muss eingestuft werden, inwieweit dort lärmempfindliche Nutzungen auftreten bzw. störempfindliche Arten (z.B. Vögel, Säugetiere) vorkommen. Die Verlärmung der Freiräume kann auch durch die Größe der unzerschnittenen Räume und Abzug eines Belastungspuffers ermittelt werden.

Arten und Biotope

Ausreichend große Lebensräume mit den entsprechenden Habitateigenschaften sind die Voraussetzungen für die Lebensfähigkeit von Populationen der in einem Raum lebenden Arten. In einer Kulturlandschaft wie Mitteleuropa sind es auf der obersten Ebene die unterschiedlichen Hauptnutzungen: Wald, Offenland (Wiesen und Ackerland), Siedlungs- und Industriegebiete, die die Habitatqualität bedingen. Dementsprechend sind in landwirtschaftlichen Intensiv- bzw. Extensivgebieten, in naturnahen Wäldern oder in Forsten mit Koniferen in natürlichen Laubwaldgebieten sehr unterschiedlich. Natürliche oder kaum genutzte Bereiche waren in Deutschland auch in der vorindustriellen Zeit die Ausnahme. So wie sich im Zuge der Entwicklung der Agrarlandschaft (allerdings über Jahrtausende) eine Agrar-Kulturlandschaft entwickelt hat, entwickeln sich heute spezielle Stadtbiotope und Lebensgemeinschaften.

Die bereits in Naturschutzgebieten gesicherten Lebensräume umfassen im Durchschnitt der Länder unter 3 Prozent. Die Europäische Naturschutzpolitik (Vogelschutzrichtlinie 79/404/EWG, Schutzgebietssystem NATURA 2000 mit der FFH-Richtlinie 92/43/EWG Flora Fauna Habitat-Richtlinie) und die Novellierung des Bundes-Naturschutzgesetzes haben den Schutzbemühungen neue Impulse gegeben und die rechtlichen Voraussetzungen für den Artenschutz gestärkt, aber auch, sobald das System in den Grundzügen steht, die Planungssicherheit verbessert. Beide Gesetze sehen ein Schutzgebietssystem von ca. 10 Prozent vor. Dabei ist das Europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000 (FFH-Gebiete und Korridore) das Gerippe, das Kernsystem des Europäischen und nationalen Naturschutzes. Effektiver Naturschutz muss die Matrix, die genutzte Landschaft dazwischen einbeziehen, d.h. der Artenschutz muss in die Landnutzung integriert werden. Hier

Klimatope	Zuordnung Siedlung / Emittenten
1.Talausgang Lage in A1 vorbelastetes austauscharmes Gebiet A2 austauscharmes Gebiet B gute regionale Austausch-Bindungen	1 Talausgang Siedlung zugeordnet II Talausgang keiner Siedlung zugeordnet
2. Lage unterhalb Talhang 3. Lage oberhalb Talschulter	I Hang einer Siedlung zugeordnet (Nacht) II Hang keiner Siedlung zugeordnet
4. Muldenlage	I Siedlung zugeordnet II keiner Siedlung zugeordnet
5. weitgehend ebene Lage	I Siedlung in Hauptwindrichtung II keiner Siedlung in Hauptwindrichtung zugeordnet



Zuordnung der Klimatope und der Planungsbeispiele zu bewerteten Klassen

1.Ausschluss	1.A1.I	Talausgang in austauscharmem Belastungsgebiet mit Siedlung
	1.A1.II	Talausgang in austauscharmem Gebiet mit Siedlung
	1.A2.I	Talausgang in austauscharmem Gebiet ohne Siedlung
	1.B.I	Talausgang in windreichem Gebiet mit Siedlung
	2.A1.I	Vorbehaltsflächen zwischen Siedlung und Hang in Belastungsgebiet
	2.A2.I	Vorbehaltsflächen zwischen Siedlung und Hang in austauscharmem Gebiet
	4.A1.I	Mulde oberhalb Siedlung in Belastungsgebiet
2. Sehr kritisch	1.A2.II	Talausgang, austauscharmes Gebiet, keiner Siedlung zugeordnet
	1.B.II	Talausgang, windreiches Gebiet, keiner Siedlung zugeordnet
	2.A2.II	Tallage, keiner Siedlung zugeordnet, austauscharmes Gebiet
	2.B.I	Tallage, windreiches Gebiet, Siedlung zugeordnet
	3.A2.II	Hangschulter, austauscharmes Gebiet, keiner Siedlung zugeordnet
	3.B.I	Hangschulter, windreiches Gebiet, Siedlung zugeordnet
3.Kritisch	2.A2.II	Tallage, austauscharmes Gebiet, keiner Siedlung zugeordnet
	2.B.II	Tallage, windreiches Gebiet, keiner Siedlung zugeordnet
	3.A2.II	Hangschulter, austauscharmes Gebiet, keiner Siedlung zugeordnet
	3.B.I	Hangschulter, windreiches Gebiet, Siedlung zugeordnet
4. Weniger bedenklich	3.B.II	Hangschulter, windreiches Gebiet, keiner Siedlung zugeordnet
	4.B.II	Muldenlage, windreiches Gebiet, keiner Siedlung zugeordnet
5. Weitgehend unbedenklich		Ebene mit guten Austauschbedingungen (nicht klassifizierte Situation)

Abb. 3.22 Klimatope und Planungssituationen, Zuordnung zu 5 Bewertungsstufen. (Kaule, 2000), übersetzt und ergänzt.

muss also die Schutzbedürftigkeit abgestuft berücksichtigt werden. Dazu ist es erforderlich, eine Karte der Landschaftsstrukturen (Biotope wie Wäldchen, Hecken, Bachläufe) zu erstellen und diese mit den vorkommenden Arten zu überlagern. Besonders müssen dabei gefährdete Arten der Roten Listen und Arten der Anhänge der FFH-Richtlinie berücksichtigt werden.

West- und Mitteleuropa und insbesondere Deutschland gehören im weltweiten Vergleich zu den Räumen mit dem dichtesten Verkehrsnetz. Unzerschnittene Räume haben daher einen besonderen Schutzwert. Dabei muss ein von der Fahrleistung abhängiges Belastungsband (siehe Tabelle 3.9) berücksichtigt werden. Bei kleinen Maschen bleibt dementsprechend kaum mehr ein gering belasteter Innenbereich übrig. Ein standardisiertes Maß für den Zerschneidungsgrad ist die effektive Maschenweite (Jäger, 1999; 2002).

Dies muss insbesondere bei der Abwägung von Bündelungen von Verkehrstrassen und bei der Verlagerung von Verkehr aus dem Innenbereich in den Außenraum berücksichtigt werden.

So wichtig der Schutz der Kulturlandschaft außerhalb der Siedlungen ist, ersetzt er doch keineswegs den Schutz unserer belebten Umwelt im bebauten Bereich. Dieser wird in wenigen Jahren etwa 15 Prozent der Landesfläche umfassen und kann schon aufgrund des absoluten Flächenumfangs nicht vernachlässigt werden. Stadtwälder, Parks, Wiesen, Obstwiesen, Agrarflächen haben dort nicht nur Bedeutung als Erholungsgebiete. Auch locker bebaute Gebiete mit alten Bäumen sind zu beachten. Alle derartigen Flächen haben nicht nur Bedeutung für den Temperaturausgleich, als Senken für Schadstoffe, insbesondere für Staub, als Versickerungsgebiete für Niederschläge in der Stadt und für den biologischen Stoffumsatz, sondern auch für die Arten, die sonst in Städten fehlen. Hier findet man aber auch stadtspezifische Lebensgemeinschaften. Die Messlatte für Belange des Artenschutzes muss allerdings in der Stadt und in Siedlungsnähe eine andere sein als z.B. in Höhenlagen der Mittelgebirge.

In Tabelle 3.11 wird eine neunteilige Bewertung vorgeschlagen, die als Rahmen eine Einordnung lokalspezifischer Untersuchungen ermöglicht. Sie berücksichtigt, dass in einer Kulturlandschaft in allen Hauptnutzungen für den Artenschutz sehr bedeutende, aber auch negative Lebensräume vorkommen können.

Im Rahmen der Analyse einer Trasse erfolgt eine Überlagerung des Trassenabschnittes oder des betrachteten Netzes und der Fläche, die für Belange des Artenschutzes bewertet wurde. Die Breite der Belastungsbänder hängt von den betroffenen Arten, ihren Lebensgemeinschaften und den Verkehrsmengen ab. Einen normierten Vorschlag für Belastungsbänder zeigt Tabelle 3.9.

Erholung (naturnahe Erholung in Freiräumen)

Entsprechend dem deutschen Naturschutzgesetz und der UVPG (dem Gesetz zur Durchführung der Umweltverträglichkeitsprüfung) wird Erholung im Zusammenhang mit den Umweltgütern bearbeitet und bewertet. Naturnahe Erholung ist auf eine abwechslungsreiche Kulturlandschaft, einschließlich entsprechend bewirtschafteter Wälder angewiesen. Insbesondere siedlungsnahe, für Wandern, Radfahren oder Spazierengehen geeignete Freiräume verringern den Erholungsverkehr mit dem Auto. Für die Bewertung der Landschaftsausstattung kann die Strukturkarte herangezogen werden, die die Landschaftsausstattung für den Arten- und Biotopschutz aufbereitet. In Überlagerung mit der Verlärmung ergibt sich eine Karte der Eignung für die naturnahe Erholung. Neue Trassen vermindern die Qualität für Erholung, gemessen durch Zerschneidung, Verlärmung und Verringerung der effektiven Maschenweite.

Tabelle 3.11 Bewertungsstufen für eine flächendeckende Bewertung für Belange des Artenschutzes, Übersicht. (Kaule, 1986)

Bewertungsstufe Vorschlag Schutzstatus Erfassung(-smethode)	**Kriterien** **Beispiele**
9 NSG Nationalparke FFH	Seltene und repräsentative natürliche und extensiv genutzte Ökosysteme. In der Regel alte und/oder oligotrophe Ökosysteme mit Spitzenarten der Roten Liste, geringe Störung, soweit vom Typ möglich große Flächen. „Urwälder“, Moore, Seen, dynamische Auen, Felsfluren, alpine Ökosysteme, Küstenökosysteme, Heiden, Magerrasen, Streuwiesen, Acker, Stadtbiotope mit hervorragender Artenausstattung.
8 NSG/ND/FFH 8 und 9 sind in den Biotopkartierungen aller Bundesländer erfasst	Wie 9, jedoch weniger gut ausgebildet, vorrangig auch zurückgehende Waldökosysteme und Waldnutzungsformen, extensive Kulturökosysteme und Brachen, Komplexe mit bedrohten Arten, die einen größeren Aktionsraum benötigen. Gebiete mit besonderer Bedeutung auf Landes- und Regionalebene, d.h. in einem größeren Bezugsraum sind höher zu bewertende Gebiete vorhanden. Umgekehrt kann auf Landesebene eine Einstufung in 8 gerechtfertigt sein, und trotzdem aufgrund des Schwerpunktvorkommen aus europäischer Sicht eine FFH Einstufung gerechtfertigt sein.
7 In den Landesweiten Biotopkartierungen in der Regel erfasst.Soweit nicht NSG / ND nach §22c geschützt. Großflächig LSG oder Biosphärenreservat	Gebiete mit regionaler Bedeutung. Nicht oder extensiv genutzte Flächen mit Rote-Liste-Arten zwischen Wirtschaftsflächen, regional zurückgehende Arten, oligotraphente Arten, Restflächen der Typen von 8 und 9, Kulturflächen, in denen regional zurückgehende Arten noch zahlreich vorkommen. Altholzbestände, Plenterwälder, spezielle Schlagfluren, Hecken, Bachsäume, Dämme, etc., Sukzessionsflächen mit Magerkeitszeigern, regionaltypische Arten; Wiesen und Äcker mit stark zurückgehenden Arten, Industriebrache, Böschungen, Parks, Villengärten mit alten Baumbeständen.
6 In den landesweiten Biotopkartierungen nicht oder nur teilweise erfaßt. Aufgabe der örtlichen Bestandsaufnahmen zum FNP / LP oder den Kleinstrukturkartierungen. Überprüfen ob Status 22c gegeben ist.	Gebiete mit örtlicher Bedeutung, kleinere Ausgleichsflächen zwischen Nutzökosystemen (Kleinstrukturen) in Landschaftskomplexen. Unterscheidet sich von 7 durch Fehlen oder Seltenheit von oligotraphenten Arten und Rote-Liste-Arten. Bedeutend für Arten, die in den eigentlichen Kulturflächen nicht mehr vorkommen. Artenarme Wälder, Mischwälder mit hohem Fichtenanteil, Hecken, Feldgehölze mit wenig regionaltypischen Arten; Äcker und Wiesen, in denen noch standortspezifische Arten vorkommen; kleinere Sukzessionsflächen in Städten, alte Gärten und Kleingartenanlagen.

5 Im Rahmen der Eingriffsregelung bzw. UVP noch für den Artenschutz zu berücksichtigen	Nutzflächen, in denen nur noch wenig standortspezifische Arten vorkommen. Die Bewirtschaftungsintensität überlagert die natürlichen Standorteigenschaften. Grenze der „ordnungsgemäßen" Land- und Forstwirtschaft; Äcker und Wiesen ohne spezifische Flora und Fauna, Siedlungsgebiete mit überwiegend intensiv gepflegten Anlagen.
4 Aus Landnutzungsklassifizierung ableitbar	Nutzflächen, in denen nur noch Arten eutropher Einheitsstandorte vorkommen bzw. die Ubiquisten der Siedlungen oder die widerstandsfähigsten Ackerunkräuter. Randliche Flächen werden beeinträchtigt. Äcker und Intensivwiesen, Aufforstungen in schutzwürdigen Bereichen, stark belastete Abstandsflächen, Fichtenforste, dicht bebaute Siedlungsgebiete mit wenigen extensiv genutzten Restflächen.
3 Aus Landnutzungsklassifizierung ableitbar	Nur für wenige Ubiquisten nutzbare Flächen, starke Trennwirkung, sehr deutliche negative Beeinflussung von Nachbargebieten beeinträchtigend. Intensiväcker mit enger Fruchtfolge, stark verarmtes Grünland, 4-8 höhere Pflanzenarten/100 qm, Wohngebiete mit „Einheitsgrün", Zwergkoniferen, Rasen, wenige Zierpflanzen, Forstplantagen in Auen und in anderen schutzwürdigen Lebensräumen.
2 Landnutzungsklassen + Emissionsdaten	Fast vegetationsfreie Flächen. Durch Emissionen starke Belastungen für andere Ökosysteme von hier ausgehend. Gülle-Entsorgungsgebiete in der Landwirtschaft, extrem enge Fruchtfolgen und hoher Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, intensive Weinbau- und Obstanlagen, Aufforstungen in hochwertigen Lebensräumen, Intensiv-Forstplantagen.
1 Landnutzungsklassen, Emissionsdaten	Bebaute Gebiete oder Verkehrsflächen von denen durch Emissionen sehr starke Belastungen für andere Ökosysteme ausgehend: Innenstädte, Industriegebiete fast ohne Restflächen, Hauptverkehrsstraßen.

Zusammenführung in Umweltverträglichkeitsstudien

Die einzelnen ökologischen Teilbereiche werden zunächst unabhängig voneinander dargestellt und die Auswirkungen in unterschiedlichen Dimensionen dargestellt: betroffene Einwohnerzahlen, verlärmte Fläche, Größe der unterschiedlich bewerteten Lebensräume etc. Diese Teilaspekte der Umwelt müssen zusammengeführt und gegen soziale, wirtschaftliche, verkehrliche Belange abgewogen werden. Dies geht nicht nach einem starren Schema. Es muss in jedem einzelnen Verfahren begründet werden, welche Belange in der konkreten Situation besonders wichtig sind. Das heißt, zunächst werden die zu berücksichtigenden Faktoren reduziert, entweder weil sie im konkreten Fall nicht so bedeutend sind oder weil sie alle Varianten etwa gleich beeinflussen. In der weiteren Bearbeitung müssen dann iterativ die besonders wichtigen Umwelt-Teilaspekte weiter vertieft, aber auch zu einer Aussage zusam-

mengefasst werden, denn letztlich muss eine Entscheidung getroffen werden, die nicht allein aus den Naturwissenschaften möglich ist, sondern auch von gesellschaftlichen Wertvorstellungen abhängt.

Im Naturhaushalt stehen die einzelnen Naturgüter nicht isoliert nebeneinander. Luftverschmutzungen werden durch trockene oder nasse Deposition auf den Boden über die Bodenmatrix an das Grundwasser weitergegeben. Stoffe werden ebenfalls über das Nahrungsnetz weiterverbreitet und in den Endgliedern der Nahrungskette konzentriert. Derartige Wechselwirkungen müssen erfasst und mit bewertet werden.

In Tabelle 3.6 wurden kumulative Effekte zusammengestellt; auch diese müssen analysiert und bewertet werden. Besonders wichtig sind im Bereich der Verkehrsplanung die Effekte einer verbesserten Erschließung.

In der UVS muss die Analyse der Umweltmedien zu einer Empfehlung zusammengeführt werden. Da die einzelnen Umweltmedien in ganz unterschiedlichen Dimensionen und zum größten Teil in dimensionslosen Werten analysiert werden, müssen die verschiedenen Bereiche vergleichbar dargestellt werden. Dies geht z.B. in einer dimensionslosen Skala von sehr bedeutend bis unbedeutend oder herausragend bis schlecht. Damit wird aber noch nicht ausgesagt, ob „gut“ im Bereich Lufthaushalt mit „gut“ im Bereich Arten und Biotope gleichzusetzen ist. Hierzu ist eine Gewichtung erforderlich. Diese kann durch Abstimmung, durch Expertenbefragung, am besten aber durch eine sachlich begründete Aussage erfolgen. Sie kann durch Bewertung in einem größeren räumlichen Zusammenhang und/oder in der zeitlichen Entwicklung (Modellierung) erfolgen. Im ersten Fall wird zum Beispiel bei einer örtlichen Analyse die Bedeutung im regionalen oder Landesmaßstab herangezogen. Bei der Bewertung der Luftverschmutzung kann die zeitliche Entwicklung im Hinblick auf die Einführung höherer Standards modelliert werden. Die Erstellung von Szenarien kann ebenfalls eine Bewertung plausibel begründen und in der Diskussion Konsequenzen unterschiedlicher Alternativen verdeutlichen.

Die Reduktion der Vielzahl von zu bewertenden Sachbereichen und den daraus folgenden Einzelwerten kann durch Selektion von Schlüsselbereichen oder durch Aggregation gewichteter Werte erfolgen (siehe Kap. B 8).

3.5.7 Die Abwägung in der UVP

Im mehrstufigen Verfahrensablauf der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) finden in allen Verfahrensabschnitten Abwägungen zwischen den verkehrlichen, ökonomischen, sozialen und ökologischen Belangen statt. Keiner der Bereiche hat zwingend Vorrang. Entscheidend ist, dass sie hinreichend genau untersucht und die Entscheidungskriterien offen gelegt werden.

Abbildung 3.23 zeigt den Ablauf auf verschiedenen Ebenen: Zunächst muss ein Korridor gefunden werden, der Konflikte – soweit möglich – minimiert und den komplexen raumordnerischen Belangen am besten entspricht. Im Linienbestimmungsverfahren wird in dem Korridor eine Trasse gefunden. Im Abwägungsverfahren ermitteln die Sektoren jeweils eine Reihenfolge, dann muss aus den Empfehlungen der „Sektoren“ eine optimierte Variante gefunden und nach Offenlegung und Diskussion mit den Trägern öffentlicher Belange beschlossen werden. Im Planfeststellungsverfahren wird die Trasse mit ihren einzelnen Elementen detailliert. Die Bauentwürfe einschließlich landschaftspflegerischer Begleitplan werden unter Beteiligung der Naturschutzbehörden und Umweltverbände optimiert und abgestimmt. Das Ergebnis mündet in den Planfeststellungsbeschluss. Im Rahmen

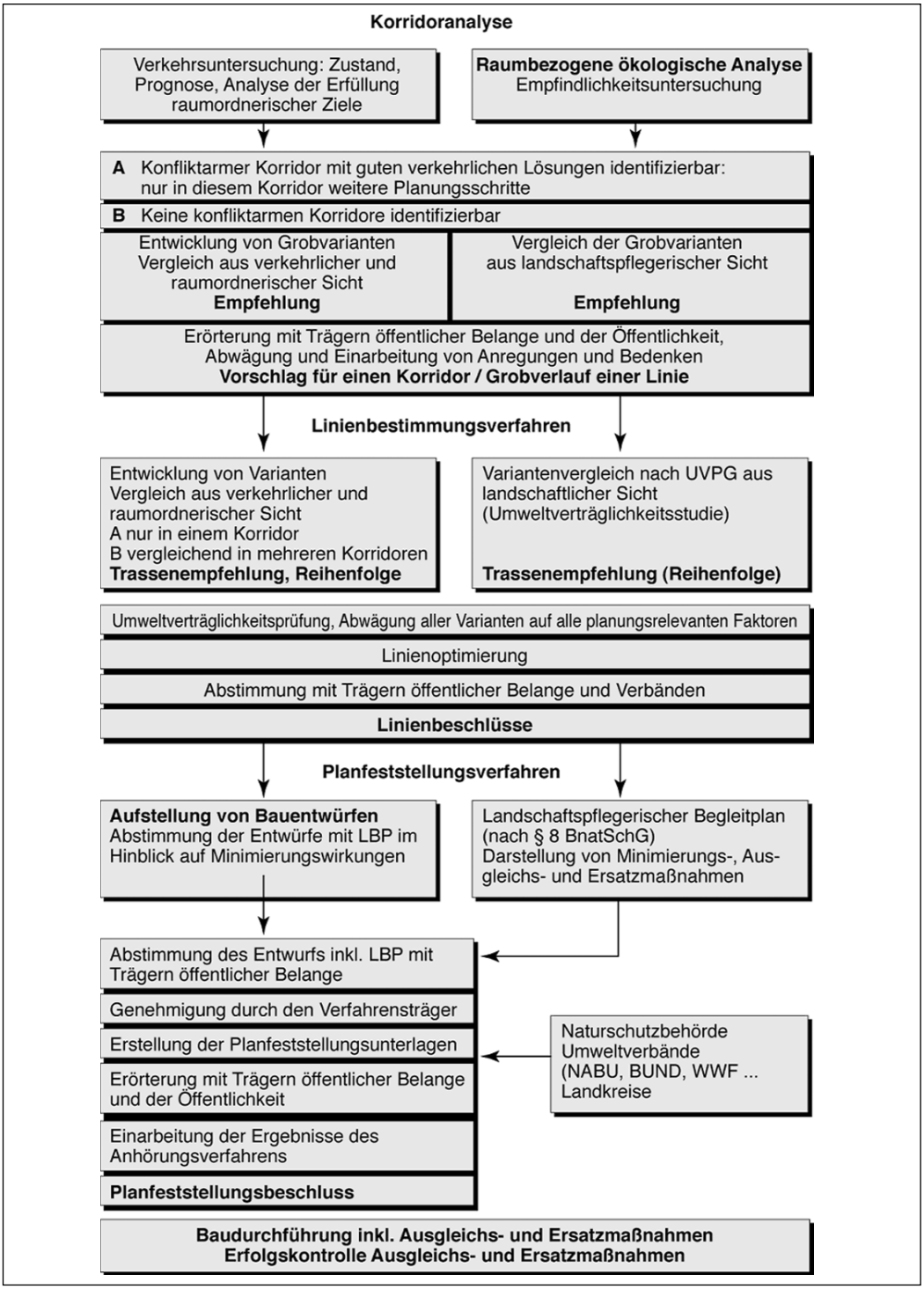


Abb. 3.23 Beispielhafter Verfahrensablauf einer UVP (Erläuterung siehe Text). (Kaule, 2002)

der Baudurchführung werden auch die Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen durchgeführt.

Vielfach schließt ein Planungsverfahren in der Realität den Gang zum Verwaltungsgericht ein. Dies liegt meist an einem nicht sorgfältig geplanten Ablauf, aber auch an einer unzureichenden Beteiligung der Träger öffentlicher Belange. Diese klagen dann ihr Beteiligungsrecht ein. Sehr häufig wird aber auch versucht, mit Musterprozessen die Prioritäten in der Verkehrspolitik grundsätzlich in Frage zu stellen. Die einzelnen Lösungen werden dadurch meist nicht verbessert. Die in Abbildung 3.18 wiedergegeben Ebenen sollten von allen Beteiligten beachtet werden.

Die deutschen Planungsgesetze beinhalten im Bundesnaturschutzgesetz die Eingriffsregelung. Diese trägt wesentliche Züge der UVP, ist jedoch weniger umfassend. Bei einer Überprüfung entsprechend der Eingriffsregelung werden nicht alle Umweltfaktoren gleichwertig behandelt, der Schwerpunkt liegt in der Analyse des biotischen Potentials (Arten- und Biotopschutz). Der Eingriffsregelung entspricht auf europäischer Ebene die Überprüfung im Rahmen der FFH-Richtline (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie). Sofern Eingriffe in das Netz der Europäischen Schutzgebiete „NATURA 2000“ erfolgen, muss die dafür zuständige Kommission beteiligt werden.

Literatur

Haber, W. (1986): Über die menschliche Nutzung von Ökosystemen – unter besonderer Berücksichtigung von Agrarökosystemen. Verh. Ges. für Ökologie (Hohenheim) Bd.XIV S.13-24

Hesse, M. u. Schmitz; S. (1998): Stadtentwicklung im Zeichen von „Auflösung“ und Nachhaltigkeit. Informationen zur Raumentwicklung. 7/8, S. 435-453

Jäger, J. (1999): Gefährdungsanalyse der anthropogenen Landschaftszerschneidung. Diss. ETH Zürich Nr. 13503 (Departement für Umweltnaturwissenschaften)

Jäger, J. (2002): Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

Kaule, G. (1990): Ökologische Bestandsaufnahme und Bewertung im Straßenbau – warum? VSVI S.28-38 Baden-Württemberg

Kaule, G. (1991): Arten- und Biotopschutz. Eugen Ulmer Verlag, 2.Aufl., Stuttgart

Kaule, G. (2000): Ecologically Orientated planning. Peter Lang Verlag, Frankfurt a. M.

Kaule, G. (2002): Umweltplanung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

Kaule, G. u. Reck, H. (1992): Straßen und Lebensräume. Forschungsbericht FE 02.125 G88L Bundesminister für Verkehr, Bonn

NBBW (2004): Sondergutachten aus dem Nachhaltigkeitsbeirat BW: Neue Wege zu einem nachhaltigen Flächenmanagement in BW 2004

Runge, K. (1998): Die Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Internationale Entwicklungstendenzen und Planungspraxis. Springer, Berlin, Heidelberg 1998. In: Kaule, G: Umweltplanung. Ulmer Verlag

Scheffer, F. u. Schachtschabel (1982): Lehrbuch der Bodenkunde. 11. Neub. Aufl., S.274, Enke Verlag, Stuttgart

Steierwald, G. u. Schönharting, J. (Hrsg.) (1990): Straßennetzgestaltung im Hinblick auf Bodenbelastung. Forschungsvorhaben 0339105 A BMFT, Jühlich

WUMS 2000. In: Kaule, G.: Umweltplanung - Wege zu einer umweltverträglichen Mobilität am Beispiel der Region Stuttgart: Endbericht Universität Stuttgart 2000. http://www.ilpoe.uni-stuttgart.de

4 Prognosen und Szenarien

Prognosen (griech.: prognosis Vorherwissen) bilden die Basis fast aller Entscheidungen im Verkehrswesen. Dies gilt sowohl für kurz- und mittelfristige Aussagen z.B. zur Signalsteuerung oder für Stauwarnungen als auch für langfristige Vorhersagen bei Investitionsentscheidungen, insbesondere bei der Beurteilung unterschiedlicher Planfälle. Selbst kurzfristige Prognosen unterliegen einer Reihe von Unsicherheiten, die sich aus dem subjektiv individuellen Verhalten der Verkehrsteilnehmer ergeben etwa bei Stauprognosen, die sich auf Grund der Reaktion der Fahrer im positiven Sinne selbst widerlegen, aber auch bei sich selbst erfüllenden Prognosen, die keineswegs der Absicht ihrer Verfasser entsprechen.

Mit zunehmendem Prognosezeitraum wachsen die Fehleinschätzungen und damit das Risiko von Fehlinvestitionen erheblich an. Dennoch bleiben Prognosen die einzige Voraussetzung jeglicher Art von Planung. Die Hauptaufgabe von Verkehrsprognosen besteht in Aussagen über die Entwicklung und den Zustand (bzw. Zustände oder Planfälle) von Verkehrssystemen unter gleich bleibenden oder veränderten Rahmenbedingungen. Unter Beachtung der bisherigen Entwicklungen, der Rahmenbedingungen und der Planungsziele müssen die Art, das Maß und die Zuordnung von Daten nicht nur der räumlichen Entwicklung abgeschätzt werden, die für die modellmäßige Beschreibung der Verkehrsvorgänge und der Verkehrsauswirkungen erforderlich sind, sondern auch die generellen Entwicklungstendenzen der Verkehrsinfrastruktur (Verkehrsangebot), die die Verkehrsnachfrage nachhaltig beeinflussen können.

Verkehrsprognosen erfordern Kenntnisse

- über die weitgehend determinierten, nicht oder wenig beeinflussbaren Einflüsse (z.B. Gesetzgebung (EU, Bund) aufgrund allgemeiner politischer Entscheidungen) und
- über die zeitliche Extrapolierbarkeit von Zusammenhängen aus der Analyse der bisherigen Entwicklung (z.B. Verhalten der Bevölkerung bezüglich Änderungen im Verkehrssystem oder in der Siedlungsstruktur).

Aus der Vielzahl der verfügbaren Prognosemethoden (vgl. z.B. Mertens, 1984; Fildes u. Wood, 1983; Steinmüller, 1997; Leutzbach, 2000) werden heute im Wesentlichen die in Abbildung 4.1 genannten Verfahren empfohlen (Krauch, 1990). Bei Prognosen zum Verkehr handelt es sich in der Mehrzahl um quan-

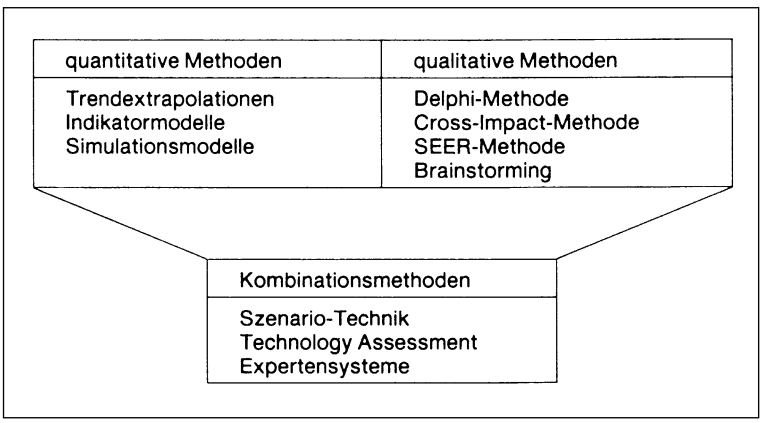


Abb. 4.1 Prognosemethoden (Krauch, 1990)

titative und/oder um Kombinationen aus quantitativen und qualitativen Methoden. Quantitative Prognosemethoden beruhen auf der Verwendung mathematisch-statistischer Verfahren wie Regressions- oder Zeitreihenanalysen. Ihnen ist gemeinsam, dass sie aufgrund von Beobachtungen des derzeitigen Zustandes und der bisherigen Entwicklung Zusammenhänge wiedergeben und diese in die Zukunft projizieren.

Die bekannteste dieser Methoden ist die Trendextrapolation. Bei stabilem Umfeld, d.h. bei weitgehender Konstanz des Einflusses aller in der Schätzung nicht explizit berücksichtigten Variablen im Zeitablauf und bei Verzicht auf Langfristbetrachtungen kann sie erfolgreich eingesetzt werden (Krauch, 1990). Für Fragestellungen wie für die Prognose der natürlichen Bevölkerungsentwicklung oder die Motorisierungsprognose wurden häufig Trendextrapolationen verwendet. Auch die im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) (FGSV, 2001) dargestellte Querschnittsprognose (Prognose der Entwicklung der Verkehrsstärken an einem Straßenquerschnitt, vgl. auch Kap. B 7) ist eine einfache Trendextrapolation, die jedoch schnell an Grenzen stößt und für den innerstädtischen Verkehr nicht anwendbar ist. Denn bei Strukturbrüchen und beim Auftauchen neuer, gravierender Einflussgrößen muss die Trendextrapolation zwangsläufig versagen. Der Abschätzung des künftigen städtischen Verkehrs als einem äußerst komplexen Sachverhalt mit vielen wechselseitig miteinander verwobenen Faktoren wird eine einfache, monokausale Betrachtungsweise nicht gerecht. Stadtstrukturen sind dynamischen Veränderungen und Entwicklungsprozessen unterworfen, die sich sowohl auf den Verkehr auswirken, gleichzeitig aber auch durch den Verkehr beeinflusst werden.

Die mit Querschnittsprognosen verbundenen Schwächen und Risiken führten in der Stadtverkehrsplanung bald zur Entwicklung von Verflechtungsprognosen oder Verkehrsstrommodellen, bei denen die vektoriellen Verkehrsbeziehungen auf räumliche Strukturen zurückgeführt, in Abhängigkeit von räumlichen Strukturen prognostiziert und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Angebote der Verkehrsmittel auf die ebenfalls variablen Netzangebote umgelegt werden. Derartige Prognosemodelle haben einen hohen, wissenschaftlich fundierten Standard erreicht. Sie werden in Kapitel B 5 eingehend behandelt.

Zu den quantitativen Prognosemethoden zählen die Simulationsmodelle, bei denen das derzeitige Verkehrsgeschehen im Rechner möglichst real abgebildet wird. Großrechner erlauben mikroskopisch die Abbildung des Verkehrsablaufs der einzelnen Fahrzeugbewegungen, so dass unter Berücksichtigung von Neu- und Ausbaumaßnahmen sowohl im MIV als auch im ÖPNV und den damit verbundenen Verhaltensänderungen die Wirkungen unterschiedlicher Planungsfälle prognostiziert werden können. Gerade auf diesem Gebiet gibt es in Zukunft eine Fülle neuer Anwendungsmöglichkeiten.

Bei Betrachtung aller mathematisch-statistischer Modellvorstellungen sollte nicht unerwähnt bleiben, dass korrelative Zusammenhänge keine kausale Abhängigkeit darstellen, sondern eine rein formale Beschreibung zwischen zwei oder mehr Größen angeben. Die kausale Interpretation hat in der Vergangenheit insbesondere im Hinblick auf prognostische Aussagen zu erheblichen Irrtümern und Missverständnissen geführt.

Für mittel- und langfristige Prognosen derart komplexer Systeme verwendet man häufig die Szenariotechnik als vielleicht bekanntesten Vertreter der Kombinationsmethoden, mit der man die Schwächen der einzelnen quantitativen und qualitativen Prognoseverfahren durch eine „sinnvolle Mischung“ dieser Verfahren abzumildern versucht (vgl. ILS, 1991; ILS,

1989). Wichtige Anforderungen an Szenarien betreffen die Glaubwürdigkeit oder Plausibilität, die Verständlichkeit oder Nachvollziehbarkeit, die Vollständigkeit der einbezogenen Aspekte und die Transparenz z.B. der zugrunde gelegten Werturteile.

Der Anspruch an Plausibilität bedingt, dass Szenarien in sich widerspruchsfreie Zukunftsbilder antizipieren sollen. Man beschreibt alternative Entwicklungen des Umfeldes (z.B. Entwicklung der künftigen gesellschafts- und verkehrspolitischen Rahmenbedingungen), entwirft damit Bilder von möglichen künftigen Zuständen (Szenarien) und leitet daraus die jeweiligen quantitativen und qualitativen Auswirkungen auf den Prognosegegenstand ab. Mit Verkehrsmodellen, mit Hilfe der Simulation oder mit Analogieschlüssen versucht man auf der Grundlage bekannter Abhängigkeiten und Zusammenhänge die Frage zu beantworten, welche verkehrlichen und anderen Folgen unter definierten künftigen Rahmenbedingungen zu erwarten sind.

Von grundlegender Bedeutung und zugleich erheblicher Schwierigkeit ist die Aufgabe, ein Szenario widerspruchsfrei aufzubauen. Geht es dabei in Szenarien, die einen Wertewandel unterstellen, beispielsweise darum, bisher nicht beobachtbare Verhaltensweisen (z.B. als Folge einer drastischen Benzinpreiserhöhung) in ihren Effekten auf andere Bereiche (z.B. Sozialverträglichkeit) nachvollziehbar einzuordnen, besteht bei Trend-Szenarien die Gefahr des Widerspruchs gegenüber den unterstellten Ausgangsbedingungen. Beispielsweise müsste einer erforderlichen Kapazität für die drastischen, im Trend extrapolierten Verkehrszunahmen durch umfangreiche bauliche, betriebliche und andere Maßnahmen Rechnung getragen werden, was – um nur zwei Nebeneffekte zu nennen – neben der Finanzierungsproblematik die Bereitschaft der Bevölkerung voraussetzt, die mit diesem Verkehrswachstum verbundenen negativen Folgen zu tragen.

Einen wesentlichen Bestandteil von Szenarien des Personenverkehrs bildet die Abschätzung der Bevölkerungspotentiale, die auf beabsichtigte Veränderungen und Eingriffe reagieren. Hier bietet die Szenariotechnik die Möglichkeit, ein breites Spektrum denkbarer Veränderungen abzudecken. Häufig entwirft man die Zukunftsbilder in der Art, dass mit den Entwicklungspfaden gegensätzliche Extreme dargestellt werden. Die Extreme geben gesellschaftliche Wertvorstellungen wieder, in denen die Gewichte in der Zielhierarchie maßgeblich verändert werden. Auf diese Weise erlauben Szenarien, den häufig zitierten „Wertewandel“ in die Zukunftsbetrachtung aufzunehmen.

In einer vereinfachenden Darstellung reduziert Rothengatter (1991) die mit dem Verkehr verbundenen Zielsetzungen auf zwei Basisziele:

– das „unbehinderte Ausleben von Mobilitätswünschen und Nutzung aller Möglichkeiten einzelwirtschaftlicher Nutzen- und Effizienzverbesserung“ und
– die „Erhaltung der körperlichen Unversehrtheit des Menschen und seiner natürlichen Umgebung“.

Betrachtet man die in der Bundesrepublik getroffenen politischen Entscheidungen und realisierten Verhaltensweisen der letzten Jahrzehnte, so wurde nach Rothengatter (1991) dem erstgenannten Ziel gemeinhin eine höhere Priorität eingeräumt, allerdings unter der Begleitbedingung, das zweite Ziel dem aktuellen Stand der Technik entsprechend bestmöglich zu erfüllen. Trend-Szenarien behalten diese Rangordnung im Wesentlichen bei. Mit Annäherung an die Grenzen der Belastbarkeit der natürlichen Lebensgrundlagen und aufgrund lokal wie zu bestimmten Zeiten zunehmend zu beobachtender Überschreitungen von Umweltstandards mehren sich die Stimmen für eine Umorientierung. Gefordert werden Verbesserungen bezüglich des zweiten Basis-

zieles, auch unter Inkaufnahme von Einbußen beim erstgenannten Ziel.

So reicht die Bandbreite zahlreicher, mittlerweile bearbeiteter Verkehrsszenarien bezüglich des Themenfeldes „Stadt und Verkehr im Jahr 20xx“ von einem Trend-Szenario, das einen weitgehend eingriffslosen Selbstlauf des Systems nur unter Berücksichtigung absehbarer Entwicklungen beschreibt und aufzeigt, wie groß z.B. der Anteil des ÖPNV und des nicht motorisierten Verkehrs in diesem Fall sein wird oder welche Umweltbelastungen sich einstellen werden, bis zu Szenarien, die einen Wertewandel bis hin zur Dominanz ökologischer Zielsetzungen unterstellen und als Ergebnis zu einem wesentlich anderen zukünftigen Verkehrsbild gelangen. Solche Szenarien enthalten ein Bündel von „trendkorrigierenden“ Maßnahmen aus den verschiedensten Bereichen, häufig mit dem Schwerpunkt auf Maßnahmen der Finanz- und Ordnungspolitik (z.B. Steuern und Abgaben), die die Wahlfreiheit für den individuellen Verkehrsteilnehmer mehr oder weniger stark erschweren oder einschränken sollen. Mit ihnen lässt sich zeigen, dass ein hohes Potential für den Abbau unerwünschter Effekte des Straßenverkehrs vorhanden ist, das sich aber ohne Veränderungen der Verhaltensweisen und Verlagerungen des Verkehrs nicht erschließen lässt. Die Abbildungen 4.2 und 4.3 zeigen beispielhaft die verkehrspolitischen Rahmenbedingungen von Szenarien für einen Verdichtungsraum und eine Stadt mit etwa 100.000 Einwohnern.

Ein wesentlicher Vorteil der Szenariotechnik besteht darin, dass aus der Gegenüberstellung einer Bandbreite von möglichen Ergebnissen die kritischen Einflussgrößen sichtbar werden, deren Entwicklung sich besonders stark auf den Prognosegegenstand (z.B. Verkehrsaufkommen, Verkehrsleistung und daraus abgeleitete Wirkungen) auswirkt. Auf diese Weise erlauben Szenarien Rückschlüsse auf die Effektivität von beabsichtigten Eingrif-

Abb. 4.2 Szenarien für einen Ballungsraum (Steierwald et al., 1992)

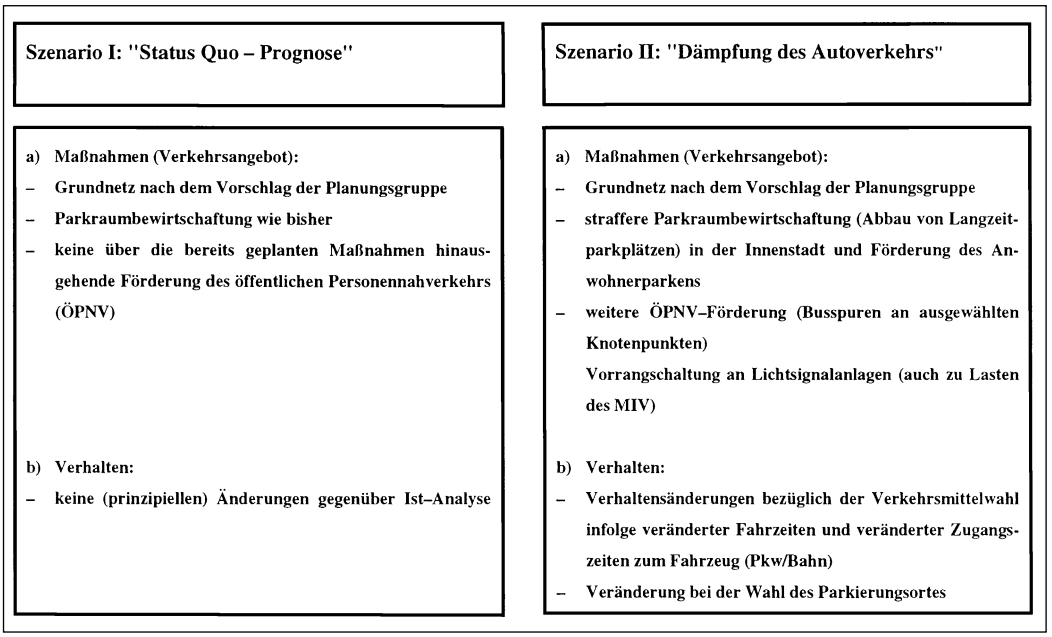


Abb. 4.3 Szenarien für eine Stadt mit ca. 100.000 Einwohnern (Leutzbach et al., 1990)

fen. Sie tragen zu einem zielorientierten Entwurf von Strategien und Maßnahmen bei. Nähere Ausführungen zu den Szenarien Trend, ökologische und technische Entwicklung finden sich in Kapitel A 3.2.

Eine etwas andere Vorgehensweise unter Verwendung der Szenariotechnik besteht darin, ein a priori wünschenswertes Zukunftsbild zu entwerfen. Man gibt Zielwerte z.B. im Hinblick auf Gesundheit, Lebensqualität und Mobilität der Bevölkerung vor, um dann systematisch nach geeigneten Wegen dahin zu suchen (ILS, 1991). Aus der Gegenüberstellung zum Trend-Szenario ergibt sich der zur Zielerreichung erforderliche Interventionsbedarf. Beispiele für eine solche Vorgehensweise bildeten die Vorgabe eines Zielwertes für den Beitrag des Verkehrs zu den CO_2-Emissionen in der Bundesrepublik im Jahr 2005 („Treibhauseffekt“) (Hopf et al., 1990) bzw. allgemein die Handlungsziele der Bundesregierung in ihrem Klimaschutzprogramm (Bundesregierung, 2000) zur Minderung der CO_2-Emissionen bis 2005 um 25% gegenüber 1990, ergänzt durch die mit der Ratifizierung übernommene Verpflichtung zur Minderung der Emissionen der sechs Treibhausgase des Kyoto-Protokolls um 21% im Zeitraum 2008 bis 2012 im Rahmen der EU-Lastenverteilung (vgl. Wagner u. Schwarzenauer, 2002), Vorgaben im Rahmen der Gesetzgebung zur Luftreinhaltung in Kalifornien (California Clean Air Act, 1988) oder im Rahmen von Luftreinhalteprogrammen in der Schweiz (Amt für technische Anlagen und Lufthygiene der Baudirektion des Kantons Zürich, 1992), deren Einhaltung in einem definierten Zieljahr die Durchsetzung entsprechender Handlungskonzepte voraussetzen. Die Entwicklungspfade und die damit jeweils verbundenen Implikationen werden im Rahmen des Szenarios offen gelegt.

Erfahrungen mit Prognosen zeigen, dass das langfristige Wachstum des Personen- und Güterverkehrs erheblich unterschätzt wurde. Besonders deutlich sichtbar wird dies an den

Prognosen, seit Anfang der 90er Jahre auch Szenarien des Pkw-Bestandes in der Bundesrepublik Deutschland (siehe Abb. 4.4), ein wenn auch nicht einmaliges, aber dennoch bezeichnendes Beispiel für die permanente, sich von Jahr zu Jahr fortsetzende Unterschätzung der Motorisierung als Ausdruck einer permanent ignorierten Faszination des Automobils. Kill (1991) erkennt in solchen Fehleinschätzungen „fachwissenschaftliche Grenzen der Verkehrsprognostik“ und führt dazu unter anderem an:

– Fahrten mit erheblichem Selbstzweck-Charakter wie vor allem in Freizeit-, Urlaubs- und Einkaufsverkehr lassen sich mit gebräuchlichen Prognosemodellen nicht (ausreichend) erfassen. Gerade im Freizeitverkehr werden derzeit und künftig aber die höchsten Zuwächse verzeichnet bzw. erwartet;
– nicht beachtete Strukturbrüche in anderen Bereichen mit Auswirkungen auf den Verkehr führen zu Fehleinschätzungen;
– die Wirkungen neuer Verkehrssysteme und der damit verknüpfte (induzierte) Neuverkehr sind nur unzureichend abzubilden;
– die Eigendynamik der Stadtentwicklung wird vernachlässigt;
– die Berücksichtigung von Rückkopplungen von Angebotserweiterungen auf die Verkehrsnachfrage stößt an Grenzen.

Die Kritik an den herkömmlichen Ansätzen führt zu einer Theorie über die Erklärung des Entstehens, der Verbreitung und der Durchsetzung neuer Verkehrstechnologien, die die Verkehrsgeschichte aus einem ganzheitlichen Denkansatz schließlich als logische Abfolge von Engpässen, Fluktuationen und Strukturwandel darstellt (Kill, 1991). Auch wenn mit dieser oder anderen Arbeiten (z.B. interdisziplinäres Forschungsprojekt „Lebensraum Stadt“ im Rahmen der Technikfolgenabschätzung mit dem Schwerpunkt Mobilität und Kommunikation (Minx u. Waschke, 1992)) neue Denkansätze sichtbar werden, liegt die empirische Grundlage jeder Prognose in der Gegenwart und der Vergangenheit. Jede Prognose setzt deshalb eine gründliche Analyse der bisherigen Entwicklung hinsichtlich der maßgebenden Einflüsse und Randbedingungen voraus, aus der erst Zukunftsinformationen mit Hilfe von Prognoseverfahren abgeleitet werden.

Da der Verkehrsbereich wie kaum ein anderer in vielfältigen Wechselbeziehungen mit Ausprägungen der menschlichen Gesellschaft steht, sind für die Entwicklung der Verkehrsnachfrage Trends und Rahmenbedingungen einer ganzen Reihe von – im einzelnen voneinander nicht völlig unabhängiger – Einflussfaktoren in ihrem Niveau und in ihrer Struktur maßgeblich, so, um nur einige aufzuführen:

– *die Bevölkerung* (demographische Entwicklung) und ihre Sozialstruktur (vgl. z. B. Birg (2003)): Schrumpfung, Alterung und Internationalisierung beschreiben Megatrends der Bevölkerungsentwicklung in der Bundesrepublik (siehe Abb. 4.5 und 4.6), die sich nicht nur auf das künftige Verkehrsbild auswirken werden. Dem Rückgang der Bildungsbevölkerung (Schüler) und der jungen Familien beispielsweise, die bisher den Suburbanisierungsprozess maßgeblich tragen, mit einer zu erwartenden Abnahme des Verkehrsaufkommens steht eine mögliche Zunahme der „angewöhnten“ Autonutzung starker Anteile einer älteren Bevölkerung gegenüber.
– *die wirtschaftliche Entwicklung* einschließlich der Entwicklung der Produktionsprozesse und neuer Technologien und das verfügbare Einkommen (vgl. z.B. Franz (2002)): Kennzeichnend für die wirtschaftliche Entwicklung ist ein ständiger Umschichtungsprozess mit strukturellen und räumlichen Veränderungen. Die Tertiärisierung der westlichen Industriegesellschaften

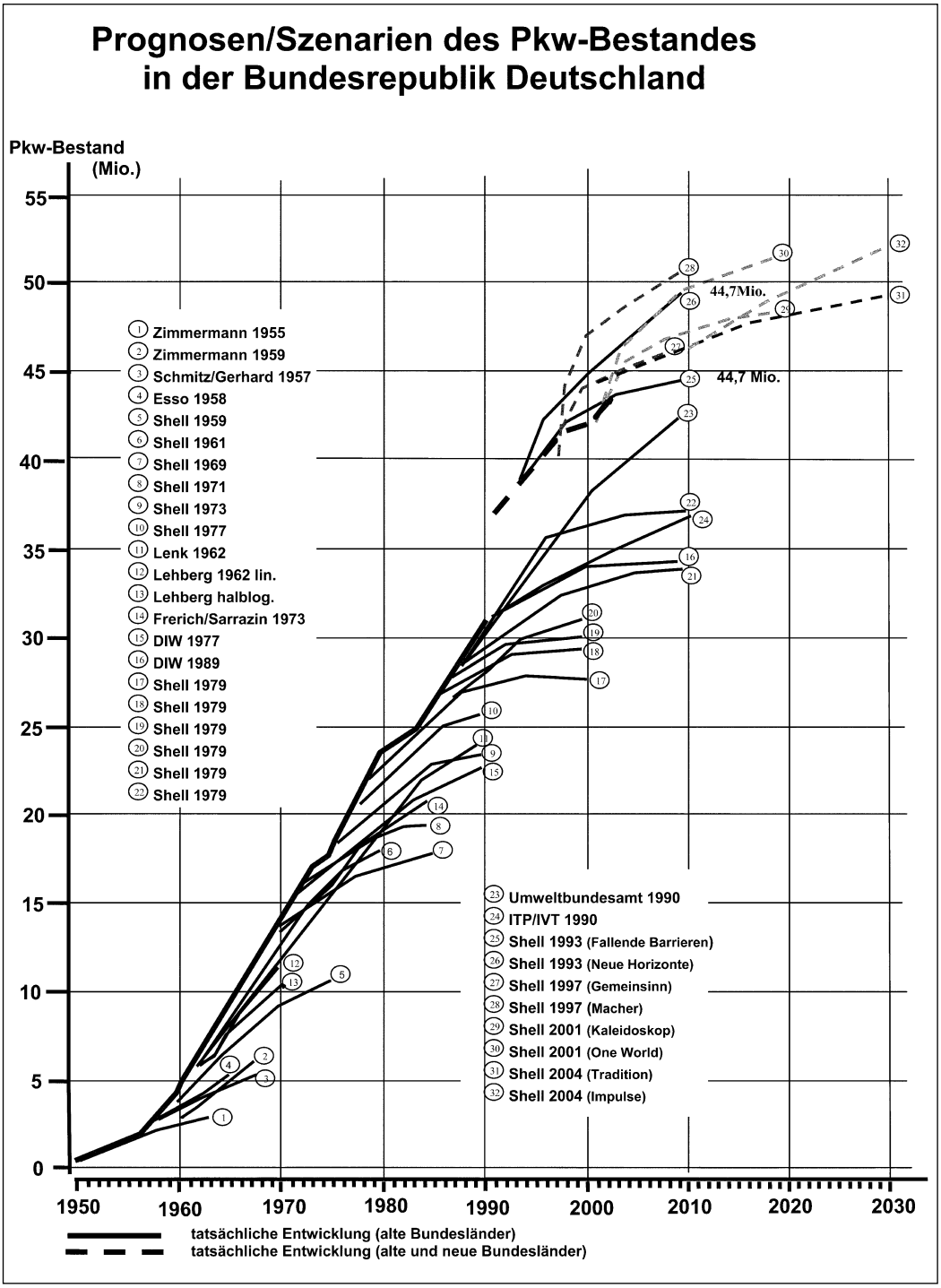


Abb. 4.4 Entwicklung und Prognosen/Szenarien des Pkw-Bestandes in der Bundesrepublik Deutschland. (BMVBW, 2002; Shell Deutschland Oil, 2004 u.a.)

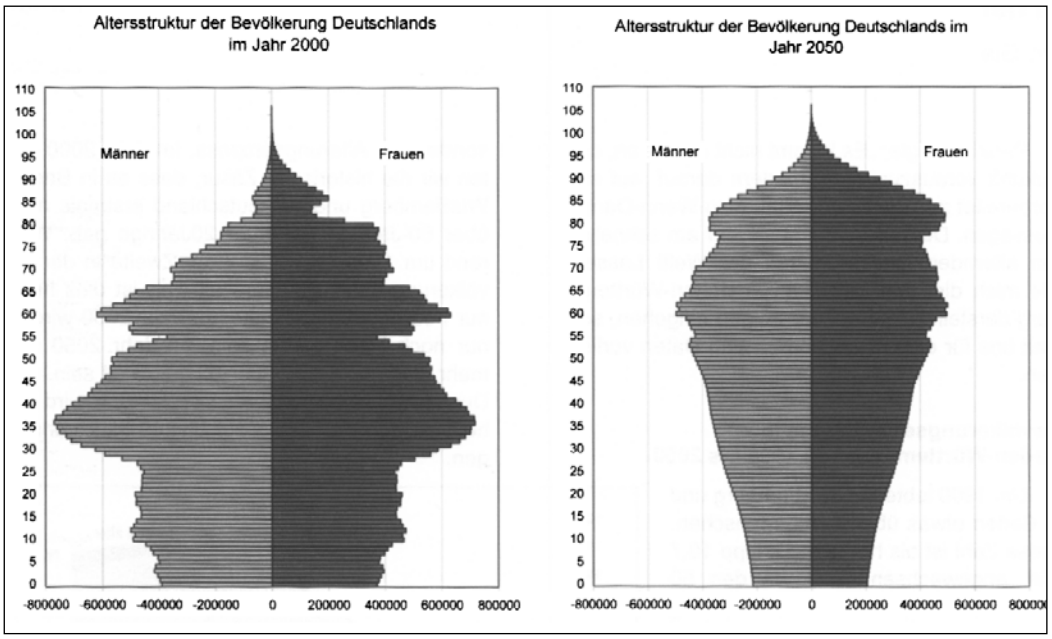


Abb. 4.5 Aufbau der Altersstruktur in Deutschland 2000 und 2050. (Birg u. Flöthmann, 2001)

dauert an. Stärker noch als die sektorale Gliederung der Wirtschaftsbereiche zeigt die funktionale, d.h. auf die Tätigkeit der Beschäftigten bezogene Gliederung, dass in den alten Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland der Übergang zur Dienstleistungsgesellschaft weitgehend vollzogen, wenn auch nicht abgeschlossen ist, wenn man die noch nicht voll ausgeschöpften Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologie in die Betrachtung einbezieht. Kennzeichnend für die wirtschaftliche Entwicklung ist ein ständiger Umschichtungsprozess mit strukturellen und räumlichen Veränderungen. Der Suburbanisierungsprozess von Arbeitsplätzen der Industrie und Betrieben des tertiären Sektors zieht erhebliche Veränderungen sowohl im Geflecht der Verkehrsbeziehungen als auch in der Lagegunst für die verschiedenen Verkehrssysteme nach sich. Beispielhaft erwähnt sei die in vielen Großstädten traditionell vorhandene, in den letzten Jahrzehnten unter hohen Investitionen verbesserte und im Allgemeinen sehr gute Erschließung des Kernbereiches mit öffentlichen Verkehrsmitteln. Dem steht infolge der Suburbanisierung von Wohn- und Arbeitsplätzen ein kontinuierlicher, erheblicher Zuwachs von nicht auf die Kernstadt gerichteten, häufig tangential zu ihr verlaufenden Verkehrsströmen gegenüber, die im öffentlichen Verkehr selten ein attraktives Angebot vorfinden.

Mit der Einführung verkehrsrelevanter Telekommunikationsanwendungen verbanden sich Hoffnungen auf neue Chancen zur Verkehrsreduktion ebenso wie Befürchtungen hinsichtlich des Verstärkens bestehender Entwicklungen, in diesem Fall einer zusätzlichen Zunahme physischen Verkehrs durch Telekommunikation. Für einzelne Anwendungsfelder der Telekommunikation wie Telearbeit oder Online-Banking ist ein Substitutionseffekt zwischen physischer und virtueller Mobilität nachweisbar (vgl. z.B.

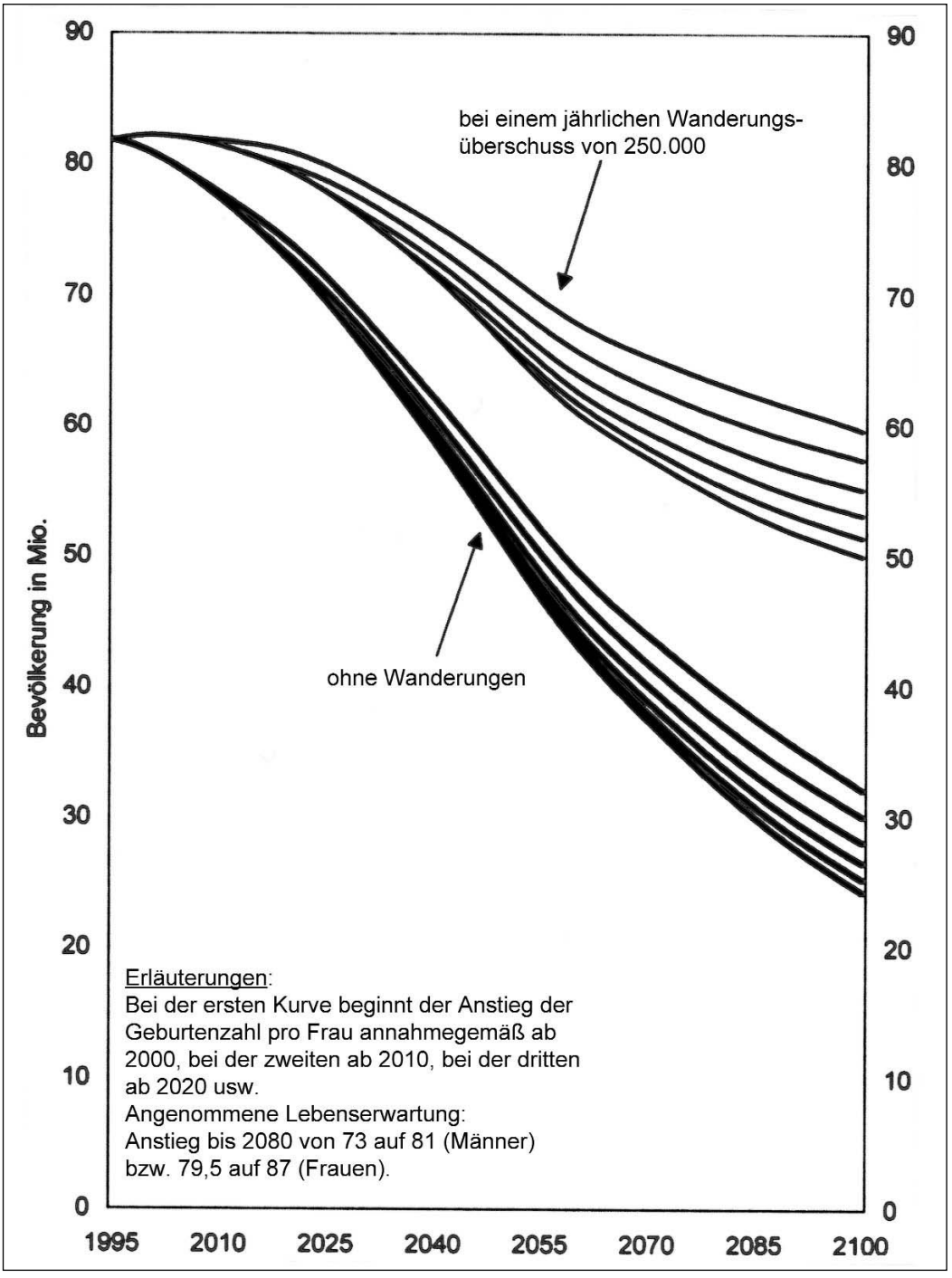


Abb. 4.6 Bevölkerungsentwicklung Deutschlands im 21. Jahrhundert ohne bzw. mit Wanderungen – für einen angenommenen Anstieg der Geburtenzahl pro Frau von 1,25 auf 1,50 innerhalb von 15 Jahren. (Birg, 2001)

Glaser u. Vogt (2002), Vogt (2002); Zoche et al. (2002)), der seinem Umfang nach jedoch deutlich hinter den in der ersten Euphoriephase geäußerten Erwartungen zurückbleibt. Die Wirkungen der Zunahme hochwertiger Telekommunikationsdienstleistungen unter ggf. geänderten Rahmenbedingungen, z.B. einem deutlich teureren physischen Verkehr, bleibt eine Frage, für die eine Antwort aussteht.

Als mögliches Korrektiv der individuellen Mobilität, vor allem im Bereich der Freizeit- und Erlebnismobilität, deren Häufigkeit als Folge hoher gesellschaftlicher Wertschätzung bei zunehmenden Aktionsräumen wächst, mag sich auf längere Sicht das für Konsum und Mobilität verfügbare Einkommen erweisen, das auf Grund der wachsenden Abgaben für die Sozialversicherungssysteme infolge der demographischen Verwerfungen individuell neu zu bewerten sein wird.

– *die Siedlungsstruktur, die Raumordnung und Flächennutzung* (vgl. z.B. Herfert u. Schulz (2002), Strubelt (2002)): West-Drift der Bevölkerung, dezentrale Konzentration und weitere Suburbanisierung (siehe z.B. Abb. 4.7), auf lange Sicht großräumige Konzentrationsprozesse mit einem Sog der wirtschaftsstarken Agglomerationen auf die Regionen geringerer Dichte, der die bisherigen Wanderungsverflechtungsmuster umdrehen könnte, sind einige der sich abzeichnenden Entwicklungen, die ein regionales Nebeneinander von Siedlungsdruck und Entvölkerung erwarten lassen. Entvölkerung schwächt tendenziell z.B. die Nahversorgung und die Position des ÖV und führt auf diese Weise zu einem höheren MIV-Aufwand pro Kopf, allerdings eines kleine-

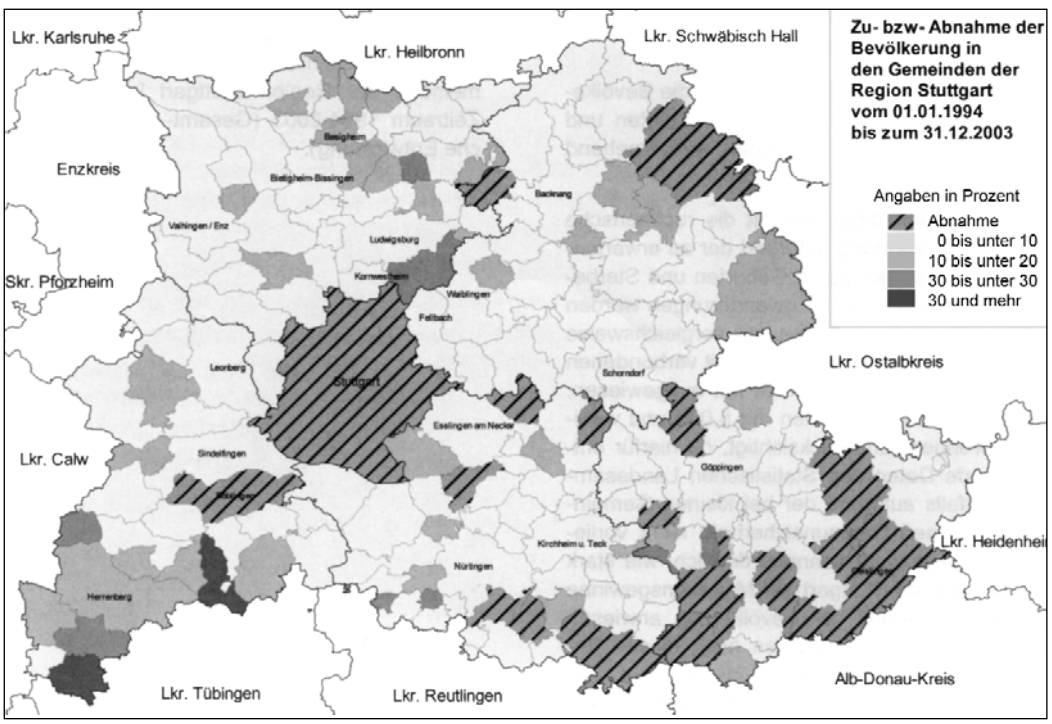


Abb. 4.7 Gesamtbevölkerungsentwicklung in den Gemeinden in der Region Stuttgart 1994-2003. (Fuchs, 2004)

ren Bevölkerungsteiles als zuvor. Der Erwerb von Immobilien zur Alterssicherung kann zu einer höheren Nachfrage nach Ein- und Zweifamilienhäusern und einer weiteren Verlagerung der Wohnstandorte in den suburbanen Raum führen. Dispersion, Dekonzentration und abnehmende Siedlungs- und Versorgungsdichten bewirken eine weitere Zunahme des Verkehrsaufwandes (vgl. Würdemann, 2004).

– *die Motorisierung und Pkw-Verfügbarkeit* (vgl. z. B. Shell (2004), ADAC (2003), Dudenhöfer (2004): Ende des Jahres 2003 beträgt der Motorisierungsgrad in der Bundesrepublik 544 Pkw pro 1000 Einwohner, auf die fahrfähige, erwachsene Bevölkerung bezogen sind es sogar ca. 650 Pkw pro 1000 Einwohner. Die höchsten Motorisierungsraten sind im Umland der Kernstädte und in peripheren ländlichen Gebieten anzutreffen, während sie in den Kernstädten selbst um ca. 20 Prozent geringer sind. Die steigende Motorisierung fokussiert die Verkehrsmittelwahl immer weiterer Bevölkerungskreise auf den Pkw. Szenarien unterstellen in der nächsten Dekade noch ein weiteres, wenngleich moderateres Wachstum (laut Shell (2004) bis zum Jahr 2020 in einer Bandbreite zwischen 670 und 740 Pkw pro 1000 Erwachsene) und begründen dies mit noch steigendem individuellen Mobilitätsbedarf und innovativen Fahrzeugkonzepten, z.B. Smart, Mini, Geländewagen, Vans, Pickups der Automobilhersteller, bevor mittel- bis langfristig die demografischen Effekte der Schrumpfung zur Geltung kommen und einen rückläufigen Automobilmarkt in Deutschland verursachen. Der Trend zum Zweit- und Drittwagen geht mit gedämpfter Intensität weiter und bildet bei zunehmender Pkw-Gesamtfahrleistung weiterhin einen wesentlichen Grund für die abnehmende mittlere Jahresfahrleistung von Pkw (Abb. 4.8)

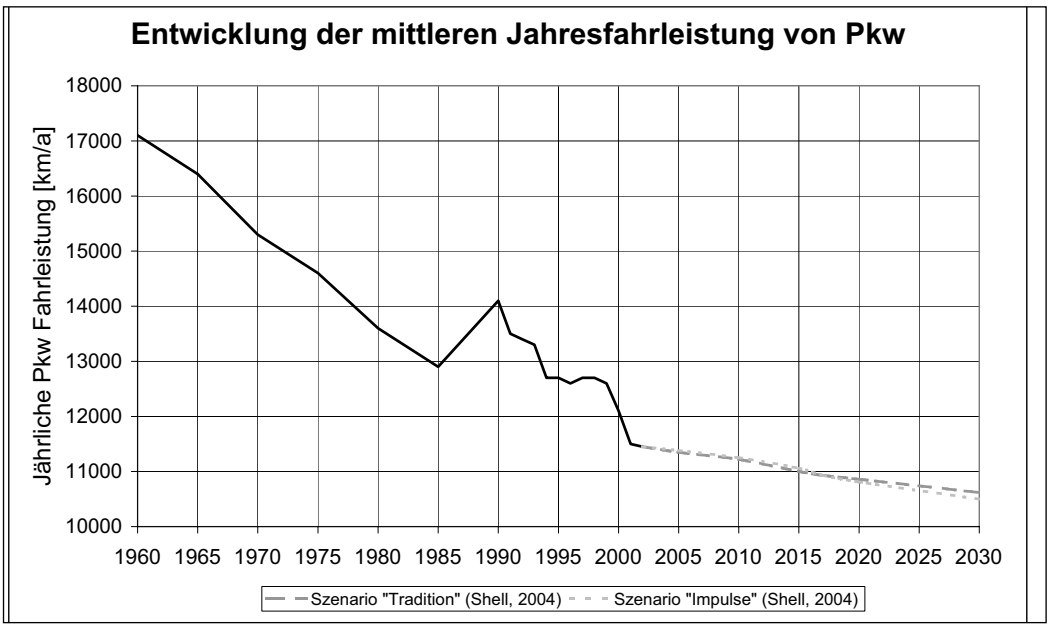


Abb. 4.8 Entwicklung der mittleren Jahresfahrleistung von Pkw in Deutschland. (Nach BMVBW, 2002 und Shell, 2004)

– *die Zeitstrukturen und Zeitbudgets* (vgl. z.B. Eberling u. Henckel, 2002): Die Flexibilisierung von Arbeitszeiten und Ladenöffnungszeiten, neue Arbeitsformen, wirtschaftlicher Strukturwandel, Wertewandel sowie internationale Vernetzung sind vor allem in Großstädten wesentliche Ursachen der Ausdehnung von Aktivitätszeiten (siehe Abb. 4.9). Die Wirkungen auf den Verkehr lassen sich an veränderten Tagesganglinien wichtiger Stadtstraßen ablesen: Die Täler zwischen den früher deutlich hervortretenden werktäglichen Verkehrsspitzen morgens und spätnachmittags werden zunehmend abgelöst durch abgeflachte Verkehrsspitzen und „aufgefüllte Täler" im übrigen Tagesbereich (siehe Abb. 4.10).
– *die Energiepreise* (vgl. z.B. Campbell et al., 2002; ADAC, 2003): Die auch bis 2020 und darüber hinaus überwiegend erwartete, weitere Abhängigkeit des Automobils vom Erdöl als dominierender Energiequelle macht aus mehreren Gründen eine Verteuerung des Benzinpreises nachvollziehbar,

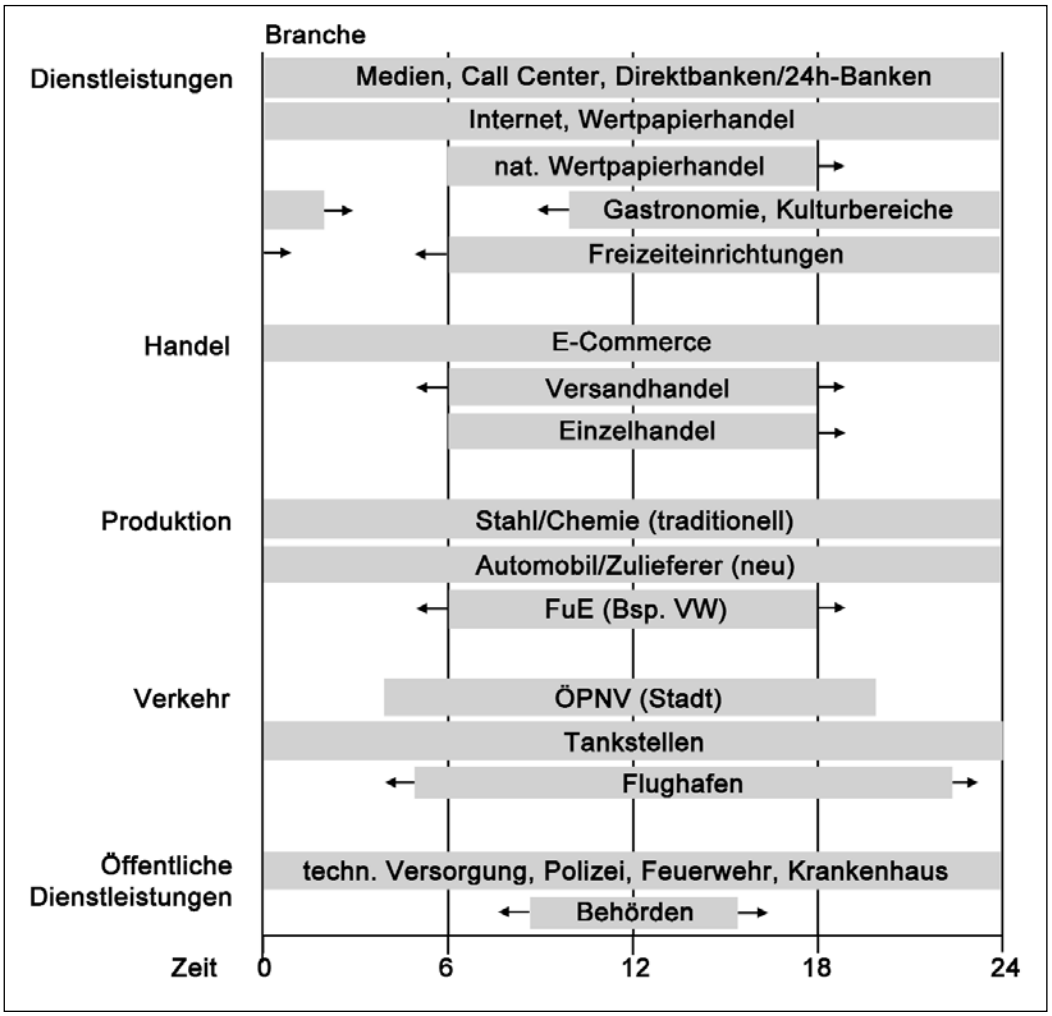


Abb. 4.9 Zeitliche Ausdehnung von Aktivitäten. (Nach Eberling u. Henckel, 2002)

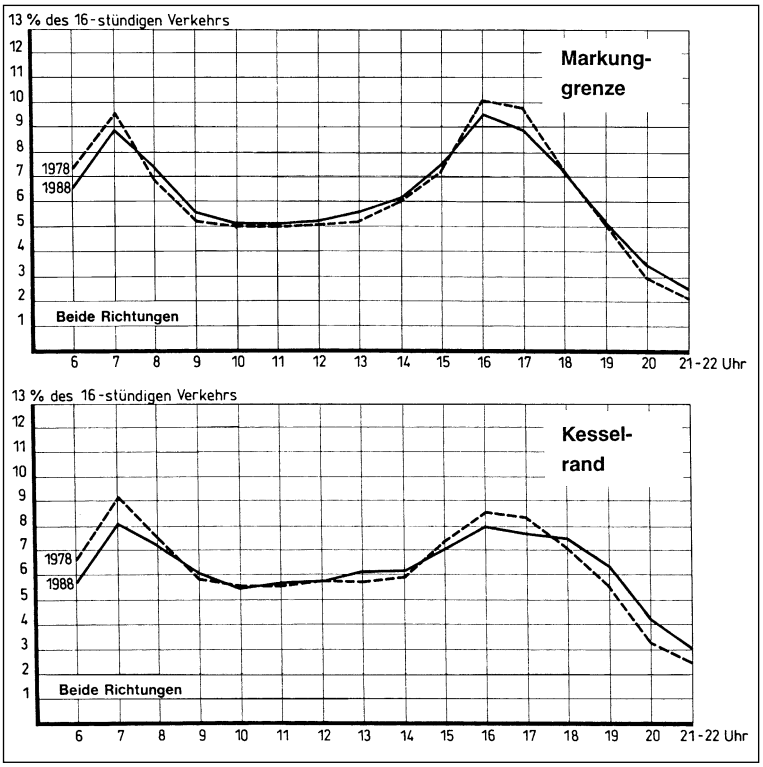


Abb. 4.10 Die Ausdehnung der Aktivitätszeiten und Leistungsfähigkeitsengpässe bewirken Veränderungen der Tagesganglinien (Beispiele Stuttgart). (Stadtplanungsamt Stuttgart, 1990)

wenngleich die wachsende Verbreitung sparsamer Motoren tendenziell verbrauchsreduzierend wirkt. Der „Kampf" um die langfristig zur Neige gehenden Ölreserven ist trotz einer Erschließung (begrenzter) neuer Lagerstätten angesichts der herrschenden hohen Nachfrage und einer politisch instabilen Situation in Hauptförderstaaten absehbar. Alternative Kraftstoffe wie Methanol und Biodiesel können mittelfristig zwar Marktnischen besetzen; mit nennenswerten Marktanteilen der Wasserstofftechnologie wird erst längerfristig zu rechnen sein. Steigerungen des Ölpreises zeichnen sich für die Zukunft ab, auch wenn über Reichweite, Möglichkeiten künftiger Fördertechniken usw. durchaus heterogene Einschätzungen vorliegen.

Zahlreiche, hier im Einzelnen nicht näher ausgeführte weitere Einflussfaktoren wie

– *das Verkehrsangebot und seine Qualität* (Kapazitätsbeschränkungen, Neu- und Ausbau, (intermodales) Bedienungsangebot, Mobilitätsdienstleistungen)
– *die Verkehrspolitik, die Gesetzgebung und ordnungspolitische Rahmenbedingungen* (gesellschaftliche Wertvorstellungen und ihr Wandel, Bedeutung der Umweltfaktoren)
– *das Nutzerverhalten* (Lebensstile und -formen, Einstellungen zur Mobilität und Verkehrsmittelwahl, Kosten der Verkehrsmittelnutzung und des Reisens usw.)

sind bei der Gestaltung von Szenarien zu berücksichtigen. „Globaler Rahmen für Energie – Stadt, Zwischenstadt, Suburbia – individuelle und postmaterielle Lebensstile – Auto nutzen statt besitzen – virtuelle Mobilität – intermodales Verkehrssystem – Rolle der Eisenbahn – weniger ÖPNV oder besserer ÖPNV – privatisierte Straßennetze und Straßengebühren – Tempolimits und Verkehrssicherheit" sind

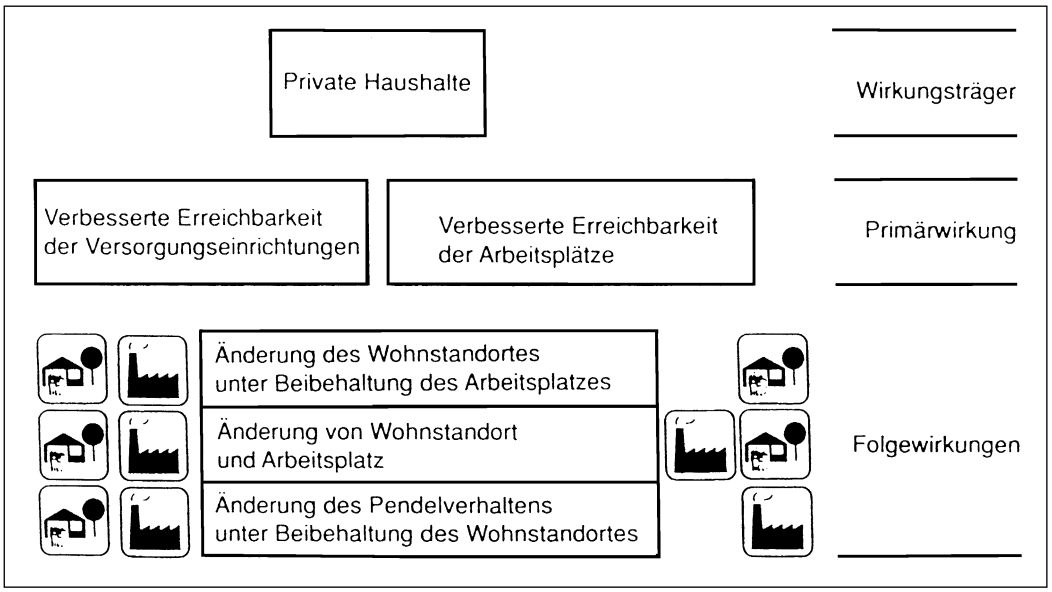


Abb. 4.11 Primäre und mögliche Folgewirkungen von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen für private Haushalte. (Steierwald u. Schönharting, 1991)

Bausteine, mit denen Topp (2003) in einem Optimist- und einem Pessimist-Szenario das Mosaik einer Vision des Verkehrs im Jahr 2030 zusammensetzt (vgl. auch Topp, 2004). Mit zwei Szenarien „Aktion" und „Reaktion" versucht das Institut für Mobilitätsforschung unter Berücksichtigung der oben genannten Einflussfaktoren oder „Umfelder der Mobilität" einen Blick in die „Zukunft der Mobilität im Jahr 2020" (Hell, 2003).

Da bei Zukunftsbetrachtungen in der Regel auch Maßnahmen vorgeschlagen werden, die bisher nicht praktiziert wurden wie Road Pricing in Stadtregionen, ist die empirische Grundlage für die Ermittlung zukünftiger Verhaltensweisen unvollständig. Die mannigfaltigen Reaktionsweisen des Einzelnen auf derartige Maßnahmen lassen sich daher nur begrenzt abbilden (Beispiel vgl. Abb. 4.11); Modellvorstellungen und Simulationen können nur Eckwerte liefern. Unabhängig davon, dass nicht alle Faktoren in ihren Wirkungen gleichermaßen quantifiziert oder in ihrer Entwicklung vorausgeschätzt werden können und deshalb im Voraus eine Reihe von Annahmen und Rahmenbedingungen festzulegen ist, bleibt die Notwendigkeit, die strukturellen Rahmenbedingungen und ihre Auswirkungen auf die Siedlungs- und Nutzungsstruktur sowie die Zusammenhänge zwischen diesen Strukturen und dem Verkehr anhand der bisherigen Entwicklung zu betrachten.

Dass diese Trends und Rahmenbedingungen in den einzelnen Städten und Verdichtungsräumen zu unterschiedlichen Entwicklungsverläufen und Problemlagen führen, lässt sich bereits aus der historischen Dimension heraus erklären und manifestiert sich in der Bundesrepublik etwa im Schlagwort vom Ost-West- und Nord-Süd-Gefälle. Wohlstand und wirtschaftlicher Abschwung einer Stadt sind unter der Einwirkung allgemeiner struktureller Trends häufig in erster Linie eine Folge der regional unterschiedlichen Ausgangssituation. Als Ergebnis derartiger Entwicklungsprozesse in den letzten Jahrzehnten haben sich die Disparitäten zwischen den Verdichtungsräumen der Bundesrepublik eher verschärft.

Literatur

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC) (2003): Mobilität im Jahr 2020. München

Amt für technische Anlagen und Lufthygiene der Baudirektion des Kantons Zürich (1992): Luft-Programm für den Kanton Zürich. Zürich

Birg, H. (2001): Die demographische Zeitenwende. München

Birg, H. (2003): Dynamik der demographischen Schrumpfung und Alterung in Europa; Gestaltungskonsequenzen für Deutschland. In: Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V. (Hrsg.): 2030 – Mehr Mobilität bei weniger Bevölkerung? Schriftenreihe B, Heft B263, S.34-95. Berlin

Birg, H.; Flöthmann, E.-J. (2001): Demographische Projektionsberechnungen für die Rentenreform 2000. IBS-Materialien Bd. 47, Bielefeld

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.) (2002): Verkehr in Zahlen 2002/2003. Hamburg

Bundesregierung (2000): Nationales Klimaschutzprogramm. Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000, Berlin, S.41ff.

California Clean Air Act (1988): AB 2595, Sher. (Chapter 1968, Statutes of 1988). Sacramento, California: State of California

Campbell, C. J.; Liesenborghs, F.; Schindler, J.; Zittel, W. (2002): Ölwechsel. Das Ende des Erdölzeitalters und die Weichenstellung für die Zukunft. dtv-premium Nr. 24321, München

Dudenhöfer, F. (2004): Die Langfrist-Entwicklung des Automobilmarkts in Deutschland. In: Internationales Verkehrswesen 56, Heft 4, S.134-137

Eberling, M. u. Henckel, D. (2002): Alles zu jeder Zeit? Die Städte auf dem Weg zur kontinuierlichen Aktivität. Difu-Beiträge zur Stadtforschung, Berlin

Fildes, R.; Wood, D. (Hrsg.) (1983): Forecasting and Planning. Aldershot

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln (Hrsg.):
– FGSV (2001): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)

Franz, P. (2002): Suburbanisierung von Industrie und Dienstleistungen. In: Institut für Länderkunde, Leipzig u. Hahn, B. (Hrsg.) (2002): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Band 5, Dörfer und Städte, S.128-129. Heidelberg, Berlin

Fuchs, M. (2004): Demografischer Umbruch in der Region Stuttgart. In: Verband Region Stuttgart (Hrsg.) Herausforderungen des demografischen Wandels in der Region Stuttgart, S.1-10

Glaser, W.; Vogt, W. (2002): Auswirkungen der Telearbeit auf das Verkehrsverhalten. In: Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) (Hrsg.): Auswirkungen der virtuellen Mobilität, Berlin

Hell, W. (2003): Zukunft der Mobilität: Szenarien für das Jahr 2020. Institut für Mobilitätsforschung (ifmo), Berlin (Bericht unter: institut@ifmo.de)

Herfert, G.; Schulz, M. (2002): Wohnsuburbanisierung in Verdichtungsräumen. In: Institut für Länderkunde, Leipzig u. Hahn, B. (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Band 5, Dörfer und Städte, S.124-127. Heidelberg Berlin

Hopf; R.; Kloas, J.; Kuhfeld, H.; Rieke, H.; Schrader, B. (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)) (1990): Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr und ihre Beeinflussung durch verkehrspolitische Maßnahmen, Trend-Szenario und Reduktions-Szenario. In: Energie und Klima (Herausgegeben von der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages), Band 7: Konzeptionelle Fortentwicklung des Verkehrsbereichs. Economica Verlag, Verlag C.F.Müller, Karlsruhe

Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung (ILS) des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.):
– ILS (1991): Kommunale Verkehrsentwicklungsplanung. Bausteine für die Planungspraxis in Nordrhein-Westfalen, Heft 11, Dortmund
– ILS (1989): Szenarien in der Stadtentwicklung. ILS-Taschenbuch, Dortmund

Kill, H. H: (1991): Erfolgsstrategien von Verkehrssystemen. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswegeplanung und Verkehrswegebau der TU Berlin, Berlin

Krauch, C.H. (1990): Prognosen als Orientierungshilfe für naturwissenschaftliche und technische Entscheidungen – aus wirtschaftlich- technischer Sicht. In: DVT-Schriften Nr.24

Leutzbach, W. u.a. (1990): Verkehrsentwicklungsplan Pforzheim. Pforzheim

Leutzbach, W. (2000): Das Problem mit der Zukunft. Wie sicher sind Voraussagen? Düsseldorf

Mertens, P. (Hrsg.) (1981): Prognoserechnung. Würzburg/Wien

Minx, E. u. Waschke, Th. (1992): Werkstattbericht

zum probleminduzierten TA-Projekt „Lebensraum Stadt“. Unterlagen zur Ringvorlesung Technikfolgenabschätzung (TA), Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

Rothengatter, W. (1991): Auswirkungen eines Wertewandels in Verkehrsszenarien. In: Maßnahmenbewertung in der Verkehrsplanung. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

Shell Deutschland Oil (2004): Flexibilität bestimmt Motorisierung. Shell Pkw-Szenarien bis 2030. Hamburg

Stadtplanungsamt Stuttgart (1990): Zählungen des Kfz-Verkehrs 1978-1988 in der Landeshauptstadt Stuttgart. Stuttgart

Steierwald, G. u. Schönharting, J. (1991): Systematisierung der Bewertungsmethoden und Wirkungsanalysen aus Sicht der Praxis. In: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Maßnahmenbewertung in der Verkehrsplanung. Köln

Steierwald, G.; Schönharting, J.; Heimerl, G.; Kaule, G.; Rothengatter, W.; Köhl, W. u.a. (1993): Ansätze für ein Integriertes Verkehrskonzept für den Verkehrsraum Stuttgart. Im Auftrag des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart

Steinmüller, K. (1997): Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung. Werkstattbericht 21, Gelsenkirchen.

Strubelt, W. (2002): Räumliche Entwicklungen in Deutschland und Europa, welche Trends zeichnen sich ab? In: Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft (DVWG), Reihe B, Heft B254, S.28/71. Bergisch Gladbach

Topp, H. H. (2003): Verkehr im Jahr 2030; Mosaik einer Vision. In: Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V. (Hrsg.): 2030 – Mehr Mobilität bei weniger Bevölkerung? Schriftenreiehe B, Heft B263, S. 23-33, Berlin

Topp, H. H. (2004): Bevölkerung, Innenentwicklung, Kosten und Mobilität und Verkehr im Jahr 2030. In: Straßenverkehrstechnik 48, Heft 2, S. 53-59

Vogt, W. (2002): Verkehrsmittelalternativen. In: PlanerIn 2, Heft 4, S.8-11.

Wagner, G.; Schwarzenauer, S. (2002): Nachhaltige Energienutzung und Klimaschutz. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1+2, S.59/66

Würdemann, G. (2004): http://www.bbr.bund.de /raumordnung/verkehr_energie/mobilitaet.htm, aufgerufen am 3010.2004

Zoche, P.; Kimpeler, S.; Joepgen, M. (2002): Virtuelle Mobilität: Ein Phänomen mit physischen Konsequenzen? Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) (Hrsg.), Berlin

5 Modellvorstellungen zur Prognose

5.1 Aufgabe von Verkehrsnachfragemodellen

5.1.1 Verkehrsprognosen als Hilfsmittel der Verkehrsplanung

Unter einer Verkehrsprognose wird – ähnlich wie bei einer Wetterprognose – häufig nur die zeitliche Vorausberechnung des Verkehrsumfangs als eines unbeeinflussbaren Phänomens verstanden. Der Verkehr mit seinem Volumen und seiner Struktur hängt jedoch ab von

- der Zahl und der Struktur der Bevölkerung (z.B. Altersaufbau),
- der Raum- und Siedlungsstruktur (d.h. Verteilung der Wohnungen, der Arbeits-, Ausbildungs-, Freizeiteinrichtungen usw.),
- dem Verkehrsangebot (d.h. Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsmittel mit ihren betrieblichen Eigenschaften) sowie
- den verkehrsrelevanten Verhaltensweisen der Bevölkerung.

Daraus wird deutlich, dass die Entwicklung des Verkehrs zum Teil tatsächlich von einigen weitgehend unbeeinflussbaren Faktoren, wie der natürlichen Bevölkerungsentwicklung oder der wirtschaftlichen Entwicklung, geprägt wird. Zum großen Teil ist die Verkehrsnachfrage jedoch durch planerische und politische Maßnahmen beeinflussbar, dabei besonders durch

- die Gestaltung des Verkehrsangebotes im Rahmen der *Verkehrsplanung* (Planung der Verkehrswege, der Verkehrsmittel und der betrieblichen Abläufe),
- die Gestaltung des Angebotes an Einrichtungen im Rahmen der *Bauleitplanung* (Flächennutzungsplanung, Bebauungsplanung) sowie
- ordnungs- und finanzpolitische, preisliche und informatorische Maßnahmen.

Die Gestaltung des Verkehrsangebots, das Management des Verkehrsablaufes und die Abschätzung verkehrlicher Wirkungen auf Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt werden dabei häufig als die einzige Aufgabe der Verkehrsplanung angesehen. Dabei wird jedoch übersehen, dass die Planung der Siedlungsstruktur beispielsweise durch die Flächennutzungsplanung die Grundlagen für die später daraus resultierende Verkehrsnachfrage schafft und deshalb integriert mit der Planung der Verkehrsinfrastruktur erfolgen sollte. Gerade das Aufzeigen der verkehrlichen Wirkungen einer Planung mit Hilfe von Verkehrsprognosen kann wertvolle Hinweise für die Bauleitplanung liefern.

5.1.2 Aufgabenwandel von Verkehrsprognosen

Verkehrsprognosen können in Sonderfällen, z.B. bei Fragestellungen über die weitere voraussichtliche Entwicklung unter Status-quo-Bedingungen, den Charakter von Prophezeiungen einer als unbeeinflussbar angesehenen Entwicklung annehmen. Diese Sichtweise war in den ersten Jahrzehnten des Wiederaufbaues nach dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland Grundverständnis der Verkehrsplanung, die im Wesentlichen auf das sich abzeichnende Verkehrswachstum des Autoverkehrs ausgerichtet war. Die Prognoseverfahren waren zunächst einfache *Trendrechnungen* der beobachteten Zunahme der Straßenbelastungen, deren Größe mit Hilfe von „Wachstumsfaktoren“ in die Zukunft extrapoliert wurde.

In den sechziger Jahren begann man nach

dem Vorbild der großen amerikanischen Transportation Studies den zunehmenden Autoverkehr im Rahmen von *Generalverkehrsplänen* mit Hilfe mathematisch-statistischer Modelle zu beschreiben. Diese Modelle beruhten auf empirisch-statistischen Analysen der Verkehrsströme zwischen Raumeinheiten (Verkehrszellen) und waren trotz der Einbeziehung physikalischer Gesetzmäßigkeiten in bloßen Analogien keineswegs „kausalitäts-erklärend", sondern als Makromodelle auf die mathematisch-statistische Abschätzung der Verkehrsströme ausgerichtet.

Seit Beginn der siebziger Jahre, in denen vor allem in den Ballungsräumen die Grenzen und Probleme eines einseitigen Wachstums des Autoverkehrs erkennbar wurden, werden Verkehrsprognosen im Allgemeinen im Rahmen von „Planspielen" eingesetzt, die jeweils unter Vorgabe bestimmter Planungsmaßnahmen *bedingte Aussagen* (Wenn-dann-Aussagen) über die daraus voraussichtlich resultierenden Wirkungen liefern. Somit ermöglichen sie die Beurteilung der unterschiedlichen Wirksamkeit verschiedener planerischer Entscheidungen und Maßnahmen im Bereich des Verkehrsangebots und der Siedlungsstruktur (Flächennutzung).

In den siebziger und achtziger Jahren wurde dieses Instrumentarium zunächst im Rahmen von *integrierten Gesamtverkehrsplänen (Verkehrentwicklungsplänen)* genutzt, deren Ziel ein ausgewogenes Infrastrukturangebot für alle Verkehrsmittel einschließlich von Fuß- und Radwegen war. Spätestens seit den neunziger Jahren ist Beeinflussung des Verkehrsverhaltens der Bevölkerung mit dem Ziel der Vermeidung von Motorisiertem Individualverkehr (MIV) – durch eine verkehrssparende Siedlungsstruktur, durch Verlagerung auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel sowie durch effektive Lenkung des notwendigen MIV – erklärtes Ziel in der Verkehrsplanung. Dazu werden auch Informations- und Marketingmaßnahmen zur Beeinflussung und Veränderung des Verkehrsverhaltens eingesetzt.

Während dabei die unbeeinflussbaren zukünftigen Situationsbedingungen (z.B. die natürliche Bevölkerungsentwicklung) durch zielfreie Prognosen ihrer Entwicklung abgeschätzt werden müssen, wozu oft sogar Trendprognosen ausreichen, können die durch Planung gemäß bestimmter Zielvorstellungen frei wählbaren Maßnahmen (z.B. die Einrichtung einer öffentlichen Verkehrsverbindung oder die Steuerung der räumlichen Bevölkerungsverteilung durch Ausweisung von Baugebieten) als Input in den *Simulationsprozess* zur Bestimmung der daraus entstehenden Verkehrsnachfrage eingeführt werden.

Für diese ungleich komplexere Aufgabe der Beurteilung jeweils vorgegebener Maßnahmen reichen natürlich Trendprognosen des Verkehrsaufkommens oder empirisch-statistische Modelle von Verkehrsströmen als Lösungsinstrumente nicht aus; sie erfordert vielmehr Verfahren, die in der Lage sind, die Verkehrsnachfrage der einzelnen Person und deren Entscheidungsverhalten in Abhängigkeit ihrer Rolle in der Gesellschaft möglichst realitätsgetreu darzustellen.

5.1.3 Verkehrsnachfragemodelle als Entscheidungsmodelle von Individuen

Da Verkehr als „Mengenproblem" das Ergebnis einer Summe von *Einzelentscheidungen* von Personen darstellt und die Wirkungen von Maßnahmen aus der Summe der verschiedenen Reaktionen von Individuen resultieren, ist es das Ziel der modernen Verkehrsforschung, das Verkehrsverhalten und die Reaktionen der einzelnen Person durch *individuelle Verkehrsnachfragemodelle* abzubilden. Da jedoch das individuelle Verhalten von einer Vielzahl von Einflussfaktoren geprägt wird, die sich zum

großen Teil einer expliziten Wirkungsbeschreibung mittels mathematischer Modelle entziehen, kann auch die Entscheidung des Individuums nur mit Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden. Die dafür geeigneten Modelle sind im Charakter mikroskopisch, die Berechnungsverfahren probabilistisch. Der Verkehrsteilnehmer wird dabei als „Nutzer" oder „Kunde" gesehen, der zwischen verschiedenen Angebotsalternativen die für ihn ökonomischste auswählt. Diese Modelle sind somit mikro-ökonometrische Modelle. Da die wahrscheinlichkeitstheoretische Berechnung des gesamten Entscheidungsablaufes im individuellen Verhaltensprozess sehr komplex ist, wird im Allgemeinen zu *stochastischen Simulationsverfahren* gegriffen.

In der Aggregation über eine Population oder eine Personengruppe ergibt sich daraus wiederum eine makroskopische Verkehrsgröße (z.B. die Tagesbelastung einer Straße) als stochastische Größe (Zufallsgröße), die einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung unterliegt. Der Mittelwert (Erwartungswert) dieser Zufallsgröße stellt den mit größter Wahrscheinlichkeit zu erwartenden Zahlenwert dar. Trotzdem bleibt bei diesen Modellen der Erklärungswert beim Verhalten des Individuums verankert, auch wenn gelegentlich vereinfacht nur mit Mittelwerten gerechnet werden kann.

Da im Laufe der Zeit die *Auslastung* vor allem des Straßenverkehrsnetzes ein Ausmaß annahm, das in seiner Rückwirkung auf das Verhalten des Einzelnen nicht mehr unberücksichtigt bleiben kann, wird zudem versucht, diese *Rückkoppelungswirkung* in den Modellen zu berücksichtigen. Ganz offensichtlich spielt der Einfluss der Aus- oder Überlastung stark befahrener Straßen eine entscheidende Rolle für die Routenwahl bei einer Autofahrt von einer bestimmten Quelle zu einem bestimmten Ziel und kann durch belastungsabhängige Routenwahlwahlmodelle auch berücksichtigt werden. Es besteht jedoch die grundsätzliche Frage, ob diese Auslastungseffekte (Kongestionseffekte) des Netzes auch auf die anderen Entscheidungen im Verhaltensprozess, also auf die Frage der Verkehrsmittelwahl, der Zielwahl oder Wahl des Zeitpunktes der Fahrt, in gleicher Weise wirken. Solche *Gleichgewichtsmodelle* versuchen ein „Gleichgewicht" zwischen der wunschgesteuerten Nachfrage- und der mit Restriktionen infolge Auslastung der Netze belegten Angebotsseite herzustellen.

Verkehrsnachfragemodelle weisen als mathematische Modelle den höchsten Abstraktionsgrad hinsichtlich der Abbildung eines Objekts auf. Sie sollten folgende Bedingungen erfüllen:

- *Adäquatheit und Maßnahmenempfindlichkeit:*
  Das Modell muss dem abzubildenden Verkehrsnachfrageprozess hinreichend genau entsprechen und maßnahmenempfindlich sein, d.h. es muss die Wirkungen der zu untersuchenden Maßnahmen unter den gegebenen oder zu erwartenden unbeeinflussbaren Situationsbedingungen möglichst zuverlässig abbilden. Deshalb können verschiedene Fragestellungen im Sinne von zu beurteilenden Maßnahmen durchaus zu unterschiedlichen Modellen führen.
- *Logische Konsistenz:*
  Jedes Modell muss hinsichtlich seiner Struktur logisch konsistent sein, d.h. der Modellaufbau darf keine inneren Widersprüche aufweisen.
- *Operationalität:*
  Das Modell muss operabel sein, d.h. die praktische Umsetzung mit vertretbarem Aufwand gewährleisten.
- *Transparenz:*
  Die Modellstruktur muss transparent und die Ergebnisse müssen jederzeit nachvollziehbar und kontrollierbar sein.

5.2 Verkehrsnachfrageprozess

5.2.1 Individuelles Verkehrsverhalten

Personenverkehr ist die Menge von individuellen Ortsveränderungen, die jeweils das Ergebnis eines Prozesses sind, dessen Ursprung in den *Bedürfnissen* der betreffenden Person liegt (Abb. 5.1). Wenngleich in verschiedenen Theorien unterschiedliche Definitionen dieses Begriffes vorzufinden sind, so besteht Einigkeit darin, dass Bedürfnisse die innere Triebfeder des Menschen für sein Verhalten sind. Bedürfnisse werden von endogenen („inneres Milieu“) und exogenen Faktoren („Umwelt“) geprägt. Bedürfnisse können bewusst oder latent vorhanden sein und sind deshalb direkt, beispielsweise durch Befragen der Person, im Allgemeinen nicht erfassbar.

Konkretes Verhalten eines Menschen wird jedoch nicht nur von Bedürfnissen ausgelöst und beeinflusst, sondern auch von den Gegebenheiten seiner sozialen und natürlichen Umwelt. So üben diese Impulse aus, die aus zum Teil latenten Bedürfnissen einen bewusst empfundenen *Bedarf an Aktivitäten* erzeugen, die möglicherweise an verschiedenen Orten zu ganz bestimmten Zeiten durchzuführen sind. Solche *Bedarfsimpulse* können beispielsweise aus sozialen Normen und Werthaltungen (z.B. Teilnahme an Freizeitaktivitäten als Konsumzwang) resultieren oder durch Werbung ausgelöst werden. Bedarf kann nur mittels spezieller

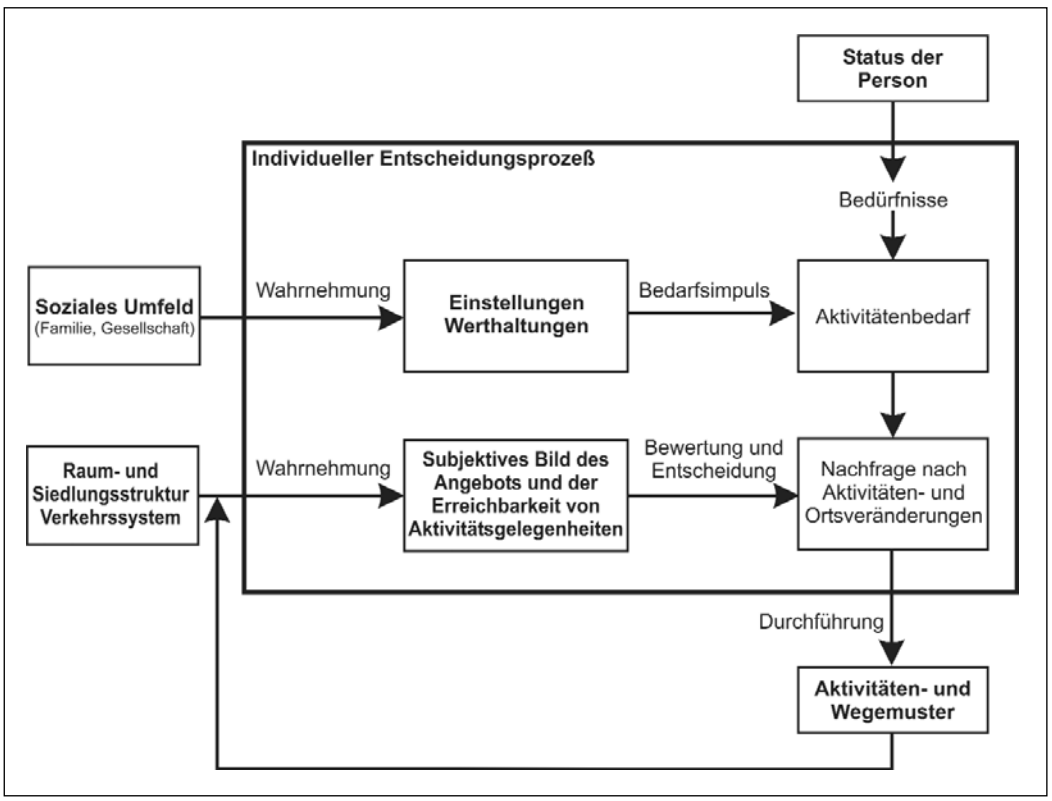


Abb. 5.1 Individuelles Verkehrsverhalten. (Eigene Darstellung)

Befragungstechniken (z.B. Tiefeninterviews, interaktive Befragungsmethoden) mit relativ großem Aufwand erfasst werden.

Darüber hinaus gibt die Umwelt durch ihre natürlichen Gegebenheiten und baulichen Einrichtungen die Gelegenheiten zur Ausübung der Aktivitäten und durch das Verkehrsangebot (Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsmittel) die Möglichkeiten der räumlichen Erreichbarkeit dieser Gelegenheiten für verschiedene Personen in unterschiedlicher Weise vor. Zugleich bestehen andererseits aber häufig auch Nutzungsrestriktionen, z.B. durch Öffnungs- und Betriebszeiten von Einrichtungen und Verkehrsmitteln, oder durch ein unzureichendes Einkommen oder Zeitbudget der betreffenden Person. Durch alle diese Einflüsse wird die Möglichkeit der Befriedigung eines bewusst gewordenen Bedarfs bestimmt. Die Möglichkeit der Bedarfsbefriedigung kann zur *Nachfrage,* d.h. zur Durchführung von *Aktivitäten* und den dazu notwendigen *Ortsveränderungen* führen. Die Aktivitäten- und Verkehrsnachfrage als *realisiertes* Verhalten kann mit relativ einfachen Mitteln (z.B. schriftliche Befragungen) mit ausreichender Zuverlässigkeit empirisch erfasst werden.

Die Kausalkette der individuellen Verkehrsnachfrageentstehung lautet somit (siehe Abb. 5.1): Bedürfnisse – Aktivitätenbedarf – Aktivitätennachfrage – Ortsveränderungen. Das Ergebnis dieses individuellen Entscheidungsprozesses ist eine während eines bestimmten Zeitraumes, z.B. eines Tages, durchgeführte *Aktivitäten*- und *Wegefolge*, die *„Aktivitätsmuster“* bzw. *„Wegemuster“* genannt werden. Mit Ausnahme der Fälle, in denen die Ortsveränderung selbst die Aktivität darstellt, z.B. bei bestimmten Freizeit- und Erholungsaktivitäten, ist Verkehr somit immer nur „Mittel zum Zweck“ und nicht Auslöser. Deshalb gibt es weder einen „Verkehrsbedarf“ noch ein „Verkehrsbedürfnis“ als planungsrelevantes Moment, sondern lediglich einen Aktivitätenbedarf, der zunächst eine Aktivitätennachfrage und – damit gekoppelt – eine Verkehrsnachfrage nach sich zieht.

5.2.2 Objektive Einflussfaktoren des Verkehrsverhaltens

Die Rolle einer Person in der Gesellschaft und, im Zusammenhang damit, ihre Aktivitätenmuster sind weitgehend festgelegt und durch objektive Faktoren beschreibbar (vgl. Abb. 5.2):

- Zur ersten Gruppe der objektiven Einflussfaktoren des Verkehrsverhaltens gehören die demographischen, sozioökonomischen und sozio-kulturellen Merkmale der *Person,* ihres *Haushalts* und ihres weiteren *sozialen Umfeldes* (z.B. Alter, Geschlecht, Erwerbstätigkeit, Einkommen, Haushaltsgröße, Zahl der Kleinkinder im Haushalt, soziale Schicht usw.). Diese Merkmale kennzeichnen den Status der Person und sind geeignet, die „innere Ursache“ der Verkehrsnachfrage der Person zu charakterisieren.
- Die zweite Gruppe der objektiven Einflussfaktoren umfasst die räumlichen, zeitlichen und sachlichen Merkmale des Aktionsraumes der Person mit seinem Angebot an Einrichtungen zur Durchführung von Aktivitäten, also die Merkmale der ortsgebundenen *Einrichtungen* (z.B. Lage, Öffnungs- bzw. Betriebszeiten, Art, Größe, Ausstattung, Preise etc.) sowie des *Verkehrssystems* (z.B. räumliche Verbindung, Betriebszeiten, Fahrtdauer, Verfügbarkeit, Fahrtkosten, Ausstattung, Komfort etc.). Diese Faktoren legen insbesondere die räumlichen, zeitlichen und durch Zugehörigkeit zu einer gesellschaftlichen Schicht bedingten Grenzen des Aktionsraumes einer bestimmten Person fest, innerhalb dessen diese Aktivitäten möglich sind. Diese Merkmale umschreiben somit die „äußeren Bedingungen“ für die Verkehrsnachfrage.

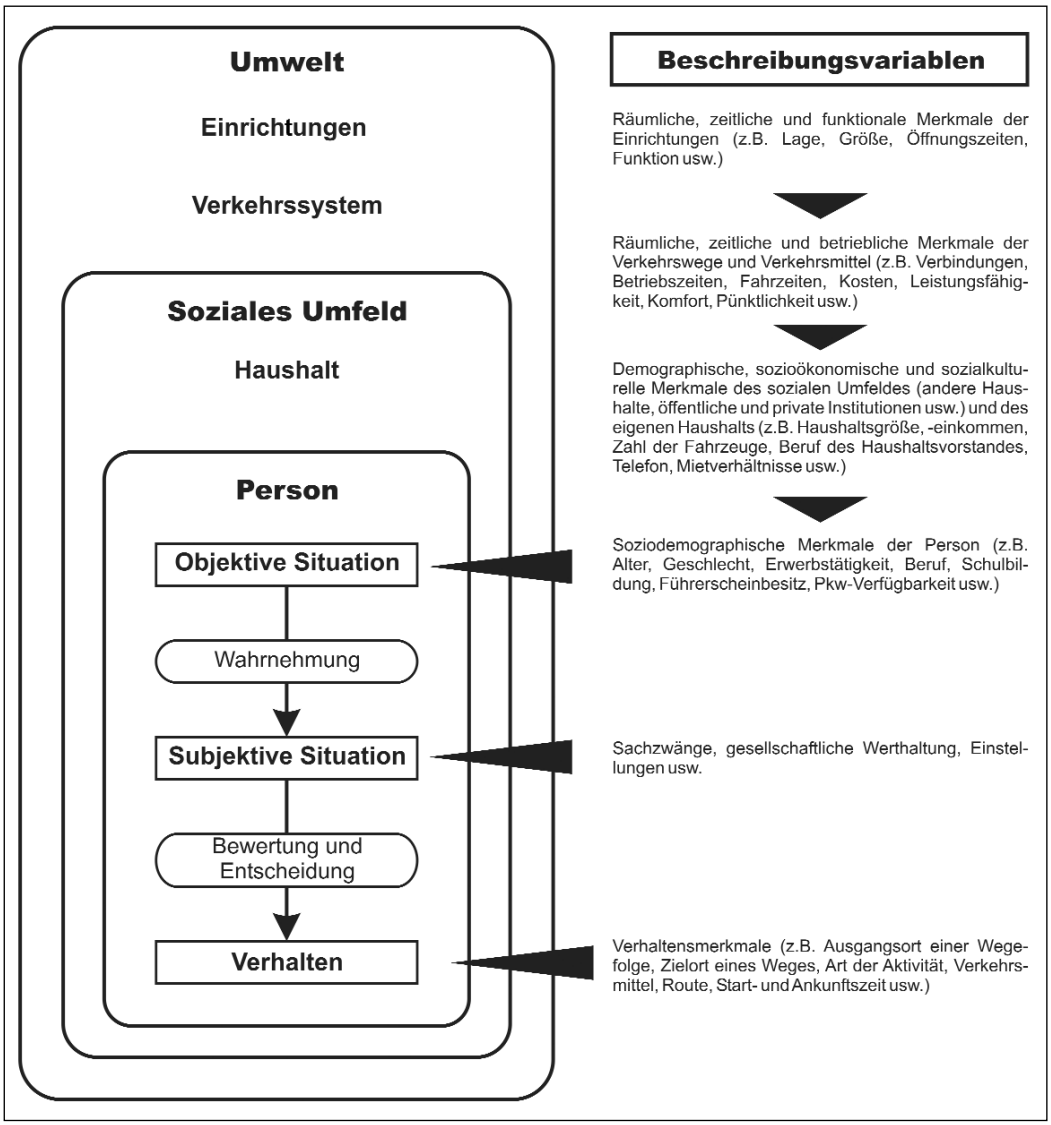


Abb. 5.2 Einflussfaktoren und Beschreibungsmerkmale des Verkehrsverhaltens. (Eigene Darstellung)

Die objektiven Faktoren einer Person geben einen Rahmen vor, in dem sich Verhalten abspielen kann. Dieser Rahmen definiert die so genannte *objektive Entscheidungssituation* und bestimmt wesentliche Teile des täglichen Verhaltens von Personen. Insbesondere Pflichtaktivitäten wie Arbeiten, Schulbesuch etc. sind durch einzelne soziodemographische Merkmale auch hinsichtlich ihres zeitlichen Entstehens nahezu vollständig „erklärbar"; aber auch die Zahl der möglichen Orte für diese Aktivitäten, also die Reiseziele, und die Benutzung der möglichen Verkehrsmittel sind dadurch bereits weitgehend definiert. So lassen sich erfahrungsgemäß die Pflichtaktivitäten und -wege von Personen allein auf der Basis ihrer objektiven Merkmale mittels Verkehrsnachfragemodellen relativ zutreffend beschreiben.

Daten über die objektiven Faktoren des Verkehrsverhaltens von Personen sind durch *Primärerhebungen,* z.B. durch schriftliche Haushaltsbefragungen, mit hinreichender Genauigkeit zu gewinnen. Die wichtigsten Angaben über die Bevölkerungsstruktur und die aktionsräumlichen ortsfesten oder verkehrlichen Einrichtungen sind ohnehin aus *Sekundärstatistiken* der Amtlichen Statistiken von Bund, Ländern und Gemeinden, z.B. aus den Einwohnermeldestatistiken, verfügbar.

5.2.3 Subjektive Einflussfaktoren des Verkehrsverhaltens

Entscheidungen über das Verkehrsverhalten fallen aber nicht allein auf der Basis der objektiven Situation, sondern werden auch aufgrund subjektiver Einschätzungen und Werthaltungen gefällt. So trifft der Einzelne seine Verkehrsentscheidungen unter mehr oder weniger stark eingeschränktem Kenntnisstand über das Angebot an Einrichtungen und Verkehrsgelegenheiten. Dies haben besonders Untersuchungen über kognitive Bilder von Straßen- und Landkarten, so genannte mental maps, gezeigt. Die objektive Situation wird demnach durch die individuelle Wahrnehmung in ein subjektiv verzerrtes Bild transformiert, das gegenüber dem objektiven Bild unvollständig und verfälscht ist. Auf der Basis dieser *subjektiven Situation* jedoch fällt eine Person ihre Entscheidungen über den Tagesablauf, die aufzusuchenden Einrichtungen und die Verkehrsmittelnutzung und somit über ihr Verkehrsverhalten. Die Realisierung dieses Verhaltens kann jedoch wiederum Erfahrungen liefern, die unter Umständen zu Korrekturen der Wahrnehmung führen (längerfristiger Lernprozess, vgl. Rückkopplung in Abbildung 5.l und Abbildung 5.2) und damit ein verändertes Verhalten nach sich ziehen. Auch stellt sich in diesem Zusammenhang bei Prognosen die Frage nach der Wirkung neuer Informations- und Kommunikationstechniken, die in der Lage sein werden, dem Verkehrsteilnehmer ein genaueres Bild der verkehrsrelevanten Situation zu vermitteln.

Neben der Informiertheit beeinflusst noch eine Reihe weiterer subjektiver Faktoren das Verkehrsverhalten, so z.B. Gewohnheiten oder soziale Werthaltungen, die zur so genannten *subjektiven Disponiertheit* – landläufig auch Einstellungen genannt – gegenüber bestimmten Alternativen führen. Dieser Faktor spielt bei der Entscheidung für oder gegen bestimmte Freizeitaktivitäten (z.B. Modesportarten), bestimmte Ziele und bestimmte Verkehrsmittel (z.B. „Auto als Statussymbol“) eine wichtige Rolle. Unter dem Gesichtspunkt der Prognostizierbarkeit weist jedoch auch er einen hohen Grad an Unzuverlässigkeit auf.

Im Gegensatz zu den wichtigsten objektiven Merkmalen sind Daten über die subjektiven Faktoren, die das Verkehrsverhalten prägen, nur mit Hilfe komplizierter und aufwendiger Erhebungstechniken, so genannter interaktiver Erhebungen bzw. Intensivinterviews von Personen, Haushalten und Gruppen, möglich.

Insgesamt gesehen stellt sich somit nicht nur die Frage, ob subjektive Einflussfaktoren überhaupt erfasst und wie sie ggf. im Rahmen von Verkehrsnachfragemodellen beschrieben werden können, sondern vielmehr, ob und wieweit sie angesichts der genannten prognostischen Unsicherheiten im Rahmen von Verkehrsprognosen überhaupt berücksichtigt werden sollten.

5.3 Beschreibung der Raum- und Siedlungsstruktur und des Verkehrsangebots

5.3.1 Planungsraum und Untersuchungsgebiet

Der *Planungsraum* umfasst den räumlichen Bereich, in dem die planungsauslösenden Defizite liegen und mögliche Maßnahmen ihre Wirkungen ausüben. Meist ist der Planungsraum nach verwaltungspolitischen Grenzen vorgegeben (z.B. Grenzen einer Gebietskörperschaft).

Aus bereits genannten Gründen soll das *Untersuchungsgebiet* aus verkehrlicher Sicht den Einzugsbereich des Planungsraumes und räumlichen Maßnahmenfeldes umfassen, also im Allgemeinen einen größeren Bereich darstellen (siehe Abb. 5.3).

Die Grenze des Untersuchungsgebietes, der *Außenkordon,* sollte so gewählt werden, dass der diese Grenze überschreitende Verkehr, also Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr, gegenüber dem Binnenverkehr möglichst zu vernachlässigen ist. Ergeben sich aus dem Planungsraum über die Grenzen des Untersuchungsgebietes hinaus einzelne großräumige und nicht vernachlässigbare Verkehrsbeziehungen, so müssen diese im Verkehrsmodell mit Hilfe gesonderter Betrachtungen berücksichtigt werden. Leider muss das Untersuchungsgebiet in der Praxis oft nach Verwaltungsbezirken mit traditionell vorgegebenen Gebietsgrenzen ausgewählt werden, die mit dem bestehenden verkehrlichen Einzugsbereich in keinerlei Zusammenhang stehen.

5.3.2 Modell der Raum- und Siedlungsstruktur

Die aus arbeitstechnischen Gründen erforderliche Aufteilung des Untersuchungsgebietes und seines weiteren Einflussbereiches in *Verkehrszellen* muss der dem planerischen Problem angepassten Schärfe folgen, d.h. sie muss sich an den zu beurteilenden Maßnahmen, an der Struktur der zu dimensionierenden Verkehrsnetze und an der geforderten Genauigkeit der Ergebnisse orientieren. Die Verkehrszellen sollten somit so klein gewählt werden, dass der Binnenverkehr innerhalb der

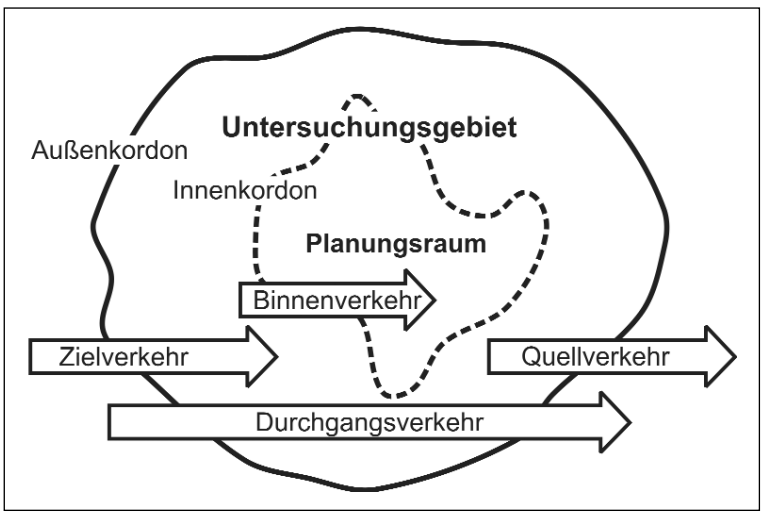


Abb. 5.3 Beschreibung der Raum- und Siedlungsstruktur und des Verkehrsangebots. (Braun u. Wermuth, 1973)

Verkehrszellen für die Planung des Verkehrsnetzes vernachlässigt werden kann.

Für die einzelnen Verkehrszellen können *Schwerpunkte* festgelegt werden, in denen – analog zu den Massenpunkten in der Physik – jeweils alle Strukturgrößen als in einem oder wenigen Punkten vereinigt angesehen und die punktuell an das Verkehrswegenetz angebunden werden. Sämtliche für die Verkehrsnachfrage relevanten Strukturgrößen, wie Zahl und Struktur der Bevölkerung, der Arbeitsplätze etc., werden auf die Verkehrszellen bezogen. Die wichtigsten verkehrsnachfragerelevanten Strukturgrößen sind aus der Amtlichen Statistik nicht immer in hinreichender räumlicher Untergliederung verfügbar. Die Bevölkerungszahl – auch hinsichtlich ihrer Struktur nach Alter und Geschlecht – als wichtigstes verkehrsrelevantes Statusmerkmal ist mindestens auf der Ebene von Statistischen Bezirken oder Wahlbezirken verfügbar, meist aber auch auf wesentlich kleineren Einheiten wie Baublöcken oder sogar Baublockseiten.

Die entsprechenden Bestandszahlen über Arbeitsplätze bzw. Beschäftigte ist meist nur auf der Basis größerer Einheiten (z.B. Stadtteile oder Gemeinden) verfügbar. Die Zahl der gemeldeten Kraftfahrzeuge liegt bestenfalls auch auf Stadtteilebene vor, kann durch Zusatzauswertungen des Kraftfahrzeugbundesamtes jedoch in der Regel auf Verkehrszellenebene verfügbar gemacht werden.

5.3.3 Verkehrsnetzmodell

Da das Verkehrsangebot unmittelbares Planungsobjekt der Verkehrsplanung ist, kommt seiner Darstellung in Form von Netzmodellen für die einzelnen Verkehrsmittel im Berechnungsablauf der Verkehrsnachfrage besondere Bedeutung zu.

Ein *Verkehrsnetzmodell* für ein bestimmtes Verkehrsmittel umfasst die notwendigen Informationen über die Netzgeometrie und die Bewertung der Netzelemente mit Widerstandsmerkmalen (Zeitaufwand, Kosten). Es ist im Sinne der Netzwerktheorie ein *Graph* G = (K, S), bestehend aus einer *Knotenmenge* K und einer *Kantenmenge* S. Die Knoten entsprechen den Kreuzungen und die Kanten den sie verbindenden Strecken des Verkehrsnetzes. Allgemein empfehlen sich für Knoten und Strecken die Bezeichnungen *Elemente* (K) und *Verknüpfungen* (S). Für die geometrische Beschreibung eines Verkehrsnetzes sind – besonders im Hinblick auf die Verwendung von EDV-Anlagen – die knotenorientierte und die streckenorientierte Beschreibungsmöglichkeit zu unterscheiden.

Knotenorientierte Netzbeschreibung

In einer knotenorientierten Netzbeschreibung werden die Knoten als die Elemente und die Strecken als die Verknüpfungen verwendet. Zwei benachbarte Knoten i und j sind in einer Richtung durch eine (gerichtete Einbahn-) Strecke ggf. in der Gegenrichtung durch eine weitere Strecke verknüpft. Jeder Strecke ist ein bestimmter Widerstand zugeordnet.

Die knotenorientierte Netzbeschreibung umfasst für alle Knoten des Netzes die Information:

Von *Knoten* k_i aus ist *Knoten* k_j über die *Strecke* $s(k_i,k_j)$ mit dem *Widerstand* w_{ij} erreichbar (Abb. 5.4). Die Knoten k_i und k_j heißen „adjazent“ (zusammenhängend).

Ist eine Fahrtmöglichkeit in der Gegenrichtung ebenfalls möglich, so muss auch sie angegeben werden; nicht ausdrücklich als zulässig angegebene Verknüpfungen gelten also als nicht vorhanden bzw. als verboten. Die Menge aller Zahlentripel (k_i, k_j, w_{ij}) stellt somit eine eindeutige knotenorientierte Netzbeschreibung dar.

Der *Nachteil* der knotenorientierten Netzbeschreibung ist die Tatsache, dass Abbiegeverbote nur durch zusätzliche Informationen

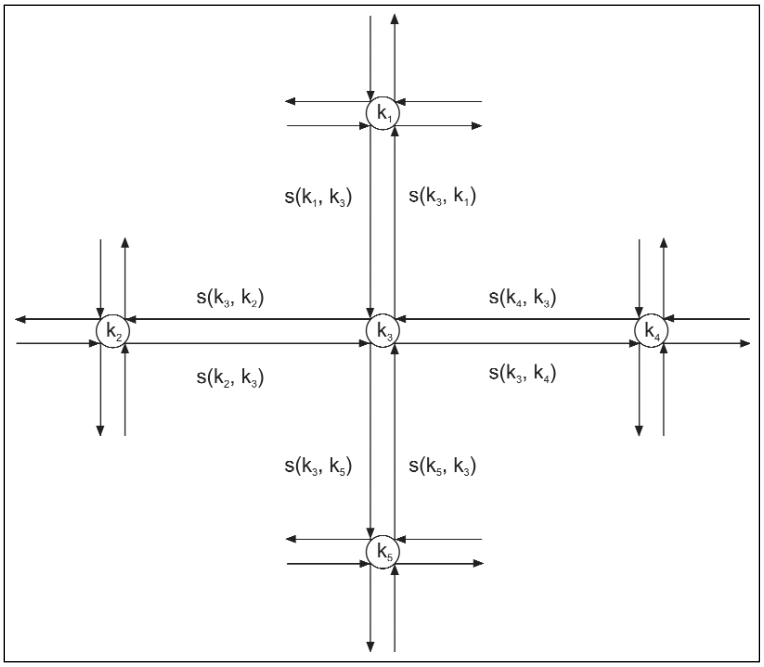


Abb. 5.4 Knotenorientierte Netzbeschreibung. (Braun u. Wermuth, 1973)

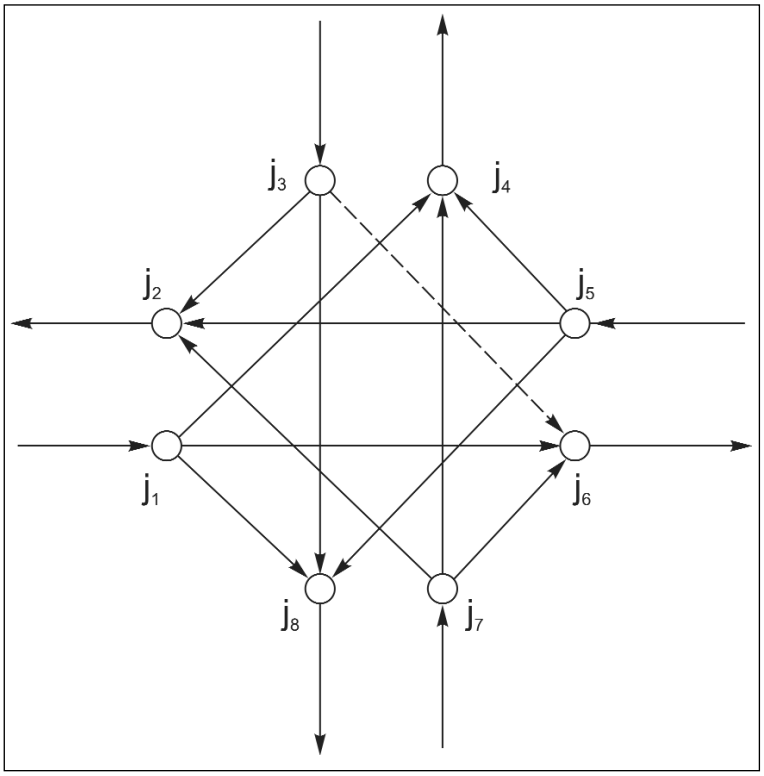


Abb. 5.5 Aufspaltung eines Knotens in Hilfsknoten. (Braun u. Wermuth, 1973)

oder Hilfskonstruktionen berücksichtigt werden können: Die Berücksichtigung eines Abbiegeverbotes in Knoten k_3 ist z.B. durch die zusätzliche Angabe eines Zahlentripels (k_1, k_3, k_4) oder durch eine Aufspaltung des Knotens k_3 in acht Hilfsknoten j_1 bis j_8 möglich (siehe Abb. 5.5), wobei die Verknüpfung (j_3, j_6) nicht in die Netzbeschreibung aufgenommen wird. Mit dieser Methode ist jedoch offensichtlich ein unverhältnismäßig hoher Beschreibungsaufwand verbunden.

Streckenorientierte Netzbeschreibung

Dieser Aufwand kann verringert werden, wenn jede Strecke nicht am Anfang und am Ende, sondern nur am Anfang mit einem Knoten gekennzeichnet wird und die Verknüpfung somit vom Beginn einer Strecke zum Beginn der nächsten Strecke reicht, der Widerstand der Verknüpfung somit den Widerstand der Strecke selbst sowie den entsprechenden Abbiegewiderstand enthält. Auf diese Weise ist jede Abbiegebeziehung einzeln darstellbar (siehe Abb. 5.6).

Diese Beschreibungsart heißt streckenorientiert, weil in diesem Fall die Strecke (genauer: der Streckenanfangspunkt) als Netzelement definiert wird. Die streckenorientierte Netzbeschreibung stellt also einen Graph G = (K,S) dar, bei dem die Elementmenge K durch die Streckenanfangspunkte und die Verknüpfungsmenge S durch die Strecken inkl. der Abbiegebeziehungen gebildet wird.

Die streckenorientierte Netzbeschreibung enthält demnach für alle Strecken die Information:

Vom Anfangspunkt k_j der *Strecke* i aus ist der Anfangspunkt k_j der *Strecke* j über die *Verknüpfung* $s(k_i,k_j)$ mit dem *Widerstand* $w_{ij} = w(s(k_i,k_j))$ zu erreichen (Abb. 5.6).

Nachdem hierbei jede Abbiegebeziehung einzeln beschrieben wird, kennzeichnet umgekehrt jede fehlende Beziehung ein Abbiegeverbot. Gleichzeitig ist es ohne weiteres möglich, jeder Abbiegebeziehung einen zusätzlichen Widerstand zuzuordnen, um damit Abbiegebehinderungen zu berücksichtigen. Der Knoten wird also nicht nur als singulärer Punkt betrachtet, sondern entsprechend der Wirklichkeit als ein Verknüpfungs- und Verzweigungssystem.

Der *Vergleich* beider Netzbeschreibungsarten zeigt, dass mit der streckenorientierten Beschreibung das Netz detaillierter und problemadäquater erfasst werden kann, dass dafür aber auch – grob gerechnet – die dreifache Zahl an Beschreibungselementen notwendig ist und so auch mit erhöhtem Arbeitsaufwand gerechnet werden muss.

In der Praxis empfiehlt sich im Allgemeinen die streckenorientierte Darstellung eines Netzmodells, insbesondere dann, wenn unter-

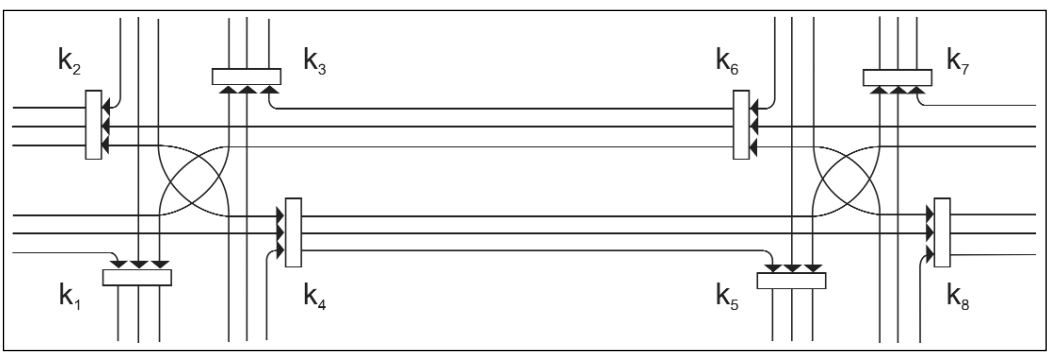


Abb. 5.6 Streckenorientierte Netzbeschreibung. (Braun u. Wermuth, 1973)

schiedliche Abbiegewiderstände (für Rechts-, Linksabbiegen und Geradeausfahren) berücksichtigt werden müssen, was vor allem bei städtischen Netzen der Fall ist. Lediglich bei Fernverkehrsnetzen, bei denen Abbiegeverbote und -behinderungen keine Rolle spielen, ist eine knotenorientierte Beschreibungsweise zu empfehlen.

Da die Verkehrswegewahl für jedes Netz der verschiedenen Verkehrsmittel getrennt durchzuführen ist, müssen dementsprechend auch verschiedene Netzbeschreibungen für den Fußgänger-, den Rad-, den motorisierten Individualverkehr, den öffentlichen Verkehr usw. erstellt werden. Darin sind jeweils nicht nur die tatsächlichen Netzstrecken, sondern auch *Hilfsstrecken* einzuführen, um eine problemgerechte Einbindung der Verkehrszellen in das eigentliche Verkehrsnetz zu ermöglichen. Damit lassen sich beispielsweise beim öffentlichen Verkehr nicht nur Fußwegstrecken zu einer Haltestelle bzw. zu verschiedenen Haltestellen und die entsprechenden Wartezeiten berücksichtigen. Darüber hinaus wird durch virtuelle *Zellenerschließungsnetze* die Berücksichtigung von gebrochenen Routenanteilen möglich, wie sie z.B. beim Park and Ride u.a. Vorgängen auftreten. Gerade dafür ist eine streckenorientierte Beschreibungsweise besonders geeignet, weil dadurch unzulässige Verbindungen der Zellenerschließungsnetze untereinander unterbunden werden können (siehe hierzu (Braun, 1977)).

Netzwiderstände

Die wesentlich schwieriger zu erfassende Komponente der Netzbeschreibung besteht in der Bewertung jeder Verknüpfung – d.h. jeder Strecke bei der knotenorientierten bzw. jeder Strecke inklusive Abbiegebeziehung bei der streckenorientierten Netzbeschreibung – hinsichtlich des Aufwandes, der zu ihrer Überwindung vom Verkehrsteilnehmer aufzubringen ist. Dieses Bewertungsmaß wird als allgemeiner *Widerstand* bezeichnet. Dieser soll möglichst alle Widerstandsmerkmale enthalten, die der einzelne Verkehrsteilnehmer bei seiner tatsächlichen Entscheidung für den einen oder anderen Weg bewusst oder unbewusst berücksichtigt, z.B. Fahrtdauer, Weglänge, Reisegeschwindigkeit, Fahrtkosten, Straßenausbauzustand, Auslastungsgrad, Wegweisung.

Da einige der genannten Widerstandsmerkmale miteinander korreliert sind (z.B. Fahrtkosten mit Weglänge oder/und Zeit), brauchen nicht alle für den normalen Anwendungsfall einbezogen zu werden. Da sich außerdem im Stadtverkehr vor allem die Fahrtdauer („schnellster“ Weg) als die weitaus einflussreichste Größe erwiesen hat, ist für viele Zwecke die ausschließliche Verwendung der Fahrtdauer als Widerstandsmaß möglich.

5.3.4 Optimalroutenverfahren

Auf der Basis eines Verkehrsnetzmodells ist es möglich, (widerstands-)kürzeste Wege zwischen zwei vorgegebenen Netzelementen bzw. Verkehrszellen zu bestimmen. Insbesondere für die EDV-Anwendung sind dazu jedoch entsprechende Algorithmen notwendig. Das Problem der Ermittlung der kürzesten Route in einem Netzmodell kann allgemein wie folgt formuliert werden:

In einem Netzmodell, beschrieben durch den Graph G = (K,S), wie oben definiert, sei jeder Verknüpfung s ein Widerstand w(s) zugeordnet. Die Menge K der Netzelemente enthält auch alle Zellenanschlüsse.

Zu bestimmen ist die kürzeste Route $R_1(k_i,k_j)$ zwischen den Elementen k_i und k_j im Graph G, für die gilt:

$$W_1(k_i,k_j) \le W_r(k_i,k_j) \quad \text{für alle } r = 2,3, \ldots \tag{5.1}$$

Dabei stellt W_r den Widerstand der Route $R_r(k_i,k_j)$ dar, die als lückenlose Folge von Verknüpfungen s_{rh} von Element k_i zu Element k_j anzusehen ist:

$$R_r(k_i,k_j) = \{(k_i, k_{r1}), (k_{r1},k_{r2}), ..., (k_{rn_r-1}\} = \{ s_{r1}, s_{r2}, ..., s_{r n_r}\} \quad (5.2)$$

wobei
k_{rh} Zwischenelement h der Route r
s_{rh} Verknüpfung h der Route r
n_r Zahl der Verknüpfungen der Route r
Es gilt

$$W_r(k_i,k_j) = \sum_{h=1}^{n_r} w(s_{rh}) \quad (5.3)$$

Für dieses *Kürzeste-Routen-Problem* existiert eine Vielzahl von Lösungsverfahren, die sich in drei Gruppen einteilen lassen:
– Matrixverfahren
– Iterationsverfahren (Routenbaumverfahren vom M-Typ)
– Iterationsfreie Verfahren (Routenbaumverfahren vom D-Typ).

Matrixverfahren

Bei den Matrixverfahren wird als Ausgangsbasis die *bewertete Adjazenzmatrix*

$A = (w_{ij}^{(0)})$

mit den Matrixelementen

$$(w_{ij}^{(0)}) = \begin{cases} w_{ij} = w(s(k_i,k_j)) & \text{wenn } k_i \text{ und } k_j \text{ adjazent} \\ \infty & \text{sonst} \end{cases}$$

verwendet.

Wenn das Netzmodell also aus n Netzelementen $k_1, ..., k_n$ besteht, ist eine Widerstandsmatrix mit n^2 Beziehungselementen (k_i,k_j) mit i,j = l, ..., n aufzubauen, von denen allerdings zunächst der größte Teil mit „unendlich" besetzt ist. Mit endlichen Widerstandswerten w_{ij} besetzt sind nur die Felder, die eine direkte Verbindung (Adjazenz) zwischen den beiden entsprechenden Netzelementen k_i und k_j im Netzmodell kennzeichnen. Durch eine feste Anzahl von n Iterationen, in denen jeweils die gesamte Matrix mit Hilfe von so genannten Triple-Operationen zu bearbeiten ist, wird schließlich die Ausgangsmatrix A in die Matrix W der Kürzesten-Routen-Widerstände umgewandelt:
Elemente der Ausgangsmatrix A:

$w_{ij}^{(0)}$ (i,j = l,...,n)

Iterationsvorschrift für die Iterationsschritte

n = 0,1, ..., n:

$$w_{ij}^{(n+1)} = \text{Min}\,[w_{ij}^{(n)}, \text{Min}(w_{ik}^{(n)} + w_{kj}^{(n)})] \quad (i,j = 1,...,n) \quad (5.4)$$

Elemente der Ergebnismatrix W:

$w_{ij}^{(n)}$ (i,j=1,...,n)

Durch entsprechende Notierung von Zusatzinformationen während des Rechenprozesses ist die direkte Rückverfolgung der kürzesten Routen, beginnend beim Endelement k_j bis zum Anfangselement k_i möglich. Dieser Algorithmus von Floyd (1962) besticht besonders durch die Möglichkeit einer sehr einfachen und übersichtlichen EDV-Programmierung, hat jedoch – wie auch die zahlreichen anderen Versionen von solchen Matrixverfahren und trotz aller Verbesserungsversuche – zwei schwerwiegende grundlegende Nachteile:
– Es müssen Datenmengen der Größenordnung n^2 gespeichert werden. Für den *Speicherplatzbedarf* C gilt somit
  $C \sim n^2$
– Der *Rechenzeitaufwand* R ist in etwa der dritten Potenz n^3 der Netzelementezahl n proportional.
  $R \sim n^3$.

Eine praktische Verwendung dieser Matrixverfahren ist daher nur für kleine Verkehrsnetze sinnvoll.

Im Gegensatz zu den Matrixverfahren sind fast alle anderen Suchverfahren für Optimalrouten „baumorientierte“ Verfahren, d.h. in einem Durchlauf des Algorithmus werden nicht gleichzeitig die kürzesten Routen zwischen allen Elementen gesucht, sondern es wird ein Element k, als Ausgangspunkt („Wurzel“ des Baumes) gewählt, von dem aus der Algorithmus die kürzesten Wege zu allen anderen Elementen bestimmt. Das bedeutet, dass beispielsweise für jede Zeile der Verkehrsmatrix einmal der Routensuchalgorithmus durchlaufen werden muss.

Routenbaumverfahren vom M-Typ

Bei den Routenbaumverfahren sind zwei Typen zu unterscheiden, die unter den Namen ihrer Erfinder mit Moore- (bzw. M-) und Dijkstra- (bzw. D-) Algorithmen bezeichnet werden (Moore, 1957; Dijkstra, 1969).

Beim *Moore-Algorithmus (M-Algorithmus)* wird von der Wurzel ausgehend über die bestehenden Verknüpfungen zu den adjazenten (verknüpften) Elementen und von diesen entsprechend der Reihenfolge ihrer Verknüpfungen weiter zu den folgenden Elementen vorgedrungen. Wenn dabei ein Element k_1 auf einer Route mit mehr Verknüpfungen, jedoch mit einem geringeren Widerstand als auf einer anderen Route mit weniger Verknüpfungen erreicht wird, muss sowohl der Widerstand $W(k_1)$ dieses Elements als auch die Nummer des Vorgängerelements V(k|) korrigiert werden.

Die *Kandidatenliste* (K-Liste) enthält jeweils die schon erreichten Elemente, deren adjazente Folgeelemente jedoch noch nicht erreicht wurden (also noch den Widerstand ∞ aufweisen).

Die *Repetierliste* (R-Liste) enthält jeweils die Elemente, deren adjazente Folgeelemente zwar schon früher erreicht worden waren, die aber nun selbst auf einem kürzeren Weg erreicht werden, so dass die Widerstände der Folgeelemente nochmals neu berechnet werden müssen. Die Elemente der Repetierliste sind dann zweckmäßigerweise vor dem nächsten Element der K-Liste abzuarbeiten, um überflüssige Korrekturen zu vermeiden.

Dieses Routensuchverfahren bildet in den verschiedensten Modifikationen den methodischen Kern vieler heute benutzter Bestwegsuchverfahren. Der *Speicherplatzbedarf* C für solche Verfahren kann größenordnungsmäßig mit

$$C = k \cdot n_s$$

angegeben werden. Dabei bedeutet:

- k von der Programmierung abhängiger, ansonsten konstanter Parameter. Als Anhalt mag der Wert 10 angenommen werden.
- n_s Anzahl der Netzverknüpfungen (Anzahl der endlichen Elemente der Adjazenzmatrix A).

Für eine gesamte Verkehrsmatrix mit m Zeilen und n Spalten kann die *Rechenzeit* R größenordnungsmäßig wie folgt abgeschätzt werden:

$$R = m \cdot n^{\gamma}$$

- m Zeilenanzahl der Verkehrsmatrix
- n Anzahl der Netzelemente
- γ Parameter, abhängig von der Programmierung; kann zu etwa 1,5 bis 2,0 angenommen werden.

Im Vergleich zu den oben erwähnten Matrixverfahren sind also die Iterationsverfahren sowohl speicherplatz- wie rechenzeitmäßig bei weitem vorzuziehen.

Routenbaumverfahren vom D-Typ

Der *Dijkstra-Algorithmus (D-Algorithmus)* führt im Gegensatz zum M-Algorithmus in jedem Schritt eine Suche nach dem Kandidaten aus der K-Liste durch, der den minimalen Gesamtwiderstand aufweist. Da dieses Element auf keiner anderen Route mit geringerem Widerstand erreicht werden kann, ist auch keine Korrektur der Widerstände und der Nummern der Vorgängerelemente notwendig. Für jedes Element werden nur einmal der Wi-

derstand und das Vorgängerelement ermittelt, so dass keine Wiederholungen notwendig sind (iterationsfreies Verfahren).

Allerdings muss nunmehr in Schritt (2) die gesamte K-Liste auf das widerstandsminimale Element durchsucht werden. Diese unter Umständen sehr aufwendige Minimumsuche lässt sich jedoch mit geschickter Datenorganisation umgehen, indem eine Kandidatenliste verwendet wird, in der die Kandidaten nach ihren Widerstandsgrößen geordnet eingetragen werden. Da naturgemäß keine negativen Widerstände bei Verkehrsnetzen auftreten können und das aktuelle Element von allen Kandidaten die geringste Widerstandssumme aufweist, braucht von diesem ausgehend nur die in aufsteigender Widerstandsfolge nächste besetzte Position der Kandidatenliste aufgesucht zu werden, um als neues aktuelles Element diejenige mit dem minimalen Widerstand zu bestimmen (siehe auch (Braun u. Wermuth, 1973)). Auch die praktischen Erfahrungen haben tatsächlich gezeigt, dass bei Verwendung so programmierter Verfahren der gesamte Rechenzeitaufwand R für die Umlegung einer Verkehrsmatrix nur *linear* mit der Anzahl der Netzelemente ansteigt:

$$R \sim m \cdot n$$

mit

m Anzahl der Fahrtenmatrixzeilen

n Anzahl der Netzelemente

Da außerdem kein größerer Speicherplatzbedarf als bei Iterationsverfahren besteht, ist das hier beschriebene Optimalroutenverfahren das effektivste Verfahren.

5.4 Grobtypologie von Verkehrsnachfragemodellen

5.4.1 Verkehrsmengen, Verkehrsgrößen und Merkmale von Ortsveränderungen

Als *Verkehrsmenge* wird im Weiteren eine Menge von Ortsveränderungen (auch: Wege, Beförderungsfälle, Transportvorgänge) von Beförderungseinheiten (Personen, Gütereinheiten) im Sinne der Mengenlehre verstanden, also als Zusammenstellung einzelner Ortsveränderungen. Jeder Beförderungsfall weist eine Reihe von Merkmalen auf, von denen im Allgemeinen einige wenige ausreichen, um ihn für die Zwecke der Verkehrsplanung mit ausreichender Genauigkeit zu beschreiben.

Demgegenüber wird die *Anzahl* der in einer Menge enthaltenen Ortsveränderungen als *Verkehrsgröße* – in Bezug auf Strecken: *Verkehrsstärke* oder *Verkehrsbelastung* – bezeichnet. Da Verkehrsgrößen Zufallsgrößen sind, werden sie mit Großbuchstaben (z.B. M) symbolisiert.

Jede Ortsveränderung ist eingebunden im Raum-Zeit-System. Neben den zeitlichen und räumlichen Merkmalen sind noch sachliche Merkmale („sachliche Dimension“) für eine kausalanalytische Beschreibung von Ortsveränderungen notwendig:

- *Räumliche* Ortsveränderungsmerkmale sind Quelle und Ziel, benutzte Netzelemente (Route) sowie – daraus ableitbar – die Weglänge.
- *Zeitliche* Merkmale sind die Zeitpunkte von Beginn und Ende einer Ortsveränderung sowie – daraus ableitbar – die Wegdauer.
- *Sachliche* Ortsveränderungsmerkmale sind die benutzte Verkehrsinfrastruktur (z.B. das Straßennetz), das bzw. die benutzten Ver-

kehrsmittel (z.B. Pkw) und der Zweck der Ortsveränderung (Wegezweck).

Räumlich werden Quelle und Ziel einer Ortsveränderung *Verkehrszellen* als kleinste abgrenzbare Raumeinheiten zugeordnet, deren zweckmäßigste Größe aus der jeweiligen Planungsaufgabe und der Feinmaschigkeit des zu betrachtenden Verkehrsnetzes abzuleiten ist.

Entsprechend erfolgt die zeitliche Zuordnung von Wegen nur nach *Zeitintervallen* (z.B. Tagesstunde), die entsprechend der Planungsaufgabe als kleinste notwendige Zeiteinheiten abzugrenzen sind.

Das Ziel von Verkehrsnachfrageberechnungen ist im Allgemeinen die Ermittlung von *Verkehrsgrößen*. Von besonderer Wichtigkeit für die Planung sind die *Verkehrsbelastungen* einzelner Verkehrsnetzelemente (Strecken, Knoten) innerhalb eines bestimmten Zeitraumes, z.B. die Anzahl der Kraftfahrzeuge, die an einem Werktag einen Straßenquerschnitt passieren (werktägliche Verkehrsbelastung). Diese Informationen bilden die Grundlage für die Dimensionierung der Verkehrsnetze und ihrer Elemente, z.B. für die Festlegung der notwendigen Anzahl von Fahrstreifen einer Straße, sowie für die Berechnung von Folgewirkungen, z.B. Schadstoffausstoß, Lärm, Trennwirkung.

Eine „Berechnung“ der Verkehrsbelastung eines bestimmten Streckenquerschnitts in einem Verkehrsnetz ist angesichts der Kausalstruktur der Verkehrsentstehung nur möglich, indem das Verkehrsverhalten (Verkehrsnachfrage) aller Personen im Einzugsbereich des Querschnitts an einem Tag mittels eines Modells simuliert wird. Das wiederum bedeutet, dass für alle Ortsveränderungen (Wege) aller Personen die Ausprägungen folgender Wegemerkmale ermittelt werden müssen:

- Verkehrszweck z (Kategorie der Aktivität, zu deren Durchführung der Weg unternommen wird)
- Tageszeit t (Zeitintervall, in dem der Weg durchgeführt wird, z.B. Tagesstunde)
- Quelle i (Verkehrszelle, in der der Weg beginnt)
- Ziel j (Verkehrszelle, in der der Weg endet)
- Verkehrsmittel m (Kategorie/Kombination des (der) benutzten Verkehrsmittel)
- Route r (Folge der benutzten Strecken eines Verkehrsnetzes)

Werden die Elementarströme, deren Routen r (mit der Menge S_r von Netzelementen) über ein bestimmtes Netzelement s führen, addiert, so erhält man die Verkehrsbelastung M_s dieses Netzelements:

$$M_s = \sum_i \sum_j \sum_r \sum_{s \in S_r} F_{ijmr} \qquad (5.5)$$

5.4.2 Individual- und Aggregatmodelle

Die Adäquatheit der Ergebnisse von Verkehrsnachfragemodellen wird vor allem von der Einheit bestimmt, deren Verkehrsverhalten im Modell abgebildet wird.

- *Mikro- oder Individualverhaltensmodelle* versuchen, das Entscheidungsverhalten der Einzelperson bei der Wahl zwischen den verfügbaren Alternativen zu beschreiben. Ihre Aufgabe besteht somit darin, Wahrscheinlichkeiten für die Wahl der Alternativen bei der Ziel-, der Verkehrsmittel- und Routenwahl zu ermitteln oder mittels eines stochastischen Simulationsverfahrens (z.B. Monte-Carlo-Simulation) jedem Weg und jedem Wegemerkmal eine bestimmte Ausprägung zuzuordnen.
- *Makro- oder Aggregatmodelle* berechnen die Verkehrsgrößen (Verkehrsaufkommen von Verkehrszellen, Verkehrsströme zwischen Verkehrszellen) direkt mittels analytischer Funktionen in Abhängigkeit von

Siedlungsstrukturgrößen. Die verwendeten Siedlungsstrukturgrößen sind z.B. die Einwohner- und Beschäftigtenzahlen der Verkehrszellen.

5.4.3 Verkehrsstrom- und Wegekettenmodelle

Ein weiteres wichtiges Klassifikationsmerkmal für Verkehrsnachfragemodelle ist der Simulationsgegenstand, d.h. der Einzelweg oder die Wegekette.

- *Wegekettenmodelle* verfolgen das Ziel, die gesamte tägliche Wegekette einer Person darzustellen und die im Rahmen dieser Wegekette aufgesuchten Ziele und benutzten Verkehrsmittel zu bestimmen. Damit bleibt der Bezug zwischen den einzelnen Wegen einer Kette und der durchführenden Person erhalten. Die Entscheidungen, die bei jedem Weg der Wegekette getroffen werden, müssen in Form von Individualverhaltensmodellen beschrieben werden. Wegekettenmodelle sind somit *Individualverhaltensmodelle*.
- *Verkehrsstrommodelle* bestimmen die Verkehrsströme zwischen jeweils zwei Verkehrszellen. Verkehrsströme sind Verkehrsgrößen (Anzahlen von Personenwegen) und als solche Zufallsgrößen. Dabei geht der Zusammenhang zwischen dem einzelnen Weg und der gesamten Wegekette einer Person verloren. Verkehrsstrommodelle sind somit statistisch-beschreibende *Aggregatmodelle*.

5.4.4 Modellstrukturen

Da die Ausprägungen der einzelnen Wegemerkmale letztlich auf Verhaltensentscheidungen von Personen beruhen, wird der Entscheidungsablauf in einzelnen Stufen mittels Teilmodellen abgebildet:

- *Verkehrserzeugungsmodelle* bestimmen das Verkehrsaufkommen. In Verkehrsstrommodellen wird der Quellverkehr Q_i jeder Verkehrszelle in Abhängigkeit von den Siedlungsstrukturgrößen bestimmt. In Wegekettenmodellen werden die Aktivitäten- oder Wegemuster für einzelne Personen oder Personengruppen ermittelt;
- *Verkehrszielwahl- oder Verkehrsverteilungsmodelle* ordnen jedem Weg ein Ziel j zu;
- *Verkehrsmittelwahl- oder Modal-Split-Modelle* bestimmen für jeden Weg ein Verkehrsmittel m;
- *Verkehrswegewahl- oder Umlegungsmodelle* ermitteln die Routen r in den einzelnen Verkehrsnetzen und die Belastungen der Netzelemente.

Die Entscheidungen, die in den vier Modellstufen nachgebildet werden, fallen erfahrungsgemäß nicht immer in dieser Reihenfolge. Deshalb sind unterschiedliche Modellstrukturen möglich.

Sequentielle Modellstruktur („Vierstufen-Algorithmus“)

Bei dieser Modellstruktur wird bei Aggregatmodellen der Quellverkehr Q_i jeder Verkehrszelle i schrittweise in Teilströme aufgeteilt, bei Wegekettenmodellen werden zu einem in Verkehrszelle i beginnendem Weg schrittweise bedingte Wahrscheinlichkeiten ermittelt, und zwar

- in der *Verkehrsverteilung* (Verkehrszielwahl) die Quelle-Ziel-Ströme

$$F_{ij} = Q_i \cdot p_{j|i} \tag{5.6}$$

sodann im *Modal-Split* (Verkehrsmittelwahl) die verkehrsmittelspezifischen Quelle-Ziel-Ströme

$$F_{ijmr} = F_{ij} \cdot p_{m|i,j} \tag{5.7}$$

und danach in der *Verkehrsumlegung* (Verkehrswegewahl) die elementaren Routenströme

$$F_{ijmr} = F_{ijm} \cdot p_{r|i,j,m} \tag{5.8}$$

Zusammengefasst kann diese Modellstruktur dargestellt werden durch die Beziehung

$$F_{ijmr} = Q_i \cdot p_{j|i} \cdot p_{m|i,j} \cdot p_{r|i,j,m} \tag{5.9}$$

Die Faktoren $p_{j|i}$, $p_{m|i,j}$ und $p_{r|i,j,m}$ stellen *bedingte Wahrscheinlichkeiten* dar, beispielsweise $p_{r|i,j,m}$ die Wahrscheinlichkeit für die Wahl der Route r auf einem Weg („unter der Bedingung" eines Weges) von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j mit dem Verkehrsmittel m.

Es gelten die folgenden Randbedingungen:

$$\sum_j p_{j|i} = 1 \quad \text{bzw.} \quad \sum_j F_{ij} = Q_i \text{ für alle i} \tag{5.10}$$

$$\sum_m p_{m|i,j} = 1 \quad \text{bzw.} \quad \sum_m F_{ijm} = F_{ij} \text{ für alle (i,j)-Kombinationen} \tag{5.11}$$

$$\sum_r p_{r|i,j,m} = 1 \quad \text{bzw.} \quad \sum_r F_{ijmr} = F_{ijm} \text{ für alle (i,j,m)-Kombinationen} \tag{5.12}$$

Die Modellstruktur des Vier-Stufen-Algorithmus stellt einen Entscheidungsablauf der Verkehrsteilnehmer mit der Reihenfolge Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl dar. In der Realität sind bei verschiedenen Personen natürlich sehr unterschiedliche Entscheidungsfolgen vorzufinden, häufig werden diese Entscheidungen unbewusst und simultan getroffen. Häufig entfallen auch einzelne Entscheidungsschritte, z.B. die Verkehrsmittelwahl, weil nur ein Verkehrsmittel in Frage kommt. Insofern stellt der Vier-Stufen-Algorithmus auch nur ein formales Modell dar, das das Verhalten jedes einzelnen Verkehrsteilnehmers nicht kausal beschreiben kann.

Simultane Modellstrukturen

Es ist aber auch möglich, andere und insbesondere simultane Entscheidungsstrukturen mit Verkehrsstrommodellen darzustellen. Das wichtigste Beispiel hierfür ist die Modellstruktur mit *simultaner Verkehrsziel-/Verkehrsmittelwahl*, da zwischen diesen beiden Entscheidungen in der Realität besonders enge Abhängigkeiten bestehen. Die Modellstruktur lautet beispielsweise in diesem Fall

$$F_{ijm} = Q_i \cdot p_{j,m|i} \tag{5.13}$$

$$F_{ijmr} = F_{ijm} \cdot p_{r|i,j,m} \tag{5.14}$$

Dabei bedeutet

$p_{j,m|i}$ Wahrscheinlichkeit für die (gleichzeitige) Wahl der Verkehrszelle j als Ziel und des Verkehrsmittels m bei einem Weg mit Quelle in Verkehrszelle i.

$p_{r|i,j,m}$ wie oben

Es gelten die Randbedingungen:

$$\sum_j \sum_m p_{j,\,m|i} = 1 \quad \text{bzw.} \quad \sum_j \sum_m F_{ijm} = Q_i \text{ für alle i} \tag{5.15}$$

$$\sum_r p_{r|i,j,m} = 1 \quad \text{bzw.} \quad \sum_r F_{ijmr} = F_{ijm} \text{ für alle (i,j,m)-Kombinationen} \tag{5.16}$$

Es wurden auch Modelle konzipiert, die den gesamten Entscheidungsablauf in simultaner Form darstellen (direct demand models):

$$F_{ijmr} = N_i \cdot p_{ijmr} \quad (5.17)$$

5.5 Verkehrserzeugungsmodelle

5.5.1 Aufgabe von Verkehrserzeugungsmodellen

Verkehrserzeugungsmodelle haben die Aufgabe, das Verkehrsaufkommen, d.h. die Zahl der Wege zu ermitteln, die von der Bevölkerung einer Raumeinheit (Verkehrszelle) innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (z.B. eines Werktages) durchgeführt werden. Unter den Verkehrserzeugungsmodellen sind zwei Kategorien zu unterscheiden:

- *Raumaggregatmodelle* ermitteln den Quellverkehr einer Verkehrszelle mittels analytischer Funktionen in Abhängigkeit von deren Siedlungsstrukturgrößen wie Zahl der Einwohner, Beschäftigten etc.. Der Quellverkehr kann dabei nach Zweckkategorien und Tageszeit spezifiziert sein.
- *Individualverhaltensmodelle* beziehen sich auf eine Person (oder eine verhaltenshomogene Personengruppe) und ermitteln zunächst deren gesamte Aktivitäten- bzw. Wegekette eines Tages. Jeder Weg in der Kette ist dabei durch die Art der Aktivität und die Tageszeit charakterisiert. Die Quellen und Ziele der Wege müssen im weiteren Modellablauf erst ermittelt werden.

5.5.2 Raumaggregatmodelle

Die ersten mathematisch-statistischen Modelle zur Berechnung des Verkehrsaufkommens einer Verkehrszelle wurden mit Hilfe der Regressionsanalyse auf der Basis von Strukturgrößen (z.B. Einwohner, Beschäftigte) ermittelt (siehe z.B. Mäcke, 1963; Ruske u. Stelling, 1968). Bei diesen Modellansätzen handelt es sich im Allgemeinen um lineare Regressionsgleichungen der Form

$$Q_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_{i1} + \alpha_2 x_{i2} + ... + \alpha_m x_{im} + Z \quad (5.18)$$

mit

Q_i Quellverkehr der Verkehrszelle i
x_{ik} Strukturgröße k der Verkehrszelle i (z.B. Zahl der Einwohner, Beschäftigten)
α_0 konstantes Glied
α_k Regressionskoeffizient
Z Zufallsgröße

Das Modell kann anhand empirischer Werte aus Verkehrserhebungen für die Verkehrsgrößen Q_i (i=1,..., n) und die Strukturgrößen $x_{i1},..., x_{im}$, die in die Regressionsrechnung eingegeben werden, optimal an die realen Verhältnisse angepasst (kalibriert, „geeicht“) werden. Die Zahl n der Verkehrszellen muss dabei größer sein als die Zahl m der Regressionskoeffizienten.

Die Regressionsanalyse liefert dann Schätzwerte a_0, a_1,...a_m und s für das konstante Glied α_0, die Regressionskoeffizienten α_1,..., α_m sowie für die Standardabweichung σ der Zufallsabweichung Z. Das konstante Glied a_0 entspricht dem Verkehrsaufkommen für den Fall, dass alle Strukturgrößen gleich Null sind. Wenn der lineare Regressionsansatz logisch konsistent sein soll, so ist zu erwarten, dass in diesem Fall das konstante Glied nicht signifikant von Null verschieden ist, d.h. auf jeden Fall im 2s-Bereich liegt, also $|a_0| < 2s$. Eine andere Möglichkeit besteht deshalb darin, die

Regressionsgleichung von vornherein ohne konstantes Glied anzusetzen und nur die Regressionskoeffizienten zu kalibrieren. Die Regressionskoeffizienten $\alpha_1,...,\alpha_m$ können mit Hilfe des t-Tests auf ihre Existenz, d.h. Signifikanz ihrer Abweichung von Null, geprüft werden. Der Regressionskoeffizient α_k stellt die spezifische Wirkung der Strukturgröße x_k auf das Verkehrsaufkommen dar und kann als das spezifische Verkehrsaufkommen einer Einheit der entsprechenden Strukturgröße k (z.B. eines Einwohners) aufgefasst werden.

Die Nachteile dieser Modelle liegen zum einen darin, dass der Quellverkehr einer Verkehrszelle auch Wege von Besuchern, also von Bewohnern anderer Verkehrszellen enthält, und somit allein durch die Merkmale der Bevölkerungsstruktur der betrachteten Verkehrszelle hinsichtlich seiner kausalen Struktur nicht ausreichend dargestellt werden kann. Zum anderen lässt sich auf der Basis empirischer Werte für die Quell- bzw. Zielverkehre von Verkehrszellen nur die Variabilität des Verkehrsaufkommens zwischen diesen aggregierten Größen erklären, aber nicht die Unterschiede der Verkehrsnachfrage zwischen den Personen, die den weitaus größten Teil der Gesamtvariabilität ausmachen.

5.5.3 Individualverhaltensmodelle

Entsprechend dem Verständnis, dass das Verkehrsaufkommen die Summe der Wege von Personen darstellt, ist es sinnvoll, das Verkehrsaufkommen für einzelne Personen oder Personengruppen in Abhängigkeit von ihren soziodemographischen Merkmalen zu ermitteln. Wie einschlägige Untersuchungen gezeigt haben (Kutter, 1972; Hautzinger u. Kessel, 1977; Wermuth, 1978; Schmiedel, 1983), sind die Merkmale Alter, Geschlecht, Erwerbstätigkeit und Pkw-Verfügbarkeit signifikante Erklärungsvariablen für die individuelle Wegehäufigkeit.

Hinsichtlich des Beschreibungsansatzes lassen sich zwei Modelltypen unterscheiden, nämlich das Personengruppenmodell und das Individualfaktorenmodell.

Das in den letzten Jahrzehnten verbesserte Verständnis über Ursachen und Entstehung des Verkehrsverhaltens von Personen hat zu Modellen geführt, welche die Verkehrsnachfrage als Sekundärphänomen einer Aktivitätennachfrage an verschiedenen Orten im Raum verstehen und die demzufolge der Verkehrserzeugung aus einem *Aktivitätenmodell* ableiten. Die beiden folgenden Modelltypen wurden deshalb bei ihrer erstmaligen Anwendung für die Beschreibung der Aktivitätenhäufigkeit von Personen bzw. Personengruppen und nicht für deren Wegehäufigkeit entwickelt.

Personengruppenmodell

Infolge der beschriebenen Abhängigkeit lassen sich mit Hilfe von sozio-demographischen Merkmalen Personengruppen so abgrenzen, dass zwischen Personen verschiedener Gruppen möglichst große Verhaltensunterschiede bestehen, während Personen derselben Gruppe möglichst ähnliches Verhalten aufweisen. Die Abgrenzung solcher *verhaltenshomogenen Personengruppen* erfolgt mittels spezieller statistischer Trennverfahren (Clusteranalyse, Faktorenanalyse) und hängt ab von den Verhaltensvariablen, die als Trennkriterium herangezogen werden. Bei diesem Konzept wird jede Person aufgrund ihrer objektiven Merkmale einer bestimmten Personengruppe g zugeordnet und durch Mittelbildung von Mobilitätswerten der Personen dieser Gruppe ein „mittleres“ Verhalten bestimmt.

Das Verkehrsaufkommen der Bevölkerung der Verkehrszelle i lässt sich dann berechnen aus der Beziehung

$$F_i = \sum_g f_g \cdot n_{gi} \quad (5.19)$$

mit

F_i erzeugter Verkehr der Bevölkerung der Verkehrszelle i

n_{gi} Anzahl der Personen der Personengruppe g in Verkehrszelle i

f_g spezifische Wegehäufigkeit einer Person der Personengruppe g

Die *Kalibrierung* dieses Modells anhand empirischer Daten erfordert die Abgrenzung verhaltensähnlicher Personengruppen g mit Hilfe einer *Clusteranalyse* und die Bestimmung der spezifischen Wegehäufigkeit f_g jeweils als Mittelwert aller Personen der Gruppe g, über die empirische Werte vorliegen.

Modelle dieser Art wurden von Kutter (1972) und Schmiedel (1983) kalibriert. So verwendet Schmiedel beispielsweise die je Tagesstunde von einer Person zu Aktivitäten von acht aushäusigen Aktivitätenkategorien verbrachte Dauer (in Minuten) und leitet daraus sieben Personenkategorien ab, die aus den Merkmalen Erwerbstätigkeit, Geschlecht und Pkw-Besitz gebildet sind (siehe Tab. 5.1 und Tab. 5.2).

Das Personengruppenkonzept, also die Segmentierung der Bevölkerung nach Verhaltensunterschieden, ist allgemein anwendbar und empfiehlt sich nicht nur für die Verkehrserzeugung, sondern auch für die anderen Teilmodelle. Allerdings stößt das Verfahren hinsichtlich der Anzahl der Personengruppen sehr schnell

Tabelle 5.1 Mittlere Mobilitätswerte der Personenkategorien. (Schmiedel, 1983)

k	Personalkategorie	Anteil von Personen in der Stichprobe	Mittlere Wegehäufigkeit	Anteil der immobilen Personen	Mittlere Wegehäufigkeit der Mobilen
1	Erwerbstätige Männer und Frauen mit Pkw	28,1	3,52	0,07	3,78
2	Erwerbstätige Männer ohne Pkw	6,5	2,76	0,11	3,10
3	Erwerbstätige Frauen ohne Pkw	11,0	2,90	0,12	3,30
4	Studenden	2,1	3,38	0,13	3,87
5	Schüler und Lehrlinge	19,9	3,01	0,09	3,32
6	Sonstige Nichterwerbstätige mit Pkw	4,4	2,86	0,21	3,63
7	Sonstige Nichterwerbstätige ohne Pkw	28,0	2,17	0,31	3,13
		100,0	2,78	0,16	3,42

Tabelle 5.2 Wegeketten AF_i und ihre relativen Häufigkeiten h_i. (Schmiedel, 1983)

	Aktivitätenfolgen	Erwerbstätige mit Pkw	Erwerbstätige ohne Pkw	Teilerwerbstätige	Auszubildende	Schüler	Hausfrauen, Rentner mit Pkw	Hausfrauen, Rentner ohne Pkw
i	AF_i	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7
1	1*	7,1	10,9	12,2	12,7	9,3	21,5	31,3
2	12	1,6	2,2	1,2	0,5	-	0,6	-
3	121	28,2	41,6	29,4	3,3	3,7	3,3	2,2
4	12121	1,8	1,8	1,9	-	-	-	-
5	12151	4,0	2,7	6,6	0,6	-	-	0,5
6	1215171	0,7	-	0,6	-	-	-	-
7	1217	0,6	0,6	-	-	-	-	-
8	12171	5,3	4,5	3,3	1,3	1,0	-	-
9	12321	2,0	1,5	-	-	-	-	-
10	1251	1,4	1,1	3,4	-	-	-	-
11	12521	0,6		1,1	-	-	-	-
12	1271	0,9	0,6	0,9	-	-	-	-
13	12721	3,9	3,4	2,9	-	0,5	0,5	-
14	1272171	1,0	-	-	-	-	-	-
15	12771	0,6	0,6	0,5	-	-	-	-
16	141	-	-	-	17,5	33,5	-	-
17	14141	-	-	-	0,9	1,8	-	-
18	14151	-	-	-	1,5	5,3	-	-
19	1415171	-	-	-	1,0	1,4	-	-
20	1417	-	-	-	0,7	0,5	-	-
21	14171	-	-	-	5,6	13,2	-	-
22	1417171	-	-	-	0,8	1,7	-	-
23	141771	-	-	-	0,5	0,8	-	-
24	1451	-	-	-	1,0	-	-	-
25	1471	-	-	-	1,0	-	-	-
26	14741	-	-	-	1,1	1,6	-	-
27	151	2,4	2,6	5,8	3,9	2,0	18,5	25,9
28	15121	0,6	0,5	2,1	-	-	-	-
29	15141	-	-	-	0,7	-	-	-
30	15151	-	-	1,2	1,0	-	3,8	4,3
31	1515171	-	-			-	1,2	0,8
32	15171	0,5	0,6	1,3	2,0	0,9	6,1	5,2
33	1517171	-	-	-	-	-	1,3	-
34	1551	0,6	-	1,1	0,7	-	3,2	3,3
35	155171	-	-	-	-	-	1,2	0,7
35	15551	-	-	-	-	-	1,0	0,6
37	1571	-	-	-	-	-	0,8	0,7
38	17	-	-	-	1,1	-	1,1	0,8
39	171	1,8	1,9	2,0	2,6	2,8	6,8	6,4
40	17151	-	-	-	-	-	1,7	1,0
41	1715171	-	-	-	-	-	0,6	-
42	17171	0,6	0,6	-	0,7	1,0	2,7	1,4
43	1717171	-	-	-	-	-	0,5	-
44	1751	-	-	-	-	-	0,5	0,5
45	1771	-	-	-	-	-	0,5	-
	Σh_i	66,3	77,6	77,5	62,7	81,0	77,5	85,8
	Anzahl AF_i	21	17	18	24	17	21	16

* 1 = Zuhause
2 = Arbeitsplatz
3 = Dienstgeschäft
4 = Ausbildung
5 = Einkaufen
7 = Sonstiges

an seine Grenzen, da bei Segmentierung in stark differenzierte Personengruppen die Gruppenbesetzung vor allem für Prognoserechnungen nur mit hohen Unsicherheiten abgeschätzt werden kann und so die höhere Genauigkeit einer differenzierteren Verhaltensbeschreibung wieder zunichte gemacht wird.

Individualfaktorenmodell

Ein anderes Konzept zur Quantifizierung der individuellen Wegehäufigkeit geht davon aus, dass jede Ausprägung der relevanten soziodemographischen Merkmale eine bestimmte Wirkung (Effekt) auf das Verkehrsverhalten ausübt. Diesem Konzept zufolge kann dann die individuelle Wegehäufigkeit als Überlagerung der spezifischen (positiven oder negativen) Effekte der jeweiligen Ausprägungen der Einflussmerkmale, der so genannten Faktoren, dargestellt werden.

Das Individualfaktorenmodell (auch: Modell linearer Effekte) lautet im Fall von zwei Einflussmerkmalen (Faktoren)

$$f_{kl} = \mu + \alpha_k + \beta_l + \gamma_{kl} + \varepsilon \qquad (5.20)$$

mit

- f_{kl} Wegehäufigkeit einer Person mit den Ausprägungen k und l der zwei Faktoren
- μ Mittelwert
- α_k Effekt der k-ten Ausprägung des ersten Faktors
- β_l Effekt der l-ten Ausprägung des zweiten Faktors
- γ_{kl} Wechselwirkungseffekt zwischen den Faktoren
- ε $(0,\sigma^2)$ – normalverteilter Zufallseffekt

In der *Kalibrierung* des Modells werden aus empirischen Daten über die Wegehäufigkeit von Personen und ihren soziodemographischen Merkmalen, beispielsweise aus Haushaltsbefragungen, mit Hilfe der *Varianz- und Regressionsanalyse* Schätzwerte f, a_k, b_l, c_{kl} und s für den Mittelwert und die Effekte sowie für die Standardabweichung des Zufallseffekts ermittelt. Die spezifischen Effekte können positive oder negative Werte aufweisen und somit die Wegehäufigkeit um einen bestimmten Betrag vergrößern oder verringern. Meist zeigt der Signifikanztest der Effekte, dass die Wechselwirkungseffekte vernachlässigt werden können.

Das Verkehrsaufkommen der Bevölkerung der Verkehrszelle i lässt sich dann aus folgender Beziehung ermitteln:

$$F_i = f \cdot n_i + \sum_k a_k \cdot n_{ik*} + \sum_l b_l \cdot n_{i*l} \qquad (5.21)$$

mit

- F_i Verkehrsaufkommen der Verkehrszelle i
- n_i Bevölkerungszahl der Verkehrszelle i
- n_{ik*} Zahl der Personen in Klasse k des ersten Merkmals (z.B. Altersklasse) in Verkehrszelle i
- n_{i*l} Zahl der Personen in Klasse l des zweiten Merkmals (z.B. Pkw-Verfügbarkeitsklasse) in Verkehrszelle i
- f Mittelwert der individuellen Wegehäufigkeit
- a_k Effekt der Klasse k des ersten Merkmals auf die Wegehäufigkeit
- b_l Effekt der Klasse l des zweiten Merkmals auf die Wegehäufigkeit.

Während das Personengruppenmodell auf durchschnittlichen Wegehäufigkeiten der Personengruppen aufbaut, zerlegt das Individualfaktorenmodell die Durchschnittswerte in einen Gesamtmittelwert und in die Effekte der Ausprägungen der einzelnen Einflussmerkmale. Das Individualfaktorenmodell baut auf den Wirkungen der einzelnen Faktoren auf. Da Wechselwirkungseffekte zwischen den Faktoren im Allgemeinen vernachlässigbar sind, brauchen die Besetzungen der Untergruppen n_{ikl} für das Modell nicht bekannt zu sein, sondern lediglich die Besetzungen der Hauptklassen n_{ik*} (Altersklassen) und n_{i*l} (Pkw-Ver-

fügbarkeitsklassen je Verkehrszelle i). Dieser Umstand hat im Hinblick auf die Anwendbarkeit der Modelle große Vorteile, da die Untergruppenbesetzungen oft nicht einmal für die Gegenwart bekannt sind und erst recht nicht für einen Prognosezeitpunkt. Das Individualfaktorenmodell eignet sich deshalb besonders für Prognosen, um die Wirkungen soziodemographischer Veränderungen auf die Verkehrsnachfrage abzuschätzen.

Das Individualfaktorenmodell (Wermuth, 1978) wurde zur Ermittlung der Aktivitätennachfrage für die vier Individualfaktoren Alter, Geschlecht, Berufstätigkeit und Pkw-Verfügbarkeit anhand eines umfangreichen Datenmaterials kalibriert (siehe Abb. 5.7). Durch Vergleich mit den Ergebnissen aus anderen Untersuchungsgebieten konnte die Übertragbarkeit der kalibrierten Effekte der Faktorenausprägungen auf andere Untersuchungsgebiete nachgewiesen werden. Ferner wurden Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den verschiedenen Aktivitäten (Verkehrszwecken) ermittelt, mit deren Hilfe aus den Aktivitätenhäufigkeiten die vollständigen Wegeketten aufgebaut werden können.

5.6 Individuelle Entscheidungsmodelle

5.6.1 Grundkonzeption mikroökonomischer Entscheidungsmodelle

Bei der Verkehrsziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl wählt der Verkehrsteilnehmer jeweils eine von mehreren Alternativen. Es wird also jeweils davon ausgegangen, dass der Verkehrsteilnehmer zwischen mindestens zwei Alternativen zu wählen hat.

Die Aufgabe der entsprechenden Modelle besteht darin, die Wahrscheinlichkeiten für die Wahl der einzelnen Alternativen durch den Verkehrsteilnehmer zu ermitteln. Diese Auswahlwahrscheinlichkeiten werden als *Entscheidungsfunktionen* dargestellt, deren Einflussvariablen zum einen die Merkmale der Alternativen und zum anderen die situativen Merkmale des Verkehrsteilnehmers sind. In allgemeinster Form ist ein *Entscheidungsmodell* somit darstellbar als

$$p_j^i = f(\mathbf{S}_i, \mathbf{X}_j) \tag{5.22}$$

mit

p_j^i Auswahlwahrscheinlichkeit für Alternative j durch einen Verkehrsteilnehmer i

f Entscheidungsfunktion

$\mathbf{S}_i$ Menge von Statusmerkmalen des Verkehrsteilnehmers i

$\mathbf{X}_j$ Menge von Merkmalen der Alternative j.

Es gilt für jeden Verkehrsteilnehmer i die Bedingung der vollständigen Wahrscheinlichkeit, d.h. dass er genau eine der Alternativen annimmt:

$$\sum_j p_j^i = 1 \tag{5.23}$$

Zur Beschreibung des individuellen Entscheidungsverhaltens eignet sich die aus der Mikroökonomie bekannte discrete choice theory (Entscheidungstheorie diskreter Alternativen) oder random utility theory (Stochastische Nutzentheorie). Das diesem Ansatz zugrunde liegende Verhaltensprinzip besteht darin, dass die Person die Alternative wählt, von der sie den höchsten Nutzen erwartet (Verhaltensprinzip des maximalen subjektiven Nutzens). Es geht von der Annahme aus, dass jeder Verkehrsteilnehmer i jeder Alternative j bewusst oder unbewusst einen bestimmten, subjektiv eingeschätzten Nutzen U_j^i zuordnet

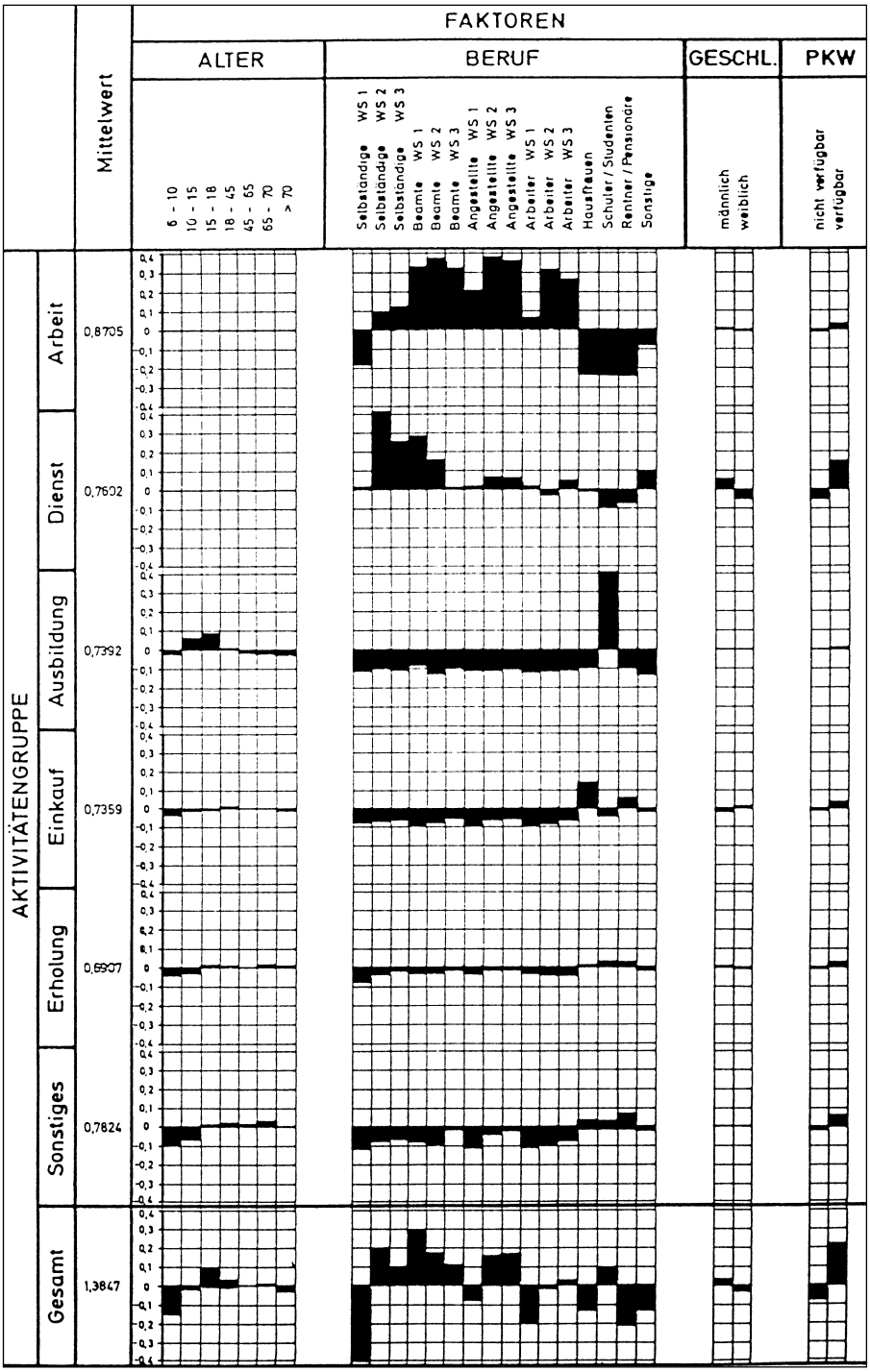


Abb. 5.7 Schätzwerte für die faktoriellen Haupteffekte auf die individuelle Aktivitätenhäufigkeit nach Aktivitätengruppen und auf die individuelle Aktivitätengesamtzahl. (Wermuth, 1978)

und diejenige der n verfügbaren Alternativen wählt, die den größten Nutzen aufweist.

Das zentrale Problem bei der Umsetzung dieses „subjektiv rationalen“ Verhaltensprinzips in ein mathematisches Modell ist die realitätsnahe Darstellung des subjektiven Nutzens in Form einer Wahrscheinlichkeitsfunktion. Unter bestimmten realistischen Annahmen darüber lassen sich dann die Auswahlwahrscheinlichkeiten der einzelnen Alternativen ermitteln und so allgemein gültige Konzeptionen für Entscheidungsmodelle entwickeln.

5.6.2 Quantifizierung des subjektiven Nutzens

Zur Quantifizierung des subjektiven Nutzens geht man davon aus, dass eine Alternative j mit der Menge $\mathbf{X}_j$ von Qualitätsmerkmalen X_{1j}, X_{2j}, ... für alle Verkehrsteilnehmer einer soziodemographischen Personengruppe g mit der Menge $\mathbf{S}_g$ von situativen Merkmalen S_{1g}, S_{2g} ... einen bestimmten charakteristischen Nutzen u_{gj} aufweist. Für diesen *deterministischen* (objektiven) Nutzenanteil gilt also:

$$u_{gj} = u(\mathbf{S}_g, \mathbf{X}_j) \tag{5.24}$$

Bekanntlich schätzen jedoch verschiedene Personen mit denselben situativen Merkmalen den Nutzen einer Alternative subjektiv unterschiedlich ein, da nicht alle Personen über die wahren Eigenschaften einer Alternative gleichermaßen informiert sind oder/und die einzelnen Merkmale hinsichtlich ihrer Bedeutung unterschiedlich gewichten. Aus diesem Grund weicht der vom einzelnen Verkehrsteilnehmer i eingeschätzte *subjektive* Nutzen einer Alternative j vom objektiven Nutzen der entsprechenden Personengruppe g um einen zufallsabhängigen (stochastischen) Nutzenbetrag ab.

Somit kann der subjektive Gesamtnutzen U_{gj} den eine Person der Gruppe g der Alternative j zuordnet, als Zufallsgröße angesehen werden, für die gilt:

$$U_{gj} = u_{gj} + Z_{gj} \tag{5.25}$$

mit

U_{gj} Zufallsgröße des subjektiven Nutzens einer Alternative j für einen Verkehrsteilnehmer der Personengruppe g

u_{gj} deterministische (objektive) Nutzenkomponente

Z_{gj} Zufallsgröße der stochastischen Nutzenkomponente.

Z_{gj} weist dabei eine Wahrscheinlichkeitsverteilung $V_g(Z)$ auf mit dem Erwartungswert 0, also

$$E(Z_{gj}) = 0 \quad \text{für alle g und j.} \tag{5.26}$$

5.6.3 Probit-Modell

Im Folgenden wird auf den Index g der Personengruppe aus Übersichtlichkeitsgründen verzichtet, obwohl alle auftretenden Größen auf Personengruppen bezogen werden können und für jede Personengruppe als spezifisch anzusehen sind.

Zunächst wird der einfachste Fall mit zwei Alternativen (binominaler Fall) betrachtet, wie er beispielsweise bei der Verkehrsmittelwahl zwischen einer Pkw-Fahrt und der Fahrt mit einem öffentlichen Verkehrsmittel in der Praxis auftritt. Da aus der Erfahrung bekannt ist, dass subjektive Schätzfehler häufig normalverteilt sind, kann der stochastische Nutzenkomponente Z_j eine Normalverteilung mit Erwartungswert Null zugrunde gelegt werden:

$$Z_j \sim N(0,\sigma_j^2) \tag{5.27}$$

mit

σ_j^2 Varianz der stochastischen Nutzenkomponente der Alternative j

Wegen (5.25) sind dann auch die subjektiven Nutzen U_1 und U_2 der beiden Alternativen j (j = 1,2) normalverteilt

$U_1 = u_1 + Z_1 \sim N(u_1,\sigma_1^2)$

$U_2 = u_2 + Z_2 \sim N(u_2,\sigma_2^2)$

deren Wahrscheinlichkeitsverteilungen $f_1(u)$ und $f_2(u)$ in Abbildung 5.8 dargestellt sind.

Unter der Annahme, dass die Einschätzung des subjektiven Nutzens der beiden Alternativen unabhängig erfolgt, ist deren Differenz wiederum eine normalverteilte Zufallsgröße (Abb. 5.8)

$$U = U_1 - U_2 \sim N(\Delta u,\sigma^2) \tag{5.28}$$

mit dem Erwartungswert

$\Delta u = u_1 - u_2$

und der Varianz

$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$

Alternative 1 wird gewählt, wenn $U_1 > U_2$. Die Wahrscheinlichkeit dafür ergibt sich zu

$$\begin{aligned} p_1 &= P(U_1 > U_2) = \\ &= P(U_1 - U_2 > 0) = \\ &= P(U > 0) = \\ &= 1 - P(U \le 0) = \\ &= 1 - \Phi(-\Delta u/\sigma) = \\ &= \Phi(\Delta u/\sigma) \end{aligned} \tag{5.29}$$

Dabei stellt $\Phi(x)$ die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung dar:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} \exp(-t^2/2)\,dt \tag{5.30}$$

Ihr Wert kann für jeden vorgegebenen Wert x aus der entsprechenden statistischen Tabelle direkt abgelesen werden.

Das *Probit-Modell* liefert somit bei zwei Alternativen (binominales Probit-Modell) als Auswahlwahrscheinlichkeit für die Alternativen:

$$\begin{aligned} p_1 &= \Phi\left(\frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}\right) \\ p_2 &= 1 - \Phi\left(\frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}\right) \end{aligned} \tag{5.31}$$

Dabei ist

p_j Auswahlwahrscheinlichkeit für Alternative j

u_j deterministischer (objektiver) Nutzen der Alternative j

σ_j Varianz der stochastischen (subjektiven) Nutzenkomponente Z_j der Alternative j

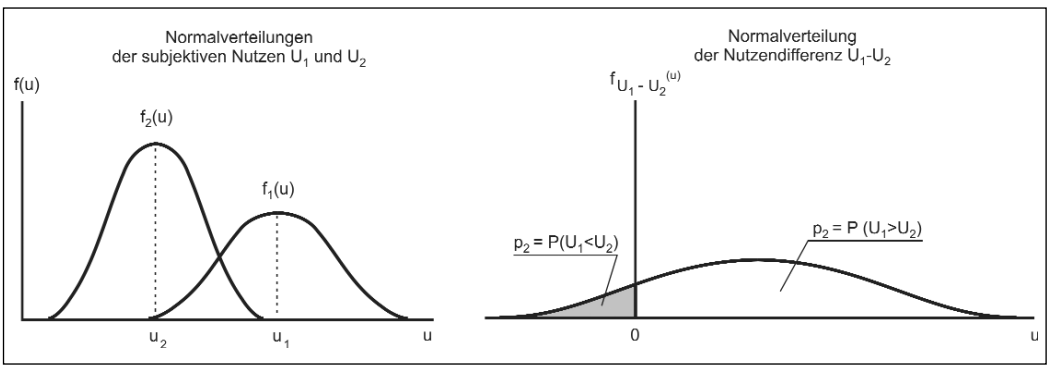


Abb. 5.8 Normalverteilungen subjektiver Nutzen sowie der Nutzendifferenz. (Eigene Darstellung)

Im *multinominalen* Fall von mehr als zwei Alternativen j = 1,...,n (n > 2) lässt sich die Auswahlwahrscheinlichkeit für eine bestimmte Alternative j über einen Zwischenschritt ermitteln, bei dem zunächst eine Approximation für die Wahrscheinlichkeitsverteilung des maximalen Nutzens $U_{max(j)}$ der übrigen Alternativen $k \neq j$

$$U_{max(j)} = \max_{k \neq j} (U_k) \tag{5.32}$$

vorgenommen wird. Mit Hilfe der Näherungsfunktionen von Clark (1961) kann die Verteilungsfunktion des maximalen Nutzens einer Menge von Alternativen, deren Nutzen normalverteilt sind, durch eine wiederum normalverteilte Zufallsvariable approximiert werden; d.h. im vorliegenden Fall

$$U_{max(j)} \sim N(u_{max(j)}, \sigma_{max(j)}) \tag{5.33}$$

wobei $u_{max(j)}$ den Erwartungswert und $\sigma_{max(j)}$ die Standardabweichung bezeichnen, die aus den Clark-Approximationsformeln ermittelt werden.

Die Auswahlwahrscheinlichkeit der Alternative j ergibt sich dann analog zum binomialen Fall, wobei nunmehr der Nutzen der Alternative j mit dem maximalen Nutzen $U_{max(j)}$ der übrigen Alternativen verglichen wird. Das liefert das zu (5.31) analoge *Multinominale Probit-Modell*

$$p_j^i = 1 - \Phi(x_j^i) \tag{5.34}$$

mit

$$x_j^i = \frac{u_j^i - u_{max(j)}^i}{\sqrt{\{(\sigma_j^i)^2 + (\sigma_{max(j)}^l)^2\}}} \tag{5.35}$$

Der Nachteil dieses Modells ist zweifellos der große Rechenaufwand im Anwendungsfall mit mehr als zwei Alternativen. Sparmann (1980) hat die Berechnung für drei Alternativen durchgeführt. Mit Hilfe der beschriebenen Approximation von Clark konnte das Modell für bis zu 8 Alternativen angewendet werden. Allerdings können dabei keine Genauigkeitsangaben gemacht werden, die Fehler sind möglicherweise beträchtlich.

5.6.4 Logit-Modell

Wenn mehr als zwei Alternativen zur Auswahl stehen (multinominaler Fall) lässt sich die Auswahlwahrscheinlichkeit einer bestimmten Alternative j auch mittels eines exakten Verfahrens ermitteln. Die Auswahlwahrscheinlichkeit p_j für die Alternative j ist dabei gleich der Wahrscheinlichkeit, dass der subjektive Nutzen U_j dieser Alternative größer oder gleich ist als der jeder anderen Alternative k, dass also für alle $k \neq j$ gilt:

$$\begin{aligned} p_j &= P\,(U_j \geq U_k,\ k = 1,...n,\ k \neq j) \\ &= \prod_{k \neq j} P(U_j \geq U_k) = \\ &= \prod_{k \neq j} P(u_j + Z_j \geq u_k + Z_k) \\ &= \prod_{k \neq j} P(Z_k \leq Z_j + u_j - u_k) \end{aligned} \tag{5.36}$$

Geht man zunächst allgemein davon aus, dass die stochastischen Nutzenkomponenten Z_k der n Alternativen k (k = 1, ..., n) jeweils nach der Wahrscheinlichkeitsdichte $f_k(x)$ bzw. der Verteilungsfunktion $F_k(x)$ verteilt sind, so kann wegen

$P(Z_k \leq Z_j + u_j - u_k) = F_k\,(Z_j + u_j - u_k)$

für p_j geschrieben werden

$$p_j = \prod_{k \neq j} F_k(Z_j + u_j - u_k) \tag{5.37}$$

Da die Auswahlwahrscheinlichkeit p_j noch vom Zufallsnutzen Z_j abhängt, der seinerseits der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f_j(z)$ unterliegt, lässt sich die Wahrscheinlichkeit für die Wahl der Alternative j ermitteln zu

$$p_j = \int_{-\infty}^{\infty} f_j(z) \prod_{k \neq j} F_k(z + u_j - u_k)\, dz \qquad (5.38)$$

Für das Weitere wird angenommen, dass die stochastischen Nutzenkomponenten Z_κ aller Alternativen k und j derselben *Gumbel-Verteilung* unterliegen mit der Verteilungsfunktion

$$F(z) = e^{-e^{-\alpha z - \beta}} \qquad (5.39)$$

und der Wahrscheinlichkeitsdichte

$$F(z) = \frac{dF}{dz} = \alpha e^{-\alpha z - \beta} \cdot e^{-e^{-\alpha z - \beta}} \qquad (5.40)$$

Der Erwartungswert von Z beträgt E(Z) = 0 und der Parameter α ist reziprok zur Standardabweichung σ

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}\,\sigma} \qquad (5.41)$$

Damit erhält man

$$p_j = \int_{-\infty}^{\infty} \alpha e^{-\alpha z - \beta} \cdot e^{-e^{-\alpha z - \beta}} \cdot \prod_{k \neq j} e^{-e^{-\alpha(z + u_j - u_k) - \beta}} dz$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \alpha e^{-\alpha z - \beta} \cdot \prod_{k=1}^{n} e^{-e^{-\alpha z - \beta} \cdot e^{-\alpha(u_j - u_k)}} dz$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \alpha \cdot e^{-\alpha z - \beta} \cdot e^{-e^{-\alpha z - \beta} \cdot \sum_k e^{\alpha(u_k - u_j)}} dz$$

Führt man eine Hilfsvariable

$$y = e^{-c \cdot e^{-\alpha z - \beta}}$$

mit

$$e = \sum_{k=1}^{n} e^{\alpha(u_k - u_j)}$$

ein, deren Ableitung lautet

$$\frac{dy}{dz} = c\alpha \cdot e^{-\alpha z - \beta} \cdot e^{-c \cdot e^{-\alpha z - \beta}}$$

so erkennt man, dass das Integral die Ableitung von y enthält und somit für das Integral gilt:

$$p_j = \frac{1}{c}[y]_{-\infty}^{+\infty} =$$

$$= \frac{1}{c} =$$

$$= \frac{1}{\sum_k e^{\alpha(u_k - u_j)}} =$$

$$= \frac{e^{\alpha u_j}}{\sum_k e^{\alpha u_k}}$$

Somit liefern die Gumbel-verteilten Zufallsnutzen das *Multinominale Logit-Modell (MNL-Modell)*

$$p_j = \frac{e^{\alpha u_j}}{\sum_{k=1}^{n} e^{\alpha u_k}} \qquad (5.42)$$

mit

u_k deterministischer (objektiver) Nutzen der Alternative k

α Konstante

Die Konstante α hängt ab von der Standardabweichung der Gumbel-Verteilung (siehe Abb. 5.9).

Dieses Modell ist das in der Praxis gebräuchlichste Entscheidungsmodell, da es sich für beliebig viele Alternativen eignet und durch seine einfache Handhabung besticht. Das Probit-Modell weist bei zwei Alternativen gegenüber dem Logit-Modell einen größeren Flexibilitätsgrad auf infolge der Möglichkeit, dass für verschiedene Alternativen oder Perso-

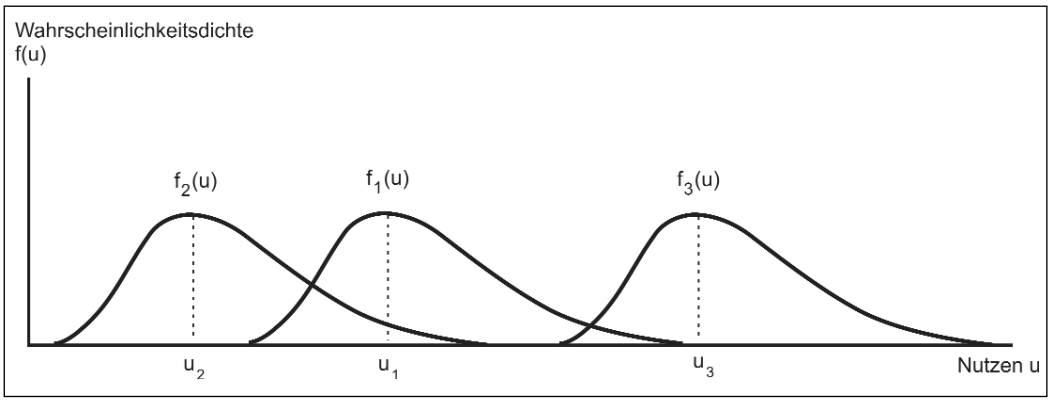


Abb. 5.9 Gumbel-Verteilungen subjektiver Nutzen. (Eigene Darstellung)

nenkategorien die stochastischen Nutzenkomponenten – zur Darstellung der subjektiv unterschiedlichen Bewertung des Nutzens – unterschiedlich große Streuungen berücksichtigt werden können. Dieser Möglichkeit kommt hinsichtlich der logischen Konsistenz des Modells größere Bedeutung zu als dem Unterschied der funktionalen Gestalt der Normal- bzw. Gumbel-Verteilung der stochastischen Nutzenkomponente.

5.6.5 Hierarchisches Logit-Modell (HL-Modell, Nested-Logit-Modell)

Das Logit-Modell (5.42) setzt voneinander unabhängige, subjektive Nutzen der zur Auswahl stehenden Alternativen voraus. Diese Voraussetzung trifft jedoch oft nicht zu, wenn sich Gruppen von ähnlichen Alternativen unterscheiden lassen, zwischen den Gruppen aber größere Unterschiede bestehen.

So liefert beispielsweise das simultane Ziel-Verkehrsmittelwahlmodell die doppelte Auswahlwahrscheinlichkeit für ein Ziel, zu dem zwei öffentliche Verkehrsverbindungen Bus und Straßenbahn bestehen, als zu einem Ziel mit nur einer öffentlichen Verbindung, obwohl für den Nutzer eine zweite ÖV-Verbindung keinen nennenswerten zusätzlichen Nutzen aufweist. In solchen Fällen bestehen zwischen den Nutzen der Alternativen der beiden Ebenen, hier also der Ziele und der Verkehrsmittel, stochastische Abhängigkeiten.

Der subjektive Gesamtnutzen der Wahl zweier verbundener Alternativen j auf der ersten und m auf der zweiten Ebene stellt sich dann dar als

$$U_{jm} = u_j + u_m + u_{jm} + Z_j + Z_{jm} \qquad (5.43)$$

mit

u_j, u_m deterministischer Teilnutzen der Alternative j bzw. der Alternative m

u_{jm} deterministischer Teilnutzen der Kombination der Alternativen j und m

Z_j, Z_{jm} stochastische Nutzenkomponente der Alternative j bzw. stochastische Nutzenkomponente der Alternativen-Kombination (j,m).

Die stochastische Nutzenkomponente Z_m existiert nicht, da angenommen wird: $\sigma_{Zm} = 0$.

Der bedingte Nutzen der Alternative m der zweiten Ebene bei bereits erfolgter Wahl der Alternative j auf der ersten Ebene ist

$$U_{m|j} = u_m + u_{jm} + Z_{jm} \qquad (5.44)$$

Dabei wird angenommen, dass die Zufallskomponenten Z_j Gumbel-verteilt sind mit Erwartungswert Null und Varianz σ_1^2 und dass die Zufallskomponenten Z_{jm} ebenso Gumbelverteilt sind mit Erwartungswert Null und Varianz σ_2^2.

Damit kann die bedingte Auswahlwahrscheinlichkeit $P(m|j)$ der Alternative m unter der Bedingung, dass Alternative j bereits gewählt wurde, nach dem MNL-Modell berechnet werden zu

$$p_{(m|j)} = \frac{e^{\alpha_2(u_m + u_{jm})}}{\sum_m e^{\alpha_2(u_m + u_{jm})}} = \frac{e^{\alpha_2 u_{m|j}}}{\sum_m e^{\alpha_2 u_{m|j}}} \quad (5.45)$$

In die Nutzenkomponenten u_{jm} gehen dabei nur die Nutzenelemente der Alternative m ein. Der maximale Nutzen der Alternative j besitzt den Erwartungswert

$$\begin{aligned} v_j &= E[\max_{im} (u_m + u_{jm} + Z_{jm})] \\ &= \frac{1}{\alpha_2} \ln \sum_m e^{\alpha_2(u_m + u_{jm})} \end{aligned} \quad (5.46)$$

Dabei ist gemäß (5.41)

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{\pi}{\sqrt{6}\ \sigma_1} \\ \alpha_2 &= \frac{\pi}{\sqrt{6}\ \sigma_2} \end{aligned} \quad (5.47)$$

Damit kann die Randwahrscheinlichkeit p_j, dass die Alternative j auf der ersten Ebene den maximalen stochastischen Nutzen aufweist und deshalb gewählt wird, berechnet werden zu

$$p_j = \frac{e^{\alpha_1(u_j + v_j)}}{\sum_j e^{\alpha_1(u_j + v_j)}} \quad (5.48)$$

wobei v_j den erwarteten maximalen Nutzen der Alternative j darstellt.

Die absolute Wahrscheinlichkeit p_{jm} für die Wahl der Alternative j auf der ersten und der Alternative m auf der zweiten Ebene ergibt sich dann zu

$$\begin{aligned} p_{jm} &= p_j \cdot p_{(m|j)} \\ &= \frac{e^{\alpha_1(u_j + v_j)}}{\sum_j e^{\alpha_1(u_j + v_j)}} \cdot \frac{e^{\alpha_2(u_m + u_{jm})}}{\sum_m e^{\alpha_2(u_m + u_{jm})}} \end{aligned} \quad (5.49)$$

In dem Fall, dass der stochastische Nutzen der Alternative m auf der zweiten Ebene unabhängig ist vom stochastischen Nutzen der Alternative m auf der zweiten Ebene, d.h. dass Z_j und Z_{jm} nicht korreliert sind, so wird $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ und damit (5.49) zu

$$p_{jm} = \frac{e^{\alpha(u_j + u_m + u_{jm})}}{\sum_{j,m} e^{\alpha(u_j + u_m + u_{jm})}} \quad (5.50)$$

Dieses Ergebnis entspricht dem Fall des multinominalen Logit-Modells auf einer Ebene.

5.7 Verkehrszielwahl- und Verkehrsverteilungsmodelle

5.7.1 Aufgabe

Die Aufgabe von Verkehrszielwahl- und Verkehrsverteilungsmodellen besteht darin, für die in einer Verkehrszelle i beginnenden Wege von Verkehrsteilnehmern die entsprechenden Verkehrszellen j als Ziele zu bestimmen:

– Bei den *Verkehrsstrommodellen* geht es darum, die Verkehrsströme F_{ij} von den Quellen i zu den Zielen j zu bestimmen, den

Quellverkehr Q_i jeder Verkehrszelle i also auf die Zielverkehrszellen j zu „verteilen“ *(Verkehrsverteilungsmodell)*. Die Matrix (F_{ij}) der Quelle-Ziel-Ströme heißt *Quelle-Ziel-Matrix* oder Verkehrsmatrix.

– Bei *Individualverhaltensmodellen* ist für einen bestimmten Verkehrsteilnehmer die Wahrscheinlichkeit $p_{j|i}$ für die Auswahl der Zielverkehrszelle j bei einem Weg von Quelle i aus zu ermitteln *(Verkehrszielwahlmodell)*.

Die Entwicklung der Verkehrsmodelltheorie in den letzten Jahrzehnten lässt sich insbesondere am Beispiel der Ermittlung der Quelle-Ziel-Ströme verdeutlichen. Ende des 19. Jahrhunderts bereits wurden Modelle in Analogie zu Newtons Gravitationsgesetz konzipiert *(Gravitationsmodelle)*, die bis in die siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts dominierten. Entscheidende Neuentwicklungen waren in den sechziger Jahren die allgemeiner gültigen Konzepte der Entropiemaximierung oder der Informationsminimierung *(Entropiemodelle)*, die in der Physik als statistische Theorien weit verbreitet sind. Die Entropiemodelle sind zwar wie die Gravitationsmodelle Verkehrsstrommodelle, ihrem Charakter entsprechend also makroskopische Modelle, sie haben jedoch eine mikroskopische Kausalstruktur. Der entscheidende Schritt in der Entwicklung mikroskopischer Individualverhaltensmodelle gelang in den siebziger Jahren mit Hilfe der mikroökonomischen Entscheidungstheorie diskreter Alternativen und der Entwicklung der *Nutzenmaximierungsmodelle*.

Verkehrsstrommodelle zur Verkehrsverteilung sind Aggregatmodelle und teilen die Quellverkehre Q_i der Verkehrszellen auf die möglichen Ziele auf. Deshalb müssen die gesuchten Verkehrsströme F_{ij} die Randbedingungen erfüllen:

$$\sum_j F_{ij} = Q_i \qquad \text{für alle } i = 1,...,m \tag{5.51}$$

Das mathematische Problem besteht somit darin, die m·n Elemente F_{ij} der Verkehrsmatrix aus dem gegebenen Vektor der m Randsummen Q_i und aus der gegebenen (m·n)-Matrix (w_{ij}) der Widerstände zwischen den Verkehrszellen *(Widerstandsmatrix)* zu ermitteln. Von der unbegrenzten Zahl von Lösungsmöglichkeiten wird nicht etwa das *Systemoptimum* gesucht, d.h. die Lösung, die den Gesamtwiderstand W aller Verkehrsströme minimiert,

$$W = \sum_{i,j} F_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \text{Min!} \tag{5.52}$$

sondern diejenige Lösung, die dem tatsächlichen Verhalten der Verkehrsteilnehmer am besten entspricht, d.h. welche die Summe der quadratischen Abweichungen der mittels Modell berechneten Verkehrsströme F_{ij} von den entsprechenden empirischen Werten $\hat{F}_{ij}$ minimiert:

$$\sum_{i,j} (F_{ij} - \hat{F}_{ij})^2 \rightarrow \text{Min!} \tag{5.53}$$

5.7.2 Gravitationsmodelle

Offenes Gravitationsmodell

Die ersten Verkehrsverteilungsmodelle wurden in Analogie zu Newtons Gravitationsgesetz der Mechanik konzipiert. In allgemeiner Schreibweise lautet das Modell

$$F_{ij} = c \cdot Q_i \cdot A_j \cdot f(w_{ij}) \tag{5.54}$$

mit

F_{ij} Verkehrsstrom von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j
c Konstante
Q_i Quellverkehr der Verkehrszelle i

A_j Attraktivität der Zielgelegenheiten in der Verkehrszelle j

w_{ij} Widerstand (verallgemeinerte Kosten) eines Weges oder einer Fahrt von i nach j

f(w) Akzeptanzfunktion eines Weges (Fahrt) mit dem Widerstand w (auch: Widerstandsfunktion, Aufwandsfunktion).

In Newtons Gravitationsgesetz entsprechen c der Gravitationskonstanten, F der Anziehungskraft, Q und A den Massen und f der Entfernungsfunktion $f(w) = l/w^2$.

Im Gravitationsmodell zur Bestimmung der Verkehrsströme zwischen den Verkehrszellen kommt der *Akzeptanzfunktion* die Aufgabe zu, die mit zunehmendem Raumwiderstand abnehmende Bereitschaft zur Annahme eines Ziels zu beschreiben. Die Anpassung an empirische Verkehrsnachfragedaten führte zu einer Vielzahl von Akzeptanzfunktionen, von denen eine Auswahl hier aufgeführt sei (siehe Abb. 5.10):

$f(w) = \exp(-\alpha w)$ $(\alpha > 0)$

$f(w) = w^{-\alpha}$ $(\alpha > 0)$

$f(w) = w^{-\alpha}\exp(-\beta w)$ $(\alpha > 0, b > 0)$

$f(w) = \exp(-\alpha w^2)$ $(\alpha > 0)$

Die Verhaltensparameter α und β in den verschiedenen Widerstandsfunktionen hängen von den Merkmalen der Verkehrsteilnehmer (Personengruppe) sowie vom Verkehrszweck ab.

Der Widerstand w_{ij} stellt ein generalisiertes Maß für den Wegeaufwand einer Ortsveränderung von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j dar, der als gewichtete Summe mehrerer Aufwandskomponenten angesehen werden kann, z.B. von Zeitaufwand, Kosten etc., in der Form

$$w_{ij} = a \cdot t_{ij} + b \cdot k_{ij} + ... \qquad (5.55)$$

mit

w_{ij} Wegeaufwand, generalisierter Widerstand

t_{ij} Zeitaufwand im Verkehrsnetz

k_{ij} Fahrtkosten

a Aufwand pro Zeiteinheit

b Aufwand pro Entfernungseinheit

Mit der Konstanten c im Modell (5.54) können nicht alle m Randbedingungen (5.51) erfüllt werden, sondern nur die Gesamtsummenbedingung

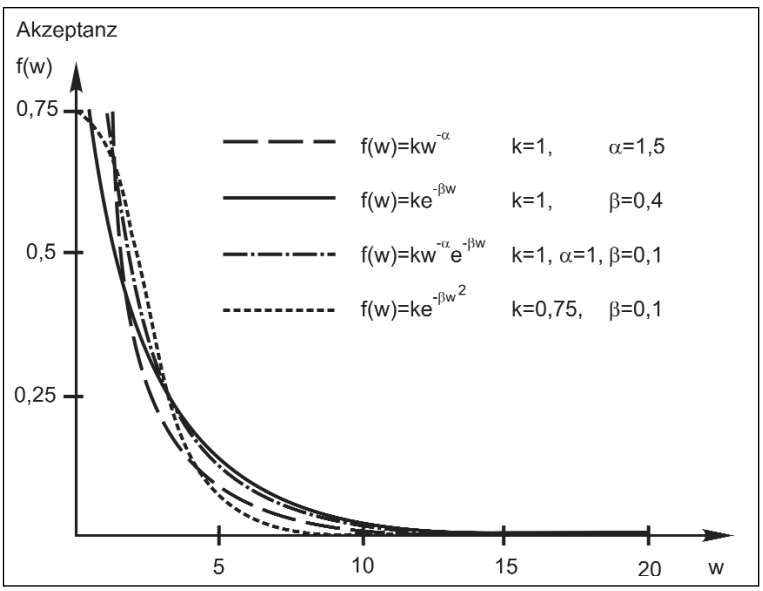


Abb. 5.10 Akzeptanz- oder Widerstandsfunktionen. (Eigene Darstellung)

$$\sum_{i,j} F_{ij} = \sum_{i} Q_i = F \qquad (5.56)$$

Aus dieser Bedingung ermittelt sich die Konstante zu

$$c = \frac{F}{\sum_{i,j} Q_i A_j \, f(w_{ij})} \qquad (5.57)$$

und das *offene Gravitationsmodell* lautet

$$F_{ij} = F \frac{Q_i A_j \, f(w_{ij})}{\sum_{i,j} Q_i A_j \, f(w_{ij})} \qquad (5.58)$$

Quellgekoppeltes Gravitationsmodell

In der Form (5.54) erfüllt das Gravitationsmodell nicht die Bedingung der logischen Konsistenz, da die Randbedingungen (5.51) nicht erfüllt sind. Die Randbedingungen sind jedoch dann erfüllbar, wenn jeder Verkehrszelle i eine eigene Konstante

$$c_i = \frac{1}{\sum_{j} A_j \, f(w_{ij})} \qquad (5.59)$$

zugeordnet wird. Man erhält so das *quellgekoppelte Gravitationsmodell*

$$F_{ij} = Q_i \cdot \frac{A_j \, f(w_{ij})}{\sum_{j} A_j \, f(w_{ij})} \qquad (5.60)$$

Die quellseitige Koppelung ist eine Forderung, die sich aus der logischen Konsistenz des Modells ergibt.

Die Inputgrößen A_j stellen dabei jeweils ein Maß für die *Attraktivität* der Verkehrszellen j für die Verkehrsteilnehmer dar. Im einfachen Fall des Berufsverkehrs kann beispielsweise die Anzahl der Beschäftigten als ein geeignetes Maß für die Attraktivität einer Verkehrszelle angenommen werden. Im Einkaufsverkehr werden oft die Anzahlen der Einzelhandelsbeschäftigten oder die Größe der Verkaufsflächen als Attraktivitätsmaße verwendet. Im Allgemeinen wird die Attraktivität A_j als Linearkombination mehrerer gewichteter Strukturgrößen S_{kj} der Verkehrszelle j angesetzt:

$$A_j = \beta_1 \cdot S_{1j} + \beta_2 \cdot S_{2j} + \ldots \qquad (5.61)$$

Das Verteilungsmodell muss auf der Basis von empirischen Strukturgrößen und Daten aus Verkehrserhebungen (z.B. Haushaltsbefragungen) kalibriert werden, d.h. für die Parameter β_1, β_2,... der Attraktivitätsfunktion und die Parameter α_1, α_2,... der Akzeptanzfunktion f(w) sind mit Hilfe regressionsanalytischer und meist iterativer Verfahren Schätzwerte nach der Minimierungsvorschrift (5.53) zu berechnen.

Nach Ermittlung der Verkehrsströme F_{ij} lassen sich die Zielverkehrsgrößen Z_j der Verkehrszellen berechnen zu

$$Z_j = \sum_{i} F_{ij} \qquad (5.62)$$

Häufig werden die empirisch ermittelten Zielverkehrsmengen Z_j aus der Verkehrserhebung als Attraktivitäten A_j zur Modellkalibrierung verwendet. Davor ist zu warnen, da im tatsächlichen Zielverkehr der Verkehrszellen der Einfluss ihrer Erreichbarkeit bereits enthalten ist, der durch die Akzeptanzfunktion im Modell berücksichtigt wird. Einer schlecht erreichbaren Verkehrszelle wird dadurch eine zu geringe Attraktivität und einer gut erreichbaren Verkehrszelle eine zu hohe Attraktivität zugeordnet. Die Attraktivitätsfunktion einer Verkehrszelle sollte nur die Attraktivität aufgrund ihrer Struktur und nicht aufgrund ihrer Lage repräsentieren.

Quell- und zielgekoppeltes Gravitationsmodell

In manchen Fällen sind die Zielverkehrsgrößen durch externe Bedingungen bestimmt, z.B. im Berufsverkehr durch die Zahlen der Arbeitsplätze bzw. Beschäftigten in den Verkehrszellen. In diesen Fällen sind neben den Quellverkehrsgrößen Q_i auch die Zielverkehrsgrößen Z_j bekannt, so dass neben den Randbedingungen (5.51) auch die folgenden Randbedingungen gelten müssen

$$F_{*j} = \sum_j F_{ij} = Z_j \quad \text{für alle } j = 1,...,n. \tag{5.63}$$

Wie im letzten Abschnitt erwähnt, dürfen die Attraktivitäten A_j im Modell (5.60) nicht einfach durch die Zielverkehrsgrößen Z_j ersetzt werden. Wie leicht nachvollziehbar ist, wären damit die Randbedingungen (5.62) im Allgemeinen nicht erfüllbar.

In diesem Fall reicht das Quellgekoppelte Modell (5.60) nicht aus, da die Verkehrsströme F_{ij} – und damit die Zielverkehre Z_j – nicht nur von den Attraktivitäten der Zielzellen und deren Erreichbarkeit von den Quellen i aus bestimmt werden, sondern auch von der Konkurrenz der Verkehrszellen als Quellen und deren Lage zu den Zielzellen abhängen. Dieser Konkurrenz entsprechend ist der Verkehrsstrom F_{ij} umso geringer, je besser die Verkehrszelle j von den anderen Verkehrszellen aus erreicht werden kann.

Dieser Konkurrenzeinfluss kann durch einen zusätzlichen Koeffizienten v_j für jede Zielverkehrszelle j beschrieben werden, so dass ein adäquater Modellansatz in diesem Fall anstelle von (5.54) lautet:

$$F_{ij} = u_i \cdot Q_i \cdot v_j \cdot Z_j \cdot f(w_{ij}) \tag{5.64}$$

Durch Einsetzen in die Randbedingungen (5.51 und (5.62) ergeben sich – bei vorgegebener Akzeptanzfunktion f(w) – die Iterationsgleichungen

$$u_i^{(k+1)} = \frac{1}{\sum_j v_j^{(k)} \cdot Z_j \cdot f(w_{ij})}$$

und

$$v_j^{(k)} = \frac{1}{\sum_i u_i^{(k)} \cdot Q_i \cdot f(w_{ij})} \tag{5.65}$$

aus denen mit den Startwerten $v_j^{(0)} = 1$ für alle j die Ausgleichskoeffizienten u_i und v_j so ermittelt werden können, dass alle Randbedingungen erfüllt sind. Dieses Modell wurde in Deutschland erstmals unter der Bezeichnung *Lagefaktorenmodell* (Wermuth, 1969) und *Modell bilinearer Gleichungen* (Kirchhoff, 1970) veröffentlicht.

Wenn man Modell (5.64) umformt zu

$$\frac{F_{ij}}{f(w_{ij})} = u_j Q_i \cdot v_j A_j \tag{5.66}$$

und über i und j summiert, erhält man die Beziehungen

$$u_i \sim \frac{1}{Q_i} \sum_j F_{ij} \cdot \frac{1}{f(w_{ij})} \quad \text{bzw.}$$

$$v_j \sim \frac{1}{Z_j} \sum_i F_{ij} \cdot \frac{1}{f(w_{ij})} \tag{5.67}$$

Wenn man berücksichtigt, dass $1/f(w_{ij})$ ein Widerstandsmaß darstellt, so lassen sich die Koeffizienten u_i als proportionale Größen des mittleren Widerstands interpretieren, den ein Verkehrsteilnehmer, der die Verkehrszelle i verlässt, auf seinem Weg zum Ziel leisten muss. Je ungünstiger die Lage einer Verkehrszelle als Quelle ist, desto größer wird u_i und damit jeder von Zelle i ausgehende Verkehrs-

strom, um die entsprechende Randbedingung zu erfüllen. Ebenso ist der Koeffizient v_j proportional zum mittleren Widerstand, den ein Verkehrsteilnehmer leistet, der auf seinem Weg das Ziel j wählt. Je ungünstiger die Lage der Verkehrszelle j als Zielzelle ist, desto größer wird v_j und damit jeder nach Zelle j führende Verkehrsstrom. Die Koeffizienten u_i und v_j charakterisieren somit die Erreichbarkeit der Verkehrszellen i und j als Quell- bzw. Zielzellen im Gesamtsystem und können als Lagefaktoren interpretiert werden. Sie gleichen die Qualität der Lage der Verkehrszellen unter dem Zwang der vorgegebenen Randbedingungen aus (Wermuth, 1969).

Die Iterationsgleichungen (5.65) lassen sich auch durch eine ersetzen. Geht man vom Quellgekoppelten Modell (5.60) aus und versieht man den Zielverkehr der Verkehrszelle j mit dem Lagefaktor v_j

$$F_{ij} = Q_i \cdot \frac{v_j Z_j \, f(w_{ij})}{\sum_j v_j Z_j \, f(w_{ij})} \qquad (5.68)$$

so lässt sich aus der Nebenbedingung (5.62) das Gleichungssystem für die v_j (j=1,...,n) ableiten, das in mehreren Iterationsschritten ν = 0,l,2,... gelöst werden kann:

$$v_j^{(k+1)} = 1/\sum_i \frac{Q_i \, f(w_{ij})}{\sum_j v_j^{(k)} Z_j f(w_{ij})} \qquad (5.69)$$

wobei mit den Startwerten $v_j^{(0)} = 1$ für alle j = l,...,n begonnen wird. Das Modell (5.68) erfüllt dann die Nebenbedingungen (5.51) und (5.62).

5.7.3 Entropiemodell

Eine weitere Herleitung des quell- und zielgekoppelten Verteilungsmodells ist möglich aus dem Prinzip der Entropiemaximierung. Dieses Prinzip geht von der aus der Physik bekannten Tatsache aus, dass sich ein abgeschlossenes physikalisches System von selbst in einen Gleichgewichtszustand begibt, in dem sich nach einer gewissen Relaxationszeit die Zustandsgrößen nicht mehr ändern. So ist beispielsweise aus der Thermodynamik bekannt, dass sich aufgrund dieses Prinzips ein Gas in einem Raum so verteilt, dass die Dichte überall gleich groß ist. Dieser Zustand ist deshalb viel wahrscheinlicher, da er aufgrund der zufälligen Teilchenbewegungen die größte Anzahl mikroskopischer Realisierungsmöglichkeiten besitzt.

Diesem Prinzip zufolge tritt beim viermaligen Werfen einer Münze mit größter Wahrscheinlichkeit der ausgeglichenste Zustand $n_Z = n_W = 2$, d.h. je zweimal Zahl (Z) und Wappen (W) auf, weil die Anzahl der Kombinationen (mikroskopische Realisierungsmöglichkeiten)

$$H(n_Z,n_W) = \frac{4!}{n_Z! \; n_W!}$$

für $n_Z = n_W = 2$ am größten ist. Es sind dies die Kombinationen ZZWW, ZWZW, ZWWZ, WZZW, WZWZ, WWZZ. Die Anzahl der Kombinationen beispielsweise für $n_Z = 3$ und $n_W = 1$ dagegen beträgt nur H = 4: ZZZW, ZZWZ, ZWZZ, WZZZ.

Der Zustand maximaler Entropie kann informationstheoretisch auch als der mit der geringsten Information gesehen werden, da die größte Ausgeglichenheit die geringste Aussagemöglichkeit – beispielsweise über das Eintreffen von Zahl oder Wappen beim Werfen einer Münze – zulässt.

Wilson (1967) geht im Rahmen der Verkehrsverteilung vom gesamten Verkehrsaufkommen

$$F = \sum_i \sum_j F_{ij} = \sum_i Qi = \sum_j Z_j \qquad (5.70)$$

aus und ermittelt unter den Nebenbedingungen (5.51) und (5.62) sowie der zusätzlichen Systembedingung

$$\sum F_{ij} \cdot w_{ij} = W = \text{const.} \qquad (5.71)$$

die Verkehrsströme $F_{ij} > 0$ nach dem Prinzip der maximalen Entropie. Die Systembedingung (5.71) bedeutet die Vorgabe, dass der gesamte von allen Verkehrsteilnehmern geleistete Widerstand (generalisierte Kosten) einen bestimmten Wert annehmen muss.

Die Zahl der möglichen Kombinationen, die F Wege in Einzelströmen der Stärke F_{11}, F_{12},..., F_{nn} zu bündeln, beträgt

$$H = \frac{F!}{F_{11}!\, F_{12}! \ldots F_{nn}!} = \frac{F!}{\prod_{i,j} F_{ij}} \qquad (5.72)$$

Unter der Prämisse, dass die Verkehrsteilnehmer unabhängig voneinander ihre Entscheidungen treffen, ist der Verteilungszustand der wahrscheinlichste, der die maximale Zahl an Kombinationen aufweist und somit H maximiert. Der Logarithmus von H wird mit *Entropie* bezeichnet und hat an derselben Stelle sein Maximum. Mit Hilfe der Stirlingschen Formel gilt für große F

$$\ln H \approx F \cdot \ln F - F - \sum_{ij} (F_{ij} \cdot \ln F_{ij} - F_{ij}) \qquad (5.73)$$

Da F eine vorgegebene konstante Größe ist, ist die Maximierung von H gleichbedeutend mit dem Minimierungsproblem

$$\sum_{i,j} (F_{ij} \cdot \ln F_{ij} - F_{ij}) \rightarrow \text{Min!} \qquad (5.74)$$

unter den Nebenbedingungen (5.51), (5.62) und (5.71).

Die Lösung dieses Optimierungsproblems kann mit Hilfe von Lagrange-Multiplikatoren erfolgen. Dazu wird die Lagrange-Funktion mit den Multiplikatoren λ_i, μ_j und α der auf Null gesetzten Nebenbedingungen (5.51), (5.62) und (5.71) gebildet [siehe unten Gleichung (5.75)] und ebenfalls minimiert. Als notwendige Bedingungen für die minimale Lösung erhält man

$$\frac{\partial \Phi}{\partial F_{ij}} = \ln F_{ij} + \lambda_i + \mu_j + \alpha \cdot w_{ij} = 0 \qquad (5.76)$$

und daraus für die Verkehrsströme

$$\begin{aligned} F_{ij} &= \exp(-\lambda_i - \mu_j - \alpha \cdot w_{ij}) \\ &= e^{-\lambda_i} \cdot e^{-\mu_j} \cdot e^{-\alpha w_{ij}} \\ &= u_i \cdot Q_i \cdot v_j \cdot Z_j \cdot e^{-\alpha w_{ij}} \end{aligned} \qquad (5.77)$$

mit

$$u_i = \frac{e^{-\lambda_i}}{Q_i} \quad \text{und} \quad u_i = \frac{e^{-\mu_j}}{Z_j}$$

Das Ergebnis des Entropiemodells liefert somit als Akzeptanzfunktion eine negative Exponentialfunktion

$$f(w) = e^{-\alpha w} \qquad (5.78)$$

Die Faktoren u_i und v_j sind wiederum iterativ aus den Randbedingungen mit den Iterationsgleichungen (5.65) zu ermitteln.

$$\Phi = \sum_{i,j} (F_{ij} \cdot \ln F_{ij} - F_{ij}) + \lambda_i \left(\sum_j F_{ij} - Q_i \right) + \mu_j \left(\sum_i F_{ij} - Z_j \right) + \alpha \left(\sum_{i,j} F_{ij} \cdot w_{ij} - W \right) \qquad (5.75)$$

5.7.4 Modell des minimalen Informationsgewinns (Fratar-Modell)

Mithilfe der Informationstheorie lässt sich der *Informationsgewinn* in Form der Veränderung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung infolge eines zusätzlichen Informationsangebotes quantifizieren. Der Informationsgewinn bei der Vorhersage des Eintretens eines Ereignisses mit der A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit p_1 im Vergleich zu einer A-Priori-Wahrscheinlichkeit p_0 berechnet sich zu

$$I(p_1,p_0) = \ln (p_1/p_0). \tag{5.79}$$

Betrachtet man die Wahrscheinlichkeit

$$p_{ij} = \frac{F_{ij}}{F} \tag{5.80}$$

dass ein Weg von allen F Wegen von Verkehrszelle i zu Verkehrszelle j führt und definiert mit q_{ij} die entsprechende relative Häufigkeit aus einer Erhebung, so lässt sich der Informationsgewinn darstellen als

$$I(p,q) = \sum_{ij} p_{ij} \ln(p_{ij}/q_{ij}). \tag{5.81}$$

Werden die Randbedingungen (5.51) und (5.61) ebenfalls umgeformt zu

$$\begin{aligned} \sum_j p_{ij} &= q_i \quad (= Q_i/F) \\ \text{und} & \\ \sum_i p_{ij} &= z_j \quad (= Z_j/F) \end{aligned} \tag{5.82}$$

so führt die Minimierung von I(p,q) unter den Randbedingungen zu dem Ergebnis

$$p_{ij} = a_i\, q_i\, b_j\, z_j\, q_{ij} \tag{5.83}$$

wobei die Koeffizienten a_i und b_j iterativ aus dem Gleichungssystem ermittelt werden:

$$\begin{aligned} a_i &= 1/\sum_j b_j z_j q_{ij} \\ b_j &= 1/\sum_i a_i q_i q_{ij} \end{aligned} \tag{5.84}$$

Dieses Ergebnis ist identisch mit der so genannten Fratar-Methode, nach der eine bekannte Verkehrsmatrix sukzessiv durch Anpassungsfaktoren a_i abwechselnd auf die Soll-Zeilensummen Q_i und durch b_j auf die Soll-Spaltensummen Z_j hochgerechnet wird.

5.7.5 Logit-Modell als individuelles Verkehrszielwahlmodell

Zur Ermittlung der Auswahlwahrscheinlichkeit $p_{j|i}$ der Verkehrszelle j als Ziel für eine Ortsveränderung einer bestimmten Person bei einem Weg von Zelle i aus bietet sich das multinominale Logit-Modell (5.38) an, da in diesem Fall eine große Zahl von Alternativen zur Auswahl stehen. Dazu sind die deterministischen Nutzenkomponenten u_{gj} für alle Alternativen j zu bestimmen. Geht man davon aus, dass sich einerseits in Verkehrszelle j A_j Nutzungsgelegenheiten als mögliche Ziele befinden und die Wahl jeder dieser Gelegenheiten für den Verkehrsteilnehmer den absoluten Bruttonutzen b aufweist, dass andererseits dieser Bruttonutzen durch den erforderlichen Wegeaufwand w_{ij} (Widerstand) gemindert wird, so stellt sich der deterministische (Netto-)Nutzen der Auswahl einer Gelegenheit in Verkehrszelle j dar als

$$u_j = b - \alpha\, w_{ij} \tag{5.85}$$

wobei α eine freie Konstante bezeichnet. Das Logit-Modell (5.42) liefert dann die Auswahl-

wahrscheinlichkeit für die Verkehrszelle j als Ziel eines Weges von Verkehrszelle i aus

$$p_{j|i} = \frac{A_j \, e^{b- \alpha w_{ij}}}{\sum_j A_j \, e^{b- \alpha w_{ij}}} \qquad (5.86)$$

und daraus

$$p_{j|i} = \frac{A_j \, e^{- \alpha w_{ij}}}{\sum_j A_j \, e^{- \alpha w_{ij}}} \qquad (5.87)$$

Unterstellt man, dass die Auswahlwahrscheinlichkeit für die Verkehrszelle j als Ziel bei jedem Weg des Quellverkehrs Q_i der Verkehrszelle i gleich ist, so berechnet sich der Verkehrsstrom von Verkehrszelle i zu Verkehrszelle j zu

$$F_{j|i} = Q_i \cdot \frac{A_j \, e^{- \alpha w_{ij}}}{\sum_i A_j \, e^{- \alpha w_{ij}}} \qquad (5.88)$$

mit

F_{ij} Quelle-Ziel-Verkehrsstrom von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j

Q_i Quellverkehr der Verkehrszelle i

A_j Zahl der Zielgelegenheiten in Verkehrszelle j

w_{ij} Verkehrsaufwand eines Weges von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j

Dieses Modell erfüllt definitionsgemäß die notwendigen Nebenbedingungen (5.51) und ist mit dem Quellgekoppelten Gravitationsmodell (5.60) formal identisch, wenn die Widerstandsfunktion f(w) in der Form geschrieben wird

$$f(w) = e^{-\alpha w} \qquad (5.89)$$

Die Voraussetzungen des Logit-Modells (vgl. Kap. B 5.6.4) führen somit – ebenso wie das Entropiemodell von Wilson (1967) – zu einer negativen Exponentialfunktion als Akzeptanzfunktion im Gravitationsmodell.

5.7.6 Widerstandsdefinition in Verkehrszielwahlmodellen

Der deterministische Nutzen

$$u_k = \beta_1 \, u_{k1} + \beta_2 \, u_{k2} + ... \qquad (5.90)$$

kann als Linearkombination von Nutzenkomponenten u_{ki} (z.B. Fußwegdauer, Wartezeit, Fahrtdauer, Kosten etc.) dargestellt werden. Er enthält bei Verkehrszielwahlmodellen in der Praxis häufig keine positiven, sondern lediglich negative Einzelnutzen, also nur Aufwandsgrößen zur Überwindung der räumlichen Distanz zwischen den Verkehrszellen. Der generalisierte Gesamtwiderstand zwischen zwei Verkehrszellen i und j kann somit dargestellt werden als

$$w_{ij} = \sum_k \alpha_k \cdot w_{ij}^{(k)} \qquad (5.91)$$

mit

α_k Gewichtungskoeffizient

$w_{ij}^{(k)}$ Widerstandkomponente zwischen Verkehrszellen i und j.

Bei Verkehrszielwahlmodellen stellt sich dabei die Frage nach der zweckmäßigsten Definition des Widerstands w_{ij} zwischen den Verkehrszellen, wenn der Verkehrsteilnehmer zwischen mehreren Verkehrsmitteln m (m = 1,2,...) mit unterschiedlichen Widerständen w_{ijm} wählen kann. In diesem Fall wird der wahlfreie Verkehrsteilnehmer den – in seiner subjektiven Sicht – minimalen Widerstand der verfügbaren Verkehrsmittel wählen. Da die Widerstände zufallsbedingten Schätzfehlern unterliegen, ist der zu erwartende Mittelwert des minimalen Widerstands (als negative deterministische

Nutzenkomponente) zu bestimmen. Wie sich einfach zeigen lässt, ist die Verteilung des Maximums der Gumbel-verteilten negativen Widerstände wiederum Gumbel-verteilt mit dem Erwartungswert

$$E(U_{max}) = \frac{1}{\mu} \ln \left[\sum_m \exp(u_{ijm}) \right] \qquad (5.92)$$

Als zweckmäßigste Definition für den gemeinsamen Widerstand aller Verkehrsmittel der Beziehung (i,j) ergibt sich daraus der Wert

$$w_{ij} = E(\min_m w_{ijm}) = -\ln \left[\sum_m \exp(-w_{ijm}) \right] \qquad (5.93)$$

Für die Personengruppen, die aufgrund ihrer soziodemographischen Merkmale auf die Nutzung eines bestimmten Verkehrsmittels angewiesen sind, wird der Widerstandswert w_{ijm} dieses Verkehrsmittels in das Verkehrszielwahlmodell übernommen.

5.7.7 Vergleich der Modelle

Wie die Gegenüberstellung der verschiedenen Verkehrsverteilungs- und Zielwahlmodelle zeigt, sind die aus unterschiedlichen Funktionsprinzipien abgeleiteten Modelle formal durch entsprechende Wahl der Akzeptanz- oder Widerstandsfunktion ineinander überführbar. Der Definition des Widerstandes und der Akzeptanzfunktion kommt in Verteilungsmodellen somit eine entscheidende Rolle zu.

Aus dem Verhaltensprinzip der Maximierung des subjektiven Nutzens, das als adäquates Modellprinzip gelten kann, lässt sich eine negative Exponentialfunktion ableiten:

$$f(w) = e^{-\alpha w} \qquad (5.94)$$

Dieselbe Funktion liefert – allerdings auf einem völlig anderen, einem globalanalytischen Weg – das Prinzip der Entropiemaximierung. Da beide Modelle auf bekanntermaßen realitätsnahen Prinzipien aufbauen, unterstreichen sie die Sinnfälligkeit dieser Funktion.

Demgegenüber kann das der Klasse der Gravitationsmodelle zugrunde liegende Prinzip bestenfalls als verallgemeinerter Ansatz interpretiert werden, der jede Konkretisierung des Modells der Anpassung der Akzeptanzfunktion an empirische Daten überlässt.

5.8 Verkehrsmittelwahl- und Modal-Split-Modelle

5.8.1 Aufgabe

Bei der Verkehrsmittelwahl handelt es sich um eine Entscheidung zwischen mindestens zwei Verkehrsmittelalternativen:

- In *Verkehrsstrommodellen (Modal-Split-Modelle)* werden die Verkehrsströme F_{ijm} von Quelle i zum Ziel j mit dem Verkehrsmittel m ermittelt. Das Ergebnis sind *verkehrsmittelspezifische Verkehrsmatrizen* (F_{ijm}).
- Mit individuellen *Verkehrsmittelwahlmodellen* werden die Wahrscheinlichkeiten $p_{m|ij}$ einer Person für die Wahl des Verkehrsmittels m bei einem Weg von Quelle i zum Ziel j ermittelt. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten aller Verkehrsteilnehmer ergibt die verkehrsmittelspezifischen Verkehrsmatrizen.

Die Verkehrsmittelwahl wird bestimmt von den soziodemografischen Merkmalen des Verkehrsteilnehmers, von den Merkmalen des

Weges (z.B. Zweck) und von den Angebotsmerkmalen der verschiedenen Verkehrsmittel (z.B. Fahrtdauer, Kosten) zwischen Quelle und Ziel.

Angesichts der Forderung nach möglichst realistischer Abbildung des individuellen Entscheidungsverhaltens stellt sich die Frage, ob die Verkehrmittelwahl im Berechnungsverfahren vor oder nach der Zielwahl oder integriert mit der Zielwahl erfolgen soll.

5.8.2 Verkehrsmittelwahlsituation

Bei vielen Wegen erfolgt in der Realität überhaupt keine Verkehrsmittelwahl, da der Verkehrsteilnehmer aus objektiven Sachzwängen oder subjektiven Gründen auf ein Verkehrsmittel festgelegt ist, z.B. auf das Auto, wenn schwere Gegenstände zu transportieren sind (Pkw-Gebundenheit) oder auf ein öffentliches Verkehrsmittel, wenn kein Pkw zur Verfügung steht (ÖV-Gebundenheit).

Deshalb empfiehlt es sich, bereits im Anschluss an die Verkehrserzeugung eine Aufteilung der erzeugten Wege oder Wegeketten nach der Verkehrsmittelwahlsituation der Verkehrsteilnehmer vorzunehmen. Diese Aufteilung kann bei Aggregatmodellen auf der Basis von Strukturgrößen (z.B. Motorisierung) der Bevölkerung der Verkehrszelle erfolgen, bei Individualverhaltensmodellen nach soziodemografischen Merkmalen des Verkehrsteilnehmers und des Haushalts bzw. nach Personengruppen. Empirische Daten zur Kalibrierung derartiger Modelle der Verkehrsmittelwahlsituation sind aus Haushaltsbefragungen verfügbar.

Genau betrachtet gibt es keine ÖV-gebundenen Verkehrsteilnehmer, da die Verkehrsmittel Fuß, gegebenenfalls Fahrrad oder Taxi im Allgemeinen als Alternativen zur Verfügung stehen. Da sie aufgrund großer Entfernungen oder hoher Kosten oft von vornherein ausscheiden oder der nicht motorisierte Verkehr überhaupt nicht in die Berechnungen einbezogen wird, kann häufig lediglich unterschieden werden nach

- MIV-gebundenen Verkehrsteilnehmern,
- ÖV-gebundenen Verkehrsteilnehmern und
- wahlfreien Verkehrsteilnehmern.

Da die Verkehrsmittelwahlsituation auch subjektive Festlegungen beinhaltet, ist die empirische Analyse der Verkehrsmittelwahlsituationen schwierig, jedoch über zwei Wege möglich.

Ohne spezielle Befragung zur Erfassung der Verkehrsmittelwahlsituation kann diese indirekt aus dem beobachteten realisierten Verhalten abgeschätzt werden. Dazu wird durch Vergleich der objektiven Gelegenheiten mit dem realisierten Verhalten unter Zuhilfenahme eines Entscheidungsmodells wahlfreier Verkehrsteilnehmer auf die Bereiche geschlossen, in denen offensichtlich keine Wahlfreiheit besteht. Diese Abschätzung kann auch für soziodemographische Personengruppen vorgenommen werden.

Als Beispiel dieses Vorgehens kann ein Modell für die Verkehrsmittelwahl zwischen Pkw- und ÖPNV-Benutzung dienen (Wermuth, 1980). Mit Hilfe eines Probit-Modells zur Beschreibung des Entscheidungsverhaltens wahlfreier Verkehrsteilnehmer wurden auf der Basis einer Haushaltsbefragung von ca. 550.000 Fahrten die Wahrscheinlichkeiten ermittelt, mit denen Verkehrsteilnehmer einer bestimmten soziodemographischen Kategorie aus objektiven Zwängen oder subjektiven Gründen auf jeweils ein bestimmtes der beiden Verkehrsmittel festgelegt waren bzw. zwischen beiden Verkehrsmitteln frei wählen konnten. Insgesamt zeigte sich in der Gesamtheit aller Fahrten mit Pkw oder ÖPNV in der Stichprobe, dass bei ca. 40 Prozent dieser Fahrten die Person jeweils objektiv oder subjektiv auf den Pkw, bei ca. 27 Prozent dagegen auf den ÖPNV festgelegt war, so dass nur ein

Drittel dieser Fahrten von subjektiv wahlfreien Personen durchgeführt wurde. 70 Prozent der Fahrten von Personen mit Pkw-Verfügbarkeit waren Pkw-gebunden. Fahrten von Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit sind etwa zur Hälfte ÖV-gebunden (Abb. 5.11).

Die Verkehrsmittelwahlsituationen können auch durch Intensivinterviews direkt ermittelt werden (Brög et al., 1980). Bei diesem Verfahren werden im Planspiel die Reaktionsmöglichkeiten der Mitglieder eines Haushalts auf bestimmte Maßnahmen durchgespielt und so der Reorganisationsprozess innerhalb der Entscheidungseinheit Haushalt ermittelt.

In einem vereinfachten Vorgehen ist es auch möglich, den Fußweganteil in Form einer negativen Exponentialfunktion der Entfernung oder Wegedauer darzustellen und vorab abzuspalten (vgl. Abb. 5.12).

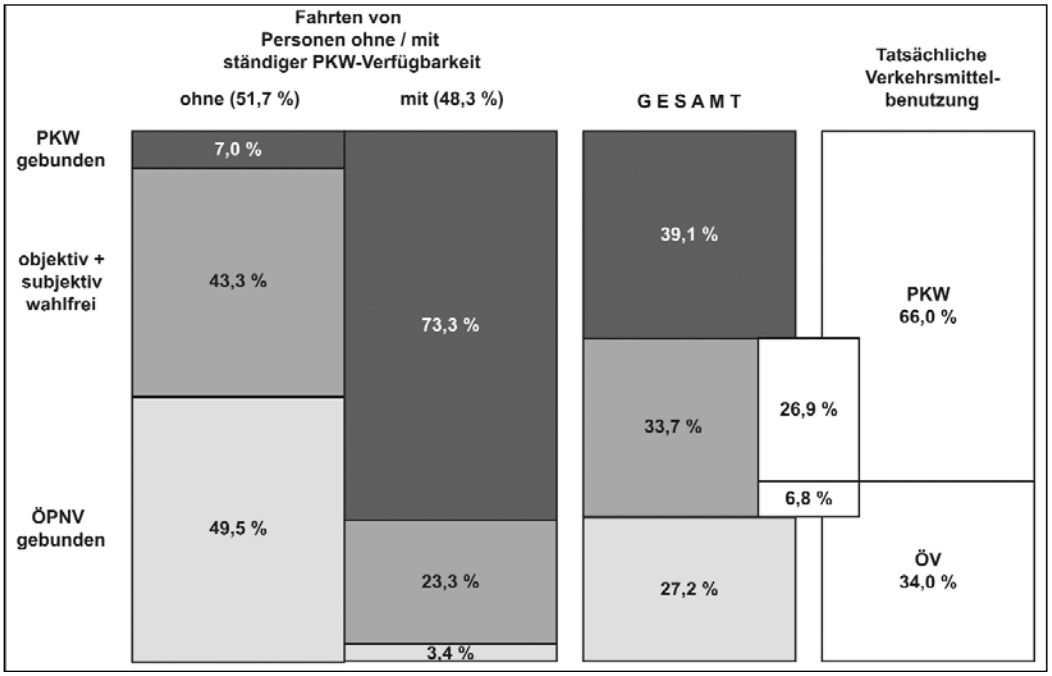


Abb. 5.11 Verkehrsmittelwahlsituation bei Fahrten von Personen ohne bzw. mit Pkw-Verfügbarkeit. (Wermuth, 1980)

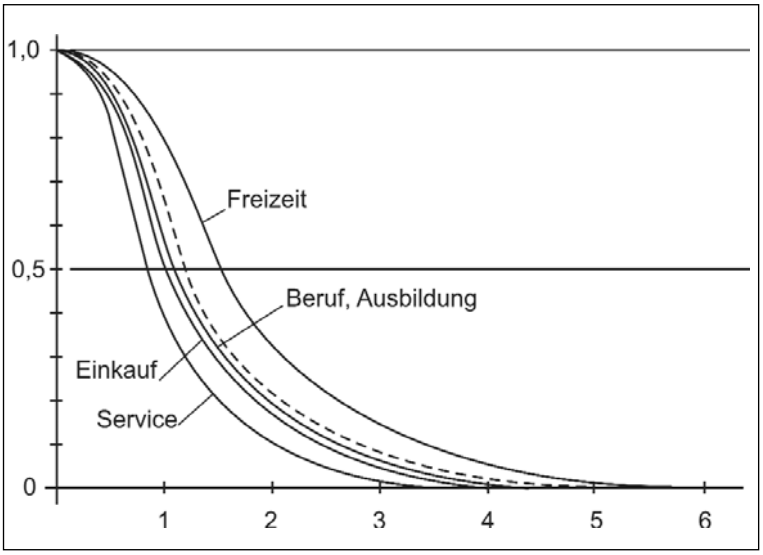


Abb. 5.12 Fußweganteil nach Weglänge und Verkehrszweck. (Eigene Darstellung)

5.8.3 Modal-Split-Modelle

Die ersten Modal-Split-Modelle waren empirisch ermittelte Aufteilungsfunktionen y von Quelle-Ziel-Strömen F_{ij} zwischen MIV und ÖV nach dem Verhältnis oder der Differenz der Fahrtdauer mit diesen beiden Verkehrsmitteln:

$$F_{ij\ddot{O}V} = F_{ij} \cdot y(w_{ij\ddot{O}V}, w_{ijMIV}) \qquad (5.95)$$

Wenn man berücksichtigt, dass die Akzeptanzfunktion f(w) in Verkehrszielwahlmodellen die Akzeptanz einer Fahrt mit dem Widerstand w repräsentiert, so kann die Aufteilung allgemein nach dem Verhältnis der Akzeptanzwerte $f(w_{ij\,\ddot{O}V})$ und $f(w_{ij\,MIV})$ erfolgen:

$$F_{ij\ddot{O}V} = F_{ij} \cdot \frac{f(w_{ij\ddot{O}V})}{f(w_{ij\ddot{O}V}) + f(w_{ijMIV})} \qquad (5.96)$$

5.8.4 Sequentielles Verkehrsmittelwahlmodell

Da es sich bei der Verkehrsmittelwahl um eine Entscheidung zwischen mindestens zwei der Alternativen Fuß, Fahrrad, motorisierte Individualverkehrsmittel und öffentliche Verkehrsmittel handelt, sind wiederum die Wahrscheinlichkeiten für die jeweils zur Auswahl stehenden Alternativen zu ermitteln.

Im Falle des sequentiellen Vierstufen-Modells (siehe Kapitel 5.4.4), in dem die Zielwahl vor der Verkehrsmittelwahl festliegt, sind die Annahmewahrscheinlichkeiten $p_{m|i,j}$ der verfügbaren Verkehrsmittel m auf einem Weg von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j zu ermitteln.

Logit-Modell

Zur Anwendung des Entscheidungsmodells nach dem Nutzenmaximierungsprinzip kann als adäquater Ansatz für die deterministische Nutzenkomponente analog zu (5.85) gewählt werden

$$u_{ijm} = b - \alpha\, w_{ijm} \qquad (5.97)$$

mit

u_{ijm} deterministischer Nutzen eines Wegs von Verkehrszelle i nach Verkehrszelle j mit Verkehrsmittel m

b Bruttonutzen der beabsichtigten Aktivität

α Konstante

w_{ijm} allgemeiner Wegeaufwand von i nach j mit Verkehrsmittel m

Das Logit-Modell (5.43) liefert dann die Annahmewahrscheinlichkeit für das Verkehrsmittel m

$$p_{m|i,j} = \frac{e^{-\alpha w_{ijm}}}{\sum_m e^{-\alpha w_{ijm}}} \qquad (5.98)$$

Probit-Modell

Bei der Verkehrsmittelwahl stehen oft nur zwei Alternativen (m = 1,2) zur Auswahl, z.B. Pkw und öffentliches Verkehrsmittel. Das Logit-Modell liefert für diesen Sonderfall nach Umformung für das Verkehrsmittel m = 1 das Resultat

$$p_{1|i,j} = \frac{e^{-\alpha w_{ij1}}}{e^{-\alpha w_{ij1}} + e^{-\alpha w_{ij2}}} = \frac{1}{1 + e^{\alpha(w_{ij1} - w_{ij2})}} \qquad (5.99)$$

Die Auswahlwahrscheinlichkeit hängt unter den Verhaltensannahmen des Logit-Modells (vgl. Abschnitt 5.6.4) demzufolge lediglich von der Differenz, nicht jedoch von den Absolutwerten der Widerstände der beiden Verkehrsmittel ab. Das widerspricht der Erfahrung, dass mit zunehmenden Absolutbeträgen der Widerstände die Bedeutung gleichbleibender Differenzen abnimmt.

Genau diese Tatsache berücksichtigt das Probit-Modell (5.31), das sich gemäß den Ausführungen in Kapitel 5.6.4 für den binominalen Fall im besonderen Maße anbietet. Im Probit-Modell nach Wermuth (1980) wurden aus logischen Konsistenzbedingungen für die Widerstände und die Varianz der stochastischen Nutzenkomponenten folgende Ansätze abgeleitet

$$w_{ijm} = \gamma_{1m} \cdot w_{1ijm} + \gamma_{2m} \cdot w_{2ijm} + \ldots$$

$$\sigma_{ijm}^2 = \lambda \, (\gamma_{1m}^2 \cdot w_{1ijm} + \gamma_{2m}^2 \cdot w_{2ijm} + \ldots)$$

Dabei bedeuten

w_{kijm} tatsächlicher Wert der Widerstandskomponente k (z.B. Fahrtdauer, Kosten etc.) des Verkehrsmittels m

γ_{km} subjektiv empfundener Widerstand einer Einheit der Widerstandskomponente k bezogen auf Verkehrsmittel m

λ Proportionalitätsfaktor (Varianz/Erwartungswert) als relatives Maß für die Schätzgenauigkeit des Widerstands durch den Verkehrsteilnehmer

Diese Widerstandsansätze führen im Sonderfall der Verwendung eines einzigen Widerstandskriteriums (z.B. Reisedauer t) zu dem speziellen Ergebnis

$$P_{1|i,j} = \Phi(x_{ij1}) \qquad (5.100)$$

mit dem Probit

$$x_{ij1} = \frac{u_{ij1} - u_{ij2}}{\sqrt{\sigma_{ij1}^2 - \sigma_{ij2}^2}} = -\alpha \frac{\beta_1 \cdot t_{ij1} - t_{ji2}}{\sqrt{\beta_1^2 \cdot t_{ij1} + t_{ji2}}} \qquad (5.101)$$

Dabei ist

$\Phi(x)$ Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung

$\alpha = 1/\lambda$

$\beta_1 = \gamma_1/\gamma_2 \qquad (n \neq m)$

Sämtliche Verhaltensparameter α, β, γ können wiederum für verschiedene Personen bzw. Personengruppen g unterschiedliche Werte annehmen.

Mit Hilfe der sequentiellen Verkehrsmittelwahlmodelle (5.98, 5.100) lassen sich die Quelle-Ziel-Ströme ermitteln nach der Beziehung

$$F_{ijm} = F_{ij} \cdot p_{m|ij} \tag{5.102}$$

Sequentielle Verkehrsmittelwahlmodelle empfehlen sich jedoch nur in den Fällen, in denen die Quelle-Ziel-Ströme F_{ij} bekannt sind.

5.8.5 Simultanes Ziel-Verkehrsmittelwahlmodell

Für Verkehrsteilnehmer, die sowohl hinsichtlich der Zielwahl als auch der Verkehrsmittelwahl frei sind, ist ein simultanes Ziel-Verkehrsmittelwahlmodell am adäquatesten einsetzbar, wenn zwischen den Alternativen beider Entscheidungsebenen keine stochastischen Abhängigkeiten bestehen.

Das bedeutet, dass diese Verkehrsteilnehmer die Anzahl von Alternativen besitzen, die sich aus der Kombination von Zielen und Verkehrsmitteln ergeben. Der Nutzen einer Ortsveränderung von Verkehrszelle i aus zu Verkehrszelle j mit Verkehrsmittel m kann wiederum angegeben werden in Form von (5.97).

Die Annahmewahrscheinlichkeit für diese Alternative lautet dann gemäß

$$p_{j,m|i} = \frac{A_j e^{-\alpha w_{ijm}}}{\sum\limits_{j,m} A_j e^{-\alpha w_{ijm}}} \tag{5.103}$$

und das simultane Ziel-Verkehrsmittel-Wahlmodell

$$F_{ijm} = Q_i \frac{A_j e^{-\alpha w_{ijm}}}{\sum\limits_{j} A_j e^{-\alpha w_{ijm}}} \tag{5.104}$$

5.8.6 Hierarchisches Ziel-Verkehrsmittelwahlmodell

Wenn zwischen Zielwahl als erste Entscheidungsebene und Verkehrsmittelwahl als zweite Ebene ein hierarchischer Zusammenhang besteht, wie er in Kapitel 5.6.5 beschrieben wurde, so ist das Hierarchische Logit-Modell (5.49) zu verwenden.

5.9 Routenwahl- und Verkehrsumlegungsmodelle

5.9.1 Aufgabe

Nach der Verkehrziel- und Verkehrsmittelwahl liegen die Verkehrsmatrizen $F_{\mathbf{m}} = (F_{ijm})$ der Quelle-Ziel-Verkehrsströme vor. Die Aufgabe von Routenwahlmodellen ist die Beschreibung der Routenwahl von Personen auf einem Weg zwischen zwei Verkehrszellen i und j bzw. die Aufteilung der Verkehrsströme F_{ijm} auf verschiedene Routen r in Teilströme F_{ijmr} im Netz des Verkehrsmittels m. Die Belastung einer Netzstrecke ergibt sich dann als Summe der ermittelten Teilströme der gesamten Verkehrsmatrix F_m, die über diese Strecke führen:

$$q_{ms} = \sum_i \sum_j \sum_r F_{ijmr} \cdot \delta_{ms} \tag{5.105}$$

mit

$$\delta_{ms} = \begin{cases} 1 & \text{falls } s \in r \\ 0 & \text{falls } s \notin r \end{cases}$$

5.9.2 Bestwegverfahren (Alles-oder-Nichts-Umlegung)

Bei diesem Verfahren wird die gesamte Verkehrsmenge einer Quelle-Ziel-Beziehung (i,j) auf die „kürzeste“ Route, d.h. auf die Route mit dem geringsten Aufwand (verallgemeinerte Kosten, Widerstand), „umgelegt“. Auch eine nur wenig ungünstigere Route bleibt unbelastet.

Zur Ermittlung der kürzesten Routen in einem Netzgraph gibt es eine Reihe von sehr leistungsfähigen Algorithmen, die jeweils in einem Rechengang einen Kürzesten-Wege-Baum, d.h. sämtliche kürzesten Routen von einer Quelle (Wurzel) zu allen Zielen, aufbauen (vgl. Kap. B 5.3.4).

5.9.3 Nutzenmaximierungsmodelle

Da mit der Routenwahl für den Verkehrsteilnehmer wiederum das Problem vorliegt, eine von mehreren verfügbaren Alternativen auswählen zu müssen, liegt der Schluss nahe, hierzu wiederum ein Nutzenmaximierungsmodell wie das Logit-Modell als individuelles Entscheidungsmodell zu verwenden. Die Annahmewahrscheinlichkeit der Route r bei einer Ortsveränderung von Verkehrszelle i nach Zelle j mit dem Verkehrsmittel m ist demnach

$$\Pr|ijm = \frac{e^{-\alpha w_{ijmr}}}{\sum_r e^{-\alpha w_{ijmr}}} \qquad (5.106)$$

Die Zahl der Ortsveränderungen, die dann über die Route r verlaufen, berechnet sich demnach zu

$$F_{ijmr} = F_{ijm} \cdot \Pr|ijm \qquad (5.107)$$

Dieses Modell liefert mit dem Nutzenmaximierungsprinzip zwar eine grundsätzlich realistische Beschreibung des Routenwahlverhaltens, jedoch ist es für die praktische Anwendung nur in den Sonderfällen geeignet, in denen nur wenige und eindeutig gegeneinander abgrenzbare Routenalternativen bestehen. In eng vermaschten Straßennetzen, beispielsweise in Stadtstraßennetzen, sind die verschiedenen Routen nicht klar genug gegeneinander abzugrenzen. Lediglich die kürzeste Route ist im Allgemeinen eindeutig definiert, während die nächst kürzeren mit kleinen Abweichungen von der kürzesten, etwa durch zusätzliche Blockumfahrungen, zahlreich und nicht eindeutig abgrenzbar sind. Das Logit-Modell ist beispielsweise für wenig vermaschte Netze des Öffentlichen Verkehrs anwendbar, zumal dabei meist keine Auslastungseffekte die Routenwahl beeinflussen.

5.9.4 Stochastisches Routenwahlmodell

Bei der stochastischen Umlegung werden die einzelnen Quelle-Ziel-Verkehrsströme in gleich große Teilmengen aufgeteilt. Für jede Teilmenge werden die Streckenwiderstände des Netzes mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators mit je einem zufälligen normalverteilten Schätzfehler versehen und in diesem „verschätzten“ Netz die kürzesten Routen ermittelt, auf die die jeweilige Teilmenge umgelegt wird. Dieses Verfahren simuliert somit die unterschiedliche Einschätzung der Streckenwiderstände durch die Verkehrsteilnehmer und die dadurch verursachte Wahl unterschiedlicher Routen.

5.9.5 Belastungsabhängiges Routenwahlmodell

Bekanntlich übt der jeweilige Verkehrszustand im Netz, vor allen in Straßennetzen, einen starken Einfluss auf die Routenwahl aus. Die Information über den Verkehrszustand zu bestimmten Tageszeiten ist dem ortskundigen Verkehrsteilnehmer meist aus Erfahrung bekannt. Durch Verkehrsinformationsdienste wird heute der Autofahrer kurzfristig informiert, in der Zukunft werden sehr leistungsfähige Informations- und Kommunikationstechniken nicht nur den Autofahrer, sondern auch die anderen Verkehrteilnehmer über den aktuellen und zu erwartenden Verkehrszustand informieren und auf dem optimalen Weg steuern.

Den Einfluss des Belastungszustandes auf die Routenwahl zu beschreiben, ist das Ziel des belastungsabhängigen oder kapazitätsbegrenzten (capacity restraint) Umlegungsverfahrens. Dabei wird wiederum jeder Quelle-Ziel-Verkehrsstrom F_{ijm} in Teilmengen aufgeteilt und sukzessive jeweils auf die kürzeste Route umgelegt. Bei jedem Schritt werden die Streckenwiderstände, d.h. die Fahrtdauer auf der jeweiligen Strecke, in Abhängigkeit von der erreichten Belastung erhöht. Diese Korrektur geschieht in Anlehnung an die bekannte Verringerung der Geschwindigkeit bei zunehmender Verkehrbelastung auf den Netzstrecken und Knoten nach der Beziehung (vgl. Abb. 5.13)

$$t = t_0 \left(1 + 0{,}15 \left(\frac{q}{L_p} \right)^4 \right) \quad (5.108)$$

Mit diesem Vorgehen wird das Ausweichen der Verkehrsteilnehmer von stark ausgelasteten auf weniger stark belasteten Routen simuliert.

Dieses Verfahren ist sehr einfach in der Handhabung und wird deshalb häufig bei Umlegungen in der Praxis angewendet. Ein Nachteil besteht jedoch bei der Festlegung der Schichtgrößen. Da das Ergebnis wesentlich von der Wahl der Schichtgröße abhängig ist und bisher kein Verfahren zur Optimierung der Festlegung der Schrittgröße vorhanden ist, bestehen in diesem Bereich Ungenauigkeiten.

5.9.6 Dynamische Routenwahlmodelle

Eine Weiterentwicklung der bisher beschriebenen statischen Umlegungsverfahren sind dynamische Umlegungsverfahren. Während bei den statischen Verfahren über eine festgelegte Umlegungsperiode (z.B. Spitzenstunde) eine konstante Verkehrsnachfrage vorausgesetzt wird, ist bei den dynamischen Verfahren eine Berücksichtigung der zeitabhängigen Verkehrsnachfrageänderungen und der damit verbundenen Widerstandsänderungen der Strecken möglich. Eine Dynamisierung der Routenwahl und der Verkehrsumlegung ist notwendig, da mit den konventionellen statischen Verfahren Auswirkungen von bestimmten verkehrsplanerischen Maßnahmen, die eine zeitliche Verlagerung von Fahrten bewirken, nicht berücksichtigt werden können. Ferner ermöglichen neuere Entwicklungen in der Verkehrssteuerungs- und Verkehrsinformationstechnologie in der Zukunft den Einsatz von Leit- und Informationssystemen, die auf der Basis von Online-Analysen der Verkehrssituation den Fahrern Informationen wie Routenempfehlungen, Stauwahrscheinlichkeiten oder Parkinformationen übermitteln.

Einen ersten Ansatz zur Dynamisierung der Verkehrsumlegung im deutschsprachigen Raum erarbeitete Polumsky (1987). Danach können die Bereiche

– Dynamisierung der Reisezweckstruktur,

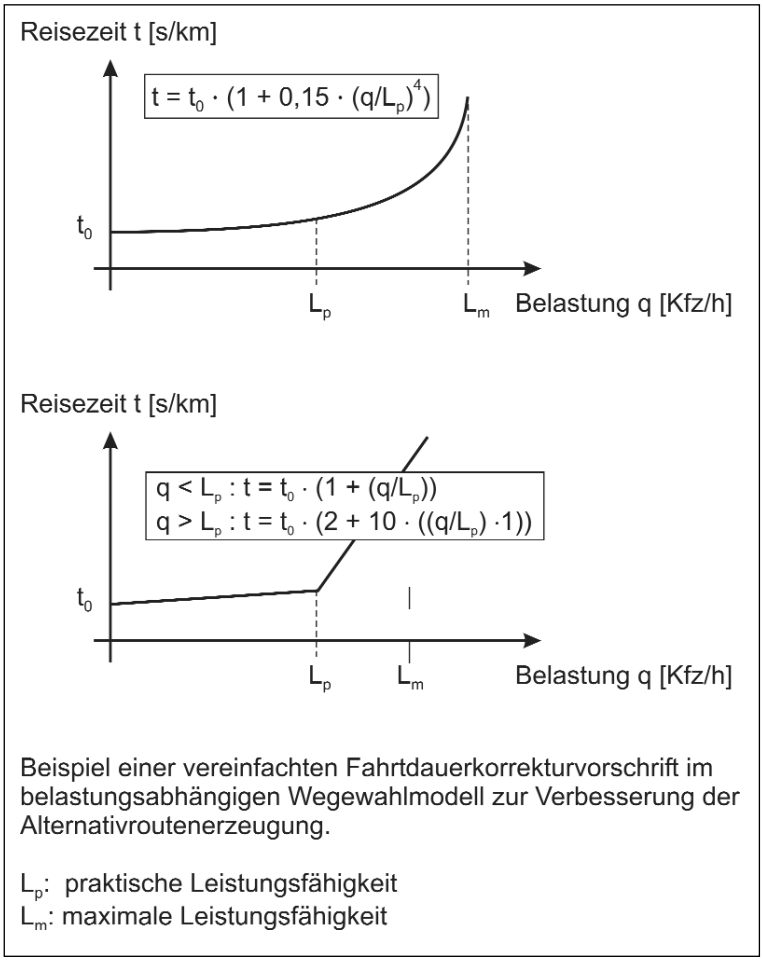


Abb. 5.13 Beispiele für Fahrtdauerkorrekturen für belastungsabhängige Umlegungsmodelle. (Braun u. Wermuth, 1973)

– Dynamisierung der Verkehrseinspeisung und
– Dynamisierung der Routensuche

unterschieden werden. Während Polumsky verschiedenen Reisezwecken zeitliche Ganglinien zuordnet, anhand derer anschließend eine dynamische Einspeisung der Fahrten, d.h. entsprechend der Ganglinie (beispielsweise in 10-Minuten-Intervallen), in das Verkehrsnetz vorgenommen wird, greifen neuere Verfahren (z.B. Serwill, 1994) u.a. auch auf die Einteilung in Personengruppen anstatt der Reisezwecke zurück. Nach der dynamischen Einspeisung der Fahrten wird in einem weiteren Schritt die raum-zeitliche Veränderung bei der Routensuche durch die Akkumulation der einzelnen Verkehrsbeziehungsanteile betrachtet.

Schwierig ist bei den dynamischen Verkehrsumlegungsverfahren die Beschaffung geeigneter Daten. Denn bei den konventionellen Verfahren liegen die Fahrtenmatrizen für die simulative Ermittlung der Verkehrstärken zumeist in über die Zeit aggregierter Form in der Einheit Kfz pro Stunde bzw. Stundengruppe vor. Dynamische Umlegungsverfahren machen es erforderlich, diese Matrizen für jeden der gewählten Zeitschritte in Teilmatrizen zu zerlegen bzw. bereits im Verfahren der Matrixerzeugung kürzere Zeitschritte zu berücksichtigen.

5.10 Gleichgewichtsmodelle

5.10.1 Nutzergleichgewichtsmodelle

Bei den bisher genannten Modellen wird die Verkehrsnachfrage als Funktion einer unabhängigen Aufwandsgröße (Widerstand, generalisierte Kosten) für die Raumüberwindung dargestellt. Im ökonomischen Sprachgebrauch handelt es sich dabei um eine Nachfragefunktion N(C), mit der die Abnahme des Verkehrsaufkommens F mit steigendem Aufwand C darstellbar ist (Abb. 5.14)

$$F = N(C). \tag{5.109}$$

Ein Beispiel für eine solche Nachfragefunktion ist die Akzeptanzfunktion f(w) in den Verkehrsverteilungsmodellen.

Umgekehrt hängt jedoch der Wegeaufwand von der Verkehrsnachfrage im Netz ab, da mit zunehmender Verkehrsstärke auf den einzelnen Strecken der Zeit- und Ressourcenaufwand für einen Weg zunimmt. Somit ist der Wegeaufwand, also die Kosten der Ortsveränderung, seinerseits eine Funktion der Nachfrage. Diese Funktion wird als Kosten- oder Angebotsfunktion K(F) bezeichnet und sie beschreibt die Zunahme der Wegekosten mit steigendem Verkehrsaufkommen (Abb. 5.14)

$$F = K(F). \tag{5.110}$$

Ein Beispiel für eine solche Kostenfunktion ist die im belastungsabhängigen Routenwahlmodell verwendete Aufwandsfunktion in Abhängigkeit von der Streckenbelastung (vgl. Abb. 5.13).

Gleichgewichtsmodelle ermitteln Verkehrsnachfrage und Kosten so, dass beide Gleichungen (5.109) und (5.110) erfüllt sind. Sie stellen somit ein Gleichgewicht zwischen Nachfrage- und Kostenfunktion her. In Abbildung 5.14 sind beide Funktionen und der Gleichgewichtspunkt dargestellt.

Bei der Routenwahl ist dieses Verfahren im Prinzip mit dem belastungsabhängigen oder kapazitätsbegrenzten Umlegungsverfah-

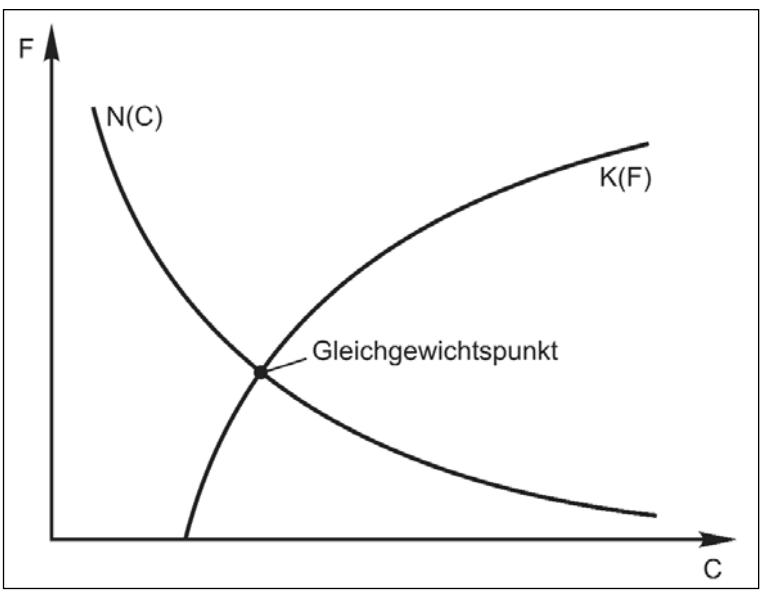


Abb. 5.14 Nachfrage- und Angebotsfunktion mit Gleichgewichtspunkt. (Eigene Darstellung)

ren identisch (vgl. Kap 5.9.5). Bei diesem Verfahren werden iterativ Anteile der Verkehrsmatrix auf die jeweils kürzesten Routen gelegt und danach die einzelnen Streckenwiderstände entsprechend ihrer Belastungszunahme erhöht. Auf diese Weise versucht man, auf jeder Strecke dem Punkt möglichst nahe zu kommen, der dem Schnittpunkt von Nachfrage- und Angebotsfunktion entspricht. Kein Nutzer kann durch Wahl einer anderen Route einen Vorteil erzielen.

Das belastungsabhängige Routenwahlverfahren weist jedoch in der Durchführung die in Kapitel 5.9.5 genannten Probleme hinsichtlich der jeweiligen Schichtgröße auf. Diese sind vermeidbar und der Gleichgewichtspunkt somit exakt zu lösen, wenn das belastungsabhängige Umlegungsverfahren als Optimierungsproblem formuliert wird in der Form (Sheffi, 1985)

Zielfunktion:

$$\min z(q) = \sum_s \int_0^{q_s} k_s(x)dx \qquad (5.111)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_r F_{ijr} = F_{ij} \qquad \text{für alle i,j}$$

$$F_{ijr} \geq 0 \qquad \text{für alle i,j,r}$$

Dabei ist

- q Vektor der Streckenbelastungen
- k Kosten auf Strecke s
- F_{ij} Verkehrsstrom von i nach j der Verkehrsmatrix
- F_{ijr} Verkehrsstrom von i nach j auf Route r

Die Streckenbelastungen ergeben sich zu

$$q_s = \sum_i \sum_j \sum_r F_{ijr} \cdot \delta_{ijrs} \qquad (5.112)$$

mit

$$\delta_{ijrs} = \begin{cases} 1 & \text{falls } s \in r \\ 0 & \text{falls } s \notin r \end{cases}$$

Die Kosten (Aufwand) k_s eines Weges auf einer Strecke s hängen nur von der Belastung q_s dieser Strecke ab

$$k_s = k_s(q_s). \qquad (5.113)$$

Die Gesamtkosten eines Weges auf einer Route berechnen sich als Summe der Streckenkosten

$$c_{ijr} = \sum_s k_s \cdot \delta_{ijrs} \qquad (5.114)$$

mit

$$\delta_{ijrs} = \begin{cases} 1 & \text{falls } s \in r \\ 0 & \text{falls } s \notin r \end{cases}$$

Die Routenwahl durch den Verkehrsteilnehmer erfolgt so, dass eine mögliche Route zwischen i und j nur gewählt wird, wenn die Kosten dieser Route nicht höher sind als die sich ergebenden minimalen Kosten u_{ij}, d.h.

$$c_{ijr} - u_{ij} \geq 0 \qquad (5.115)$$

$$F_{ijr}(c_{ijr} - u_{ij}) = 0 \qquad \text{für alle i,j,r} \qquad (5.116)$$

Nichtlineare Optimierungsprobleme dieser Art erfordern in aller Regel ein iteratives Lösungsverfahren, d.h. es wird zuerst eine zulässige Ausgangslösung ermittelt, die dann schrittweise verbessert wird, so dass der Wert der Zielfunktion verkleinert wird. Bei diesem „Abstiegsverfahren“ besteht jeder Iterationsschritt aus zwei Teilen, nämlich der Bestimmung der Abstiegsrichtung und der Berechnung der optimalen Schrittweite.

Ein besonders effektives Verfahren zur Lösung dieses Problems ist das Frank-Wolfe-Verfahren (Frank u. Wolfe, 1956), das die optimale Abstiegsrichtung ermittelt, indem alle Beziehungen der Verkehrsmatrix auf die jeweils

kürzesten Routen gelegt werden und auf diese Weise die Hilfsbelastungen $\tilde{q}$ bestimmt werden. Dieses Verfahren ermittelt bei jedem Iterationsschritt die gesuchten Streckenbelastungen als gewichtete Summe aus der Belastung des vorausgehenden Schrittes und einer Hilfsbelastung nach der Beziehung

$$\begin{aligned} q^{\nu+1} &= q^{\nu} + \alpha^{\nu} (\tilde{q}^{\nu} - q^{\nu}) \\ &= (1 - \alpha^{\nu}) q^{\nu} + \alpha^{\nu} \tilde{q}^{\nu} \end{aligned} \qquad (5.117)$$

mit

q^{ν} Streckenbelastungen bei Iterationsschritt ν

$\tilde{q}^{\nu}$ Hilfsbelastungen bei Iterationsschritt ν

α Schrittweite

Die Richtungssuche erfolgt durch Lösung des Linearen Optimierungsproblems

$$\min z^{\nu}(\tilde{q}) = \sum_s k_s^{\nu} \tilde{q}_s \qquad (5.118)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_r \tilde{F}_{ijr} = q_{ij} \qquad \text{für alle i,j}$$

$$\tilde{F}_{ijr} \geq 0 \qquad \text{für alle i,j,r}$$

Dieses Optimierungsproblem entspricht dem Problem der Bestimmung der kürzesten Routen im Netz, da die Wegekosten der Strecken infolge des linearisierten Ansatzes konstant gehalten werden, sowie der Bestimmung der Hilfsbelastungen q_s .

Die optimale Schrittweitenbestimmung ermöglicht den Gewichtsparameter α so zu wählen, dass der Zielwert (möglichst schnell) seinen Minimalwert erreicht. Dazu ist das folgende Optimierungsproblem zu lösen:

$$\min z(\alpha) = \sum_s \int_{q_s^{\nu}}^{q_s^{\nu} + \alpha(\tilde{q}_s^{\nu} - q_s^{\nu})} k_s(x)\,dx \qquad (5.119)$$

unter der Nebenbedingung:

$0 \leq \alpha \leq 1$

Dieses nichtlineare eindimensionale Minimierungsproblem lässt sich relativ einfach und schnell lösen, wenn die erste Ableitung der Zielfunktion verwendet wird:

$$\frac{dz}{d\alpha} = \sum_s (\tilde{q}^{\nu} - q^{\nu}) \cdot k_s\left[q^{\nu} + \alpha(\tilde{q}^{\nu} - q^{\nu})\right] \qquad (5.120)$$

Die so genannte „Bisektions-Methode“ ermöglicht die Ermittlung von α durch „Einschachteln“ (Sheffi, 1985):

5.10.2 Modelle des Systemgleichgewichts

Das Gleichgewichtsprinzip kann von der Routenwahl auf die vorausgehenden Modelle der Verkehrsziel- und Verkehrsmittelwahl zu simultanen Gleichgewichtsmodellen erweitert werden.

So ist beispielsweise für die Gruppe der verkehrsmittelgebundenen Verkehrsteilnehmer ein simultanes Ziel-/Routenwahlmodell sinnvoll, wenn davon ausgegangen wird, dass die Verkehrsteilnehmer auch ihre Zielwahl vom Verkehrszustand im Netz, also von den Streckenbelastungen, abhängig machen. Das Systemgleichgewicht wird in diesem Fall durch schrittweise Verbesserung der Verkehrsströme auf verschiedenen Routen ermittelt, wobei in jedem Iterationsschritt auch die Streckenwiderstände in Abhängigkeit von ihrer Belastungen korrigiert werden. Das Systemgleichgewicht bedeutet in diesem Fall, dass sich nicht nur die Routenbelastungen, sondern zudem auch die Quelle-Ziel-Verkehrsströme im Gleichgewicht mit den aktuellen Streckenwiderständen im Netz befinden. Im Gegensatz dazu werden bei den im Kapitel 5.7 besprochenen Verteilungsmodellen die Widerstände der einzelnen Strecken für einen bestimmten Auslastungszustand beispielsweise

von 70 Prozent ermittelt und für die Zielwahl konstant gehalten.

Auch simultane Verkehrsmittel-Routenwahl-Modelle sind nach dem Gleichgewichtsprinzip möglich. Dieser Modelltyp ist für wahlfreie Verkehrteilnehmer sinnvoll, die ihre Verkehrsmittelwahl auch von den aktuellen Belastungszuständen im Netz abhängig machen. Im Gegensatz dazu werden bei den Verkehrsmittelwahlmodellen in Kapitel 5.8 die Widerstände für die Verkehrsmittelwahl konstant gehalten.

Schließlich kann das Gleichgewichtsprinzip auch auf ein simultanes Verkehrsziel-Verkehrsmittel-Routenwahlmodell erweitert werden. Dabei wird unterstellt, dass die Verkehrsteilnehmer nicht nur die Routenwahl, sondern auch Ziel- und Verkehrsmittelwahl nach den aktuellen Streckenwiderständen im Netz treffen.

Bei der Erweiterung des Gleichgewichtsansatzes über die Routenwahl hinaus auf die davor liegenden Entscheidungsstufen der Verkehrsmittel- oder/und Zielwahl ergeben sich zusätzliche mathematische Probleme in Bezug auf die notwendigerweise zu fordernde Konvergenz der Verfahren.

Literatur

Bobinger, R. (2000): Modellierung der Verkehrsnachfrage bei preispolitischen Maßnahmen, Diss. TU München

Braun, J. u. Wermuth, M. (1973): VPS 3 – Konzept und Programmsystem eines analytischen Gesamtverkehrsmodells. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswesen der TU München, Heft 6, München

Brög, W.; Erl, E.; Förg, O. (1980): Entwicklung eines Individual-Verhaltens-Modells zur Er-klärung und Prognose werktäglicher Aktivitätsmuster im Städtischen Bereich (Stufe 2): München

Clark, C.E. (1961): The Greatest of a Finite Set of Random Variables, Oper. Res. 9, S. 145-162

Dijkstra, E.W. (1969): A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik 1, S. 269-271

Domencich, T.; McFadden, D. (1975): Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis. North-Holland, Amsterdam

Floyd, R.W. (1962): Algorithm 97: Shortest path: Communications of the Association of Computing Machinery 5, S. 345

Frank, M.; Wolfe (1956): An Algorithm for Quadratic Programming. Naval Research Logistics Quarterly, 3

Hautzinger, H.; Kessel, P. (1977): Mobilität im Personenverkehr: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik: Heft 231

Kirchhoff, P. (1970): Verkehrsverteilung mit Hilfe eines Systems bilinearer Gleichungen. Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen der TU Braunschweig, Heft 5, Braunschweig

Kutter, E. (1972): Demografische Determinanten städtischen Personenverkehrs, Heft 9, Institut für Stadtbauwesen TU Braunschweig, Braunschweig

LeBlanc, L. u. Rothengatter, W. (1982): Gleichgewicht in Verkehrsnetzen. Das Basismodell und einige Erweiterungen für integrierte Verkehrsplanungen. Jahrbuch für Regionalwissenschaft

Lohse, D.; Teichert, H.; Dugge, B.; Bachner, G. (1997): Ermittlung von Verkehrsströmen mit nlinearen Gleichungssystemen – Verkehrsnachfragemodellierung. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden, Heft 5, Dresden

Mäcke, P.A. (1963): Das Prognoseverfahren in der Straßenverkehrsplanung. Bauverlag GmbH Wiesbaden

Mandel, B.; Gaudry, M.; Rothengatter, W. (1994): Linear or Notlinear Utility Functions in Logit Models? The Impact on German High-Speed Rail Demand Forcasts. Transportation Research B 2, S. 91-101, Pergamon Press

Moore, E.F. (1957): The shortest path through a maze: Proceedings of the International Symposium on the Theory of Switching, Part II, S. 285-292

Polumsky, D. (1987): Dynamisierung von Verkehrsumlegungsmodellen. Stadt Region Land. Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen RWTH Aachen, Heft 35, Aachen

Ruske, W. u. Stelling, H. (1968): Stochastische und deterministische Modelle zur Errechnung des Verkehrsaufkommens aus Strukturmerkmalen. Forschung Straßenbau und Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 79, Bonn

Schmiedel, R. (1983): Bestimmung verhaltensähnlicher Personenkreise für die Verkehrsplanung. Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung der Universität Karlsruhe, Heft 18, Karlsruhe

Serwill, D. (1994): DRUM – Modellkonzept zur dynamischen Routensuche und Umlegung. Stadt Region Land. Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen RWTH Aachen; Heft 43, Aachen

Sheffi, Y. (1985): Urban Transportation Networks. Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods. Prentice-Hall, Englewood Cliffs

Sparmann, J. (1980): Calibration of the Trinomial Probit Model: Inst. of Tranportation Studies, Diss. Series, Univ. of California, Berkeley

Wermuth, M. (1978): Struktur und Effekte der individuellen Aktivitätennachfrage als Determinanten des Personenverkehrs, Bock+Herchen, Bad Honnef

Wermuth, M. (1980): Ein situationsorientiertes Verhaltensmodell der individuellen Verkehrsmittelwahl. Gesellschaft für Regionalforschung (Hrsg.), Jahrbuch für Regionalwissenschaft, Jahrgang 1, Vandenhoeck + Ruprecht, Göttingen

Wilson, A. (1967): A statistical Theory of Spatial Distribution Models. Transportation Research, Vol. 1, S. 253-269, Pergamon Press

6 Modelle und Strategien des Güterverkehrs

6.1 Grundlagen

6.1.1 Definitionen und Abgrenzungen

Gemäß allgemein anerkannter Begriffe und Einteilungen im Verkehrswesen ist Güterverkehr ein Teil des Wirtschaftsverkehrs.

Unter Wirtschaftsverkehr werden die Ortsveränderungen von Personen und/oder Gütern zu erwerbswirtschaftlichen, gemeinwirtschaftlichen oder dienstlichen Zwecken verstanden. Der restliche Verkehr wird als Privatverkehr bezeichnet. Die Zuordnung einer Ortsveränderung eines Gutes oder einer Person zum Wirtschafts- oder zum Privatverkehr erfolgt nach der hauptsächlichen Ursache für die Entstehung der Ortsveränderung. Der Wirtschaftsverkehr kann damit unterteilt werden in

– Personenwirtschaftsverkehr und
– Güterwirtschaftsverkehr.

Analog unterteilt sich der Privatverkehr in

– Personenprivatverkehr und
– Güterprivatverkehr.

Somit wird in der allgemein gebräuchlichen Definition des Güterverkehrs dieser mit dem Güterwirtschaftsverkehr gleichgesetzt. Die Transportgegenstände des Güterverkehrs sind damit auch nur solche, die im weitesten Sinne zur Produktion, zum Handel und zum Vertrieb verwendet werden oder zum Zweck der öffentlichen oder gewerblichen Ver- oder Entsorgung befördert und nicht zu privaten Zwecken mitgeführt werden.

Je nach Gegenstand der Betrachtung versteht man unter Güterverkehr entweder die Ortsveränderungen von Gütern oder die Ortsveränderungen von Fahrzeugen, die vorwiegend zum Transport von Gütern unternommen werden. Da Ortsveränderungen von Gütern grundsätzlich unter Nutzung eines Verkehrsmittels erfolgen, ist mit jeder Ortsveränderung eines Gutes auch mindestens eine Ortsveränderung eines Verkehrsmittels verbunden. Dabei kann die Ortsveränderung eines Gutes zu mehreren Ortsveränderungen mehrerer Verkehrsmittel (intermodaler Verkehr, kombinierter Verkehr) führen. Abbildung 6.1 zeigt ein Beispiel einer Ortsveränderung eines Gutes von einer Quelle zu einem Ziel (Transportkette), die vier Lkw-Fahrten (inkl. zweier Leerfahrten) und eine Bahnfahrt erfordern.

Güterverkehr wird vor dem Hintergrund eines räumlichen Bezuges häufig in Güternahverkehr und Güterfernverkehr eingeteilt. Diese Begriffe haben ihren Ursprung im Güterkraftverkehrsrecht, in dem bis 1998 zwischen diesen Verkehrsarten unterschieden wurde. Gemäß §§ 2 und 3 des Güterkraftverkehrsgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 1993 ist Güternahverkehr jede Beförderung von Gütern mit einem Kraftfahrzeug für andere innerhalb der Nahzone. Als Nahzone gilt das Gebiet, das innerhalb eines Umkreises von 75 Kilometern, gerechnet in der Luftlinie vom Mittelpunkt des Standortes des Kraftfahrzeuges (Ortsmittelpunkt), gebildet wird. Zur Nahzone gehören alle Gemeinden, deren Ortsmittelpunkt innerhalb der Nahzone liegt. Güterfernverkehr ist jede Beförderung von Gütern mit einem Kraftfahrzeug für andere über die Grenzen der Nahzone hinaus oder außerhalb dieser Grenzen. Mit Neufassung und Inkrafttreten des Güterkraftverkehrsgesetzes am 1. Juli 1998 wurde die Unterscheidung in Güterfern- und Güternahverkehr aufgehoben, so dass damit diese Legaldefinitionen entfallen. Allerdings wird des Öfteren noch nach diesen Verkehrsarten

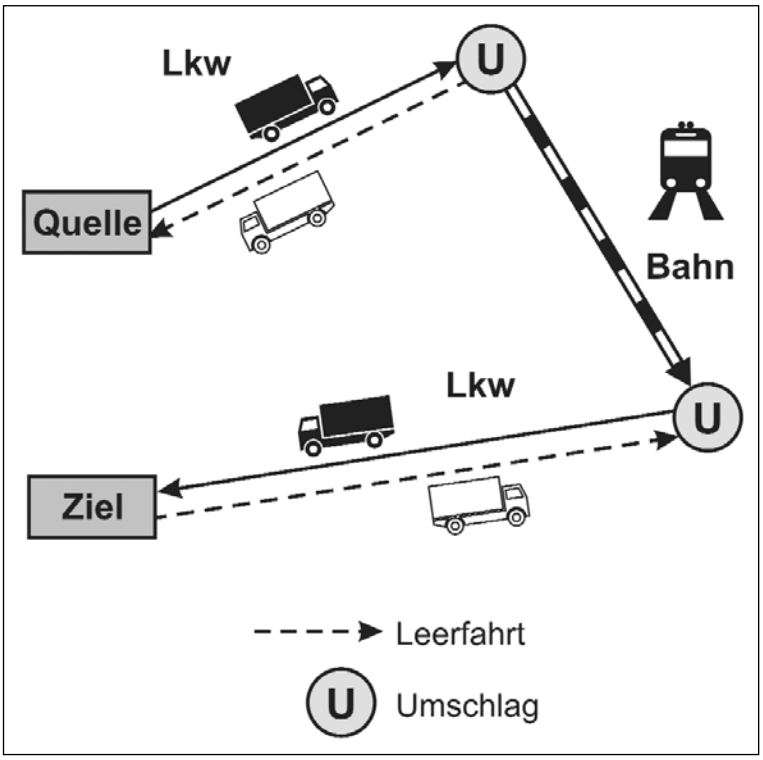


Abb. 6.1 Beispiel einer intermodalen Ortsveränderung eines Gutes. (Wermuth et al., 2003)

unter Verwendung unterschiedlicher Definitionen unterschieden.

Mit Definition eines Bezugsgebietes sind weitere Unterscheidungen üblich:

- Güterbinnenverkehr: Transporte, bei denen Quelle und Ziel innerhalb des Bezugsgebietes liegen
- Güterquellverkehr/ausstrahlender Güterverkehr: Transporte aus dem Bezugsgebiet mit Ziel in anderen Gebieten
- Güterzielverkehr/einstrahlender Güterverkehr: Transporte aus anderen Gebieten mit Ziel im Bezugsgebiet
- Güterdurchgangsverkehr: Transporte durch das Bezugsgebiet, bei denen Quelle und Ziel in anderen Gebieten liegen (Beispiel: Gütertransitverkehr)

Für den Transport von Gütern mit Kraftfahrzeugen auf der Straße ist der Begriff des Güterkraftverkehrs von Bedeutung, der im Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) §1 definiert ist. „Güterkraftverkehr ist die geschäftsmäßige oder entgeltliche Beförderung von Gütern mit Kraftfahrzeugen, die einschließlich Anhänger ein höheres zulässiges Gesamtgewicht als 3,5 Tonnen haben." Nach der Organisationsform unterscheidet das GüKG in Werkverkehr und gewerblichen Güterkraftverkehr. Unter Werkverkehr versteht das Güterkraftverkehrsrecht den Güterkraftverkehr für eigene Zwecke eines Unternehmens unter den in §1(2) GüKG genannten Voraussetzungen, während gewerblicher Güterkraftverkehr der Güterkraftverkehr ist, der nicht zum Werkverkehr zählt.

6.1.2 Verkehrsursachen im Güterverkehr

Zu den komplexen Ursachen des Güterverkehrs sind Betrachtungen bekannt, die meist von der Erklärung der Ursachen menschlicher Mobilität allgemein ausgehen und versuchen, daraus den Güterverkehr als eigenständiges Phänomen darzustellen. Beispielsweise stellt Schmidt (1977) aus Sicht einer verkehrsmethodischen Systemanalyse ein Erklärungsmodell vor, das auf Analogien und wechselseitige Einflussnahmen mit dem Personenverkehr abhebt und im Folgenden verkürzt beschrieben wird: Das übergeordnete System, in welches Güterverkehr, Personenverkehr, Nachrichtenverkehr und alle relevanten Elemente der menschlichen Lebenssphäre einbezogen sind, wird durch die Stätten differenzierter menschlicher Aktivitäten in ihrer räumlichen Anordnung und die zwischen diesen über Verbindungsnetze stattfindenden Bewegungen von Personen, Gütern und Nachrichten gebildet. Mobilität als Ortswechsel zwischen Aktivitäten, deren Realisierung nur an dafür geeigneten Standorten möglich ist, erklärt sich somit auch aus den Bedingungen dieser Standorte, speziell mit Fokus auf den Güterverkehr durch deren Ausstattung mit Gütern. Beispielsweise die Aktivität „Arbeiten“ an Standorten der Arbeitsplätze mit deren Ausstattung durch bauliche Anlagen, maschinelle und nachrichtentechnische Anlagen sowie die ständige Belieferung mit Rohstoffen, Halbfertigwaren und Nachrichten, die sowohl der Produktion von Gütern und Nachrichten dienen, als auch der Aufrechterhaltung adäquater Lebensbedingungen für die arbeitenden Menschen. Standorte menschlicher Aktivitäten sind also mit Empfang und Versand von Gütern verbunden, die dort „behandelt“ werden. Diese Behandlung – in Analogie zum Personenverkehr auch als Güteraktivitäten bezeichnet – lässt sich nach fünf Grundmustern klassifizieren:

- Gewinnung: Eingliederung von Rohstoffen in den Wirtschaftsprozess z.B. durch Fördern bei Bodenschätzen oder Anbau und Ernte bei landwirtschaftlichen Erzeugnissen
- Veredelung: Schrittweise Zusammensetzung und Umgestaltung der Rohstoffe mit der Ausrichtung auf die Herstellung von Gebrauchs- oder Verbrauchsgütern
- Verbrauch: Konsum von Verbrauchsgütern, Einsatz und Abnutzung von Investitionsgütern
- Beseitigung: Ausgliederung von Abfallstoffen aus dem Wirtschaftsprozess durch Entsorgung
- Wiederaufbereitung: Wiedergewinnen von Rohstoffen aus Müll und Abfall; Wiederverwendbarmachen von gebrauchten Substanzen

Die Intensität der Güteraktivität bestimmt den Umfang der transportierten Mengen und die Lage des Standortes in Bezug auf die Standorte anderer Aktivitäten den spezifischen Transportaufwand infolge Länge der zu überwindenden Wege. Weitere Unterschiede zum Personenverkehr sind durch die inhomogene Beschaffenheit der Güter gegeben, die damit unterschiedliche Anforderungen an die Transportmittel stellen. Darüber hinaus erfordert die Veränderung der Güter im Produktionsprozess an den Standorten jeweils andere Transporteigenschaften für Zu- und Abtransport.

6.2 Verkehrsnachfrage im Güterverkehr

Daten aus gesetzlichen Verkehrsstatistiken (vgl. BMVBW, 2003 und BGL, 2002) weisen für 2002 zur Verkehrsnachfrage im Güterverkehr folgende Eckwerte aus: Im binnenländischen Güterverkehr – dazu werden alle Transporte gerechnet, die auf den Verkehrswegen im Bundesgebiet durchgeführt werden, ausgenommen der Dienstgutverkehr der Eisenbahnen, der grenzüberschreitende Straßengüternahverkehr und der Seeverkehr – wurden von Eisenbahn, Binnenschiff und Lkw über 3,5 Tonnen NL (Straßengüterverkehr) insgesamt rund 3,5 Mrd. Tonnen Güter transportiert. Dies entspricht im Mittel 42 Tonnen pro Einwohner. Als entsprechende Beförderungsleistung wurden rund 490 Mrd. Tonnenkilometer angegeben. Anteilig entfielen dabei auf den Straßengüterverkehr rund 72 Prozent; Eisenbahn und Binnenschiff haben Anteile von 15 Prozent und 13 Prozent. Diese Zahlen zeigen deutlich die Bedeutung des Lkw für den Gütertransport. Sie sind noch zu ergänzen durch das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung der Lkw bis 3,5 t NL. Aus Ergebnissen der im Jahr 2002 durchgeführten bundesweiten Verkehrserhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (KiD, 2002) (Wermuth et al., 2003) wurde ermittelt, dass das Verkehrsaufkommen dieser Kraftfahrzeuge rund 753 Mio. Tonnen und die Verkehrsleistung rund 18 Mrd. tkm beträgt. Um diese Werte müssten die Eckwerte der gesetzlichen Statistik erhöht werden, um das Bild der Gesamtverkehrsnachfrage insgesamt zu vervollständigen.

Die Entwicklung des Güterverkehrs zeigt Trends, die langfristig als stabil bezeichnet werden müssen (Köhler, 2001):

– Die kontinuierliche Zunahme des Güterverkehrsaufkommens (Abb. 6.2) sowie der Güterverkehrsleistung (Abb. 6.4)
– Die kontinuierlichen Anteilsgewinne des Straßengüterverkehrs zu Lasten der Verkehrsträger Eisenbahnen, Binnenschifffahrt und Rohrfernleitung (Abb. 6.3 und Abb. 6.5)

Diese Entwicklungen gerade auch in jüngerer Zeit werden durch eine Vielzahl unterschiedlicher Rahmenbedingungen und Effekte (vgl. dazu auch die Zusammenstellung bei Strauß,

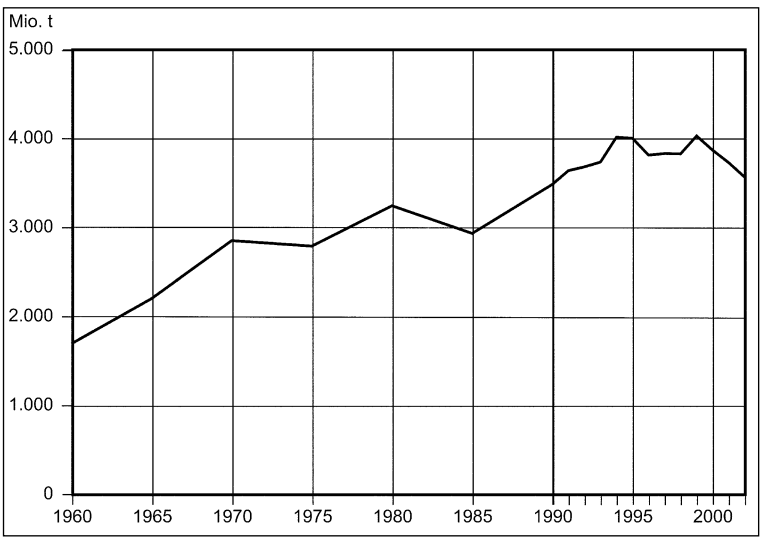


Abb. 6.2 Verkehrsaufkommen im binnenländischen Güterverkehr. (Daten nach BMVBW, 2003)

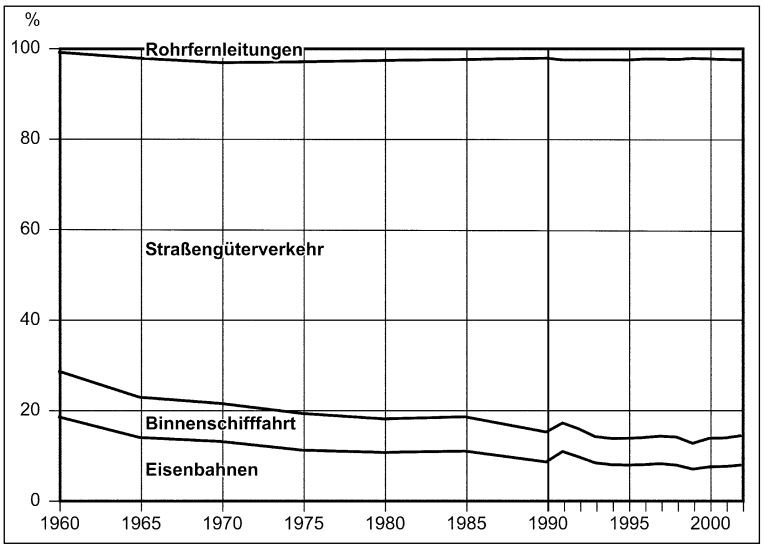


Abb. 6.3 Anteile der Verkehrsbereiche an dem Verkehrsaufkommen im binnenländischen Güterverkehr (Daten nach BMVBW, 2003)

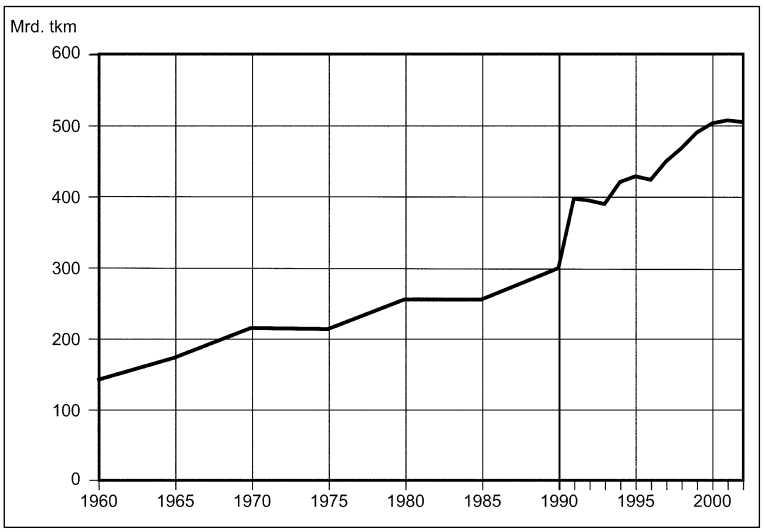


Abb. 6.4 Verkehrsleistung im binnenländischen Güterverkehr (Daten nach BMVBW, 2003)

1997) geprägt. Von hervorzuhebender Bedeutung sind:

– Sinkende Produktionstiefe: Eine zunehmende Arbeitsteilung sowie Rationalisierungsbestrebungen im produzierenden Gewerbe mit der Folge sinkender Produktionstiefen der Unternehmen führen zu steigender Verkehrsnachfrage. Die Herstellung kompletter Produkte durch ein Unternehmen nimmt ab, die Produktion von Halb- und Fertigwaren nimmt zu. Eine weitere Folge dieser Entwicklung sind auch steigende Anforderungen an den Transport bezüglich Termintreue, Verpackung usw.
– Güterstruktureffekt: Massengüter wie Kohle, Steine, Erden mit starker Affinität zur Eisenbahn und mit geringen Ansprüchen an die Transportqualität werden zunehmend

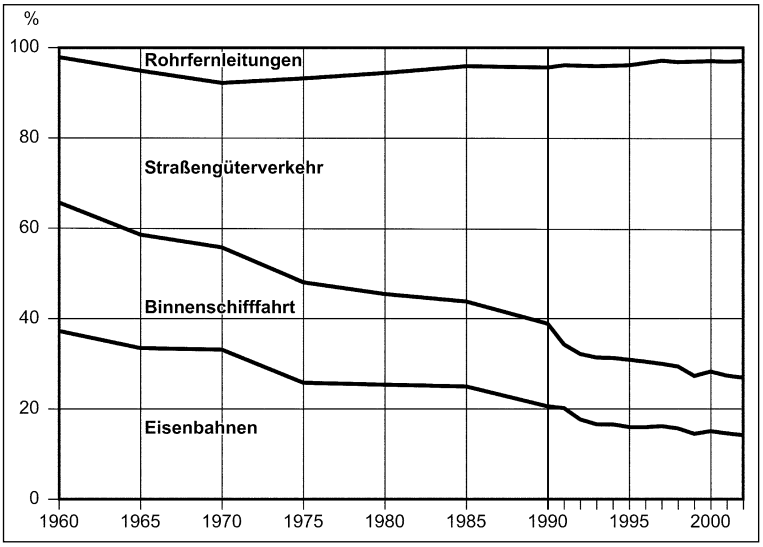


Abb. 6.5 Anteile der Verkehrsbereiche an der Verkehrleistung im binnenländischen Güterverkehr (Daten nach BMVBW, 2003)

seltener transportiert. Der Trend beim Güteraufkommen geht hin zu hochwertigeren Gütern mit geringerem Gewicht und Volumen, bei deren Transport großer Wert auf Schnelligkeit, Zuverlässigkeit und Flexibilität gelegt wird. Der Transport von Komplettladungen mit komparativem Vorteil bei den Eisenbahnen ist rückläufig, zunehmend werden Stückgüter und veredelte Produkte transportiert. Neben dem mengenmäßigen Wachstum des Güterverkehrs ist auch ein wertmäßiges Wachstum festzustellen. Von dem stark gestiegenen Transportbedarf technisch hochwertiger, zeitsensibler Güter mit einem Trend zu immer kleineren Losgrößen und einer steigenden Lieferfrequenz profitiert vor allem der Straßengüterverkehr.

– Entwicklung der EU mit Vollendung des Binnenmarktes: Mit Schaffung des Europäischen Binnenmarktes im Jahr 1993 sind Liberalisierung und Harmonisierung des Güterverkehrsmarktes ständig fortgeschritten, die Reglementierungen wie Konzessionen oder Kabotageverbot sind aufgehoben. Ein sich verstärkender Wettbewerb mit verschärfter Konkurrenz auf dem Verkehrsmarkt sowie ein Anstieg des grenzüberschreitenden Warenaustausches führen zu ansteigendem Verkehrsaufkommen, langfristig sinkenden Transportkosten, zur Notwendigkeit des Ausnutzens von Rationalisierungspotentialen für Transportunternehmen sowie auch zu einem Anreiz zur Verlagerung von Teilen der Güterproduktion in Länder mit niedrigen Löhnen mit entsprechenden Folgen für die Güterverkehrsnachfrage. Die begonnene Öffnung der osteuropäischen Märkte wird zu einem weiteren Zuwachs des grenzüberschreitenden Güterverkehrs führen.
– Globalisierung des Handels: Niedrige Transportkosten verstärken die Suche nach den günstigsten Angeboten auf den Märkten und führen zu einer erhöhten Nachfrage von Gütern aus weit entfernten Märkten. Der globale Handel unterliegt einem stetigen Zuwachs.
– Neue Logistikkonzepte: Infolge steigendem internationalen Wettbewerb seit etwa Beginn der neunziger Jahre wurden neue Produktionsmethoden wie „lean production“ entwickelt, die zu einer Umstrukturierung der Güterverkehrsvorgänge zwischen den

Unternehmen, ihren Zulieferbetrieben sowie ihren Kunden führte. Hierzu gehört die einen hohen Grad an Logistik fordernde zeitlich bedarfssynchrone Belieferung („just in time“) bei gleichzeitiger Verringerung der Lagerbestände.

– Sonstige Einflüsse: Darüber hinaus wirken auf die Verkehrsnachfrage einschließlich den Modal-Split im Güterverkehr eine Vielzahl weiterer Einflüsse. Zunehmender Konsum in Verbindung mit zunehmender Vielfalt bei Waren und Herstellern, neue Marketingstrategien bei den Produzenten sowie der fortschreitende Strukturwandel von der Produktions- zur Dienstleistungsgesellschaft zeigen verkehrsrelevante Wirkungen, die Richtungen der aufgezeigten Trends unterstützen.

Das auch für die Zukunft zu erwartende starke Wachstum des Güterverkehrs wird in Zusammenschau der zuvor aufgezeigten Rahmenbedingungen und Effekte wesentlich durch das erwartete Wachstum des Bruttoinlandproduktes bestimmt. Zwischen Zuwachsraten der Wirtschaftsleistung und Zuwachsraten der Güterverkehrsleistung (ebenso Personenverkehrsleistung) bestehen – wie Abbildung 6.6 zeigt – enge Korrelationen, weil ein Zuwachs an produzierten und gehandelten Gütern Wirtschaftsbeziehungen hervorruft, die durch Transporte realisiert werden müssen. Eine Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Güterverkehrsentwicklung ist eher unwahrscheinlich.

6.2.1 Daten über den Güterverkehr

Für bedarfsorientierte Verkehrsinfrastrukturplanungen auf allen Planungsebenen ist eine fundierte Informationsbasis Voraussetzung. Derzeit besteht aus Sicht der Kenntnisse über die Verkehrsnachfrage im Wirtschaftsverkehr das in Abbildung 6.7 schematisch dargestellte System der Informationsquellen.

Dieses System benennt auf Ebene des Bundes die unterschiedlichen Erhebungen mit ihren spezifischen Befragungsinhalten nach Verkehrsmitteln und nach Beförderungs- bzw. Transportbedingungen und unterscheidet nach amtlichen und nicht amtlichen Statistiken. Infolge des Designs der Erhebungen wird in den Erhebungen „Mobilität in Deutschland (MiD, 2002)“ und „Kraftfahrzeugverkehr in

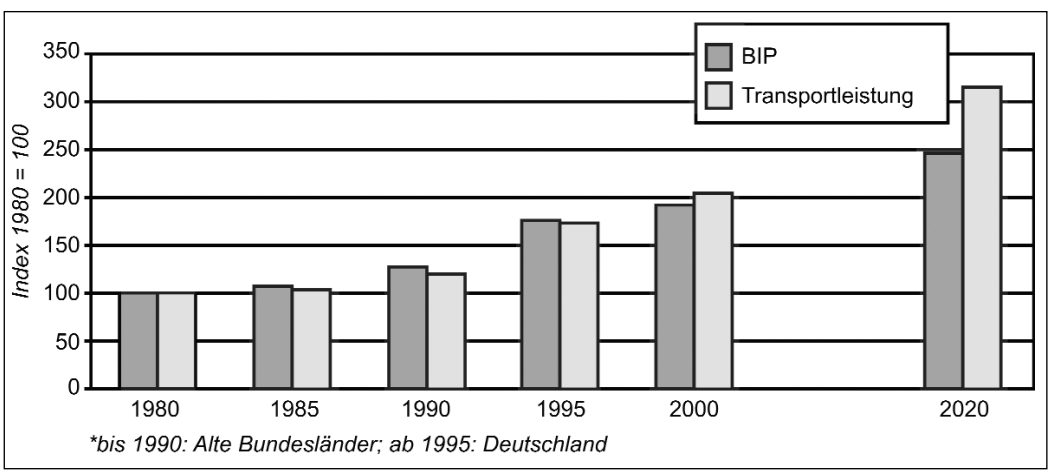


Abb. 6.6 Entwicklung des Bruttoinlandproduktes und der Transportleistungen im Güterverkehr. (ADAC, 2003)

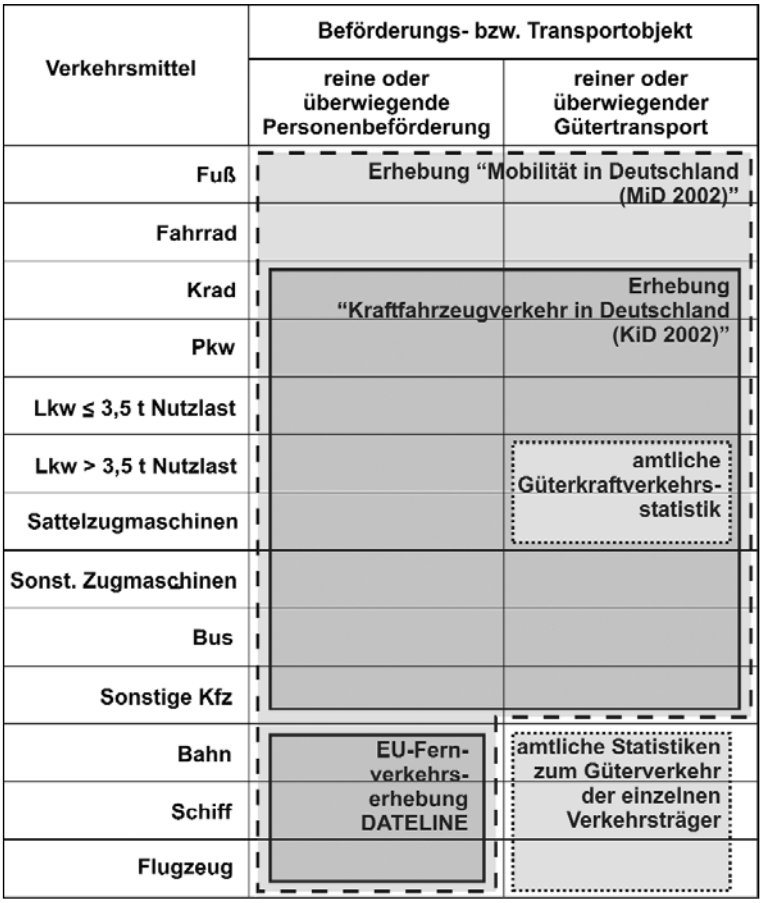


Abb. 6.7 Erfassung der Verkehrsnachfrage im Wirtschaftsverkehr durch Verkehrserhebungen – amtliche und nicht amtliche Statistiken. (Wermuth et al., 2003)

Deutschland (KiD, 2002)" Personenverkehr (einschließlich Personenwirtschaftsverkehr) und Güterverkehr gemeinsam erhoben. Bezüglich der Informationsinhalte der schwerpunktmäßig unterschiedlich ausgerichteten Erhebungen entstehen Überlappungen, die zur gegenseitigen Überprüfung der Datenplausibilität verwendet werden können.

Der Güterverkehr auf städtischer und regionaler Ebene stellt sich als Straßengüterverkehr dar; andere Verkehrsträger spielen keine oder gemessen an der Transportleistung eine nur untergeordnete Rolle. Um insbesondere für Infrastrukturplanungen auf dieser Planungsebene geeignete Daten bereitstellen zu können und um insgesamt die noch bis vor kurzem bestehenden Datendefizite im Bereich des Wirtschaftsverkehrs mit kleinen Kraftfahrzeugen bis 3,5 t Nutzlast (Kräder, Pkw, Lkw) schließen zu können, wurde 2002 die bundesweite Verkehrserhebung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (KiD, 2002) durchgeführt. Diese für das gesamte Bundesgebiet repräsentative Stichprobenbefragung von Kraftfahrzeughaltern zum Einsatz und zur Nutzung ihrer Fahrzeuge an einem Stichtag liefert Informationen in Form von Kenngrößen zum Verkehrsaufkommen (Fahrten, Fahrtenketten, Struktur der Fahrtenketten), zur Verkehrsleistung (Fahrzeugkilometer, Tonnenkilometer und Personenkilometer) und zur Verkehrsbeteiligungsdauer.

Die ebenfalls im Jahr 2002 bundesweit durchgeführte Haushaltsbefragung „Mobilität in Deutschland (MiD, 2002) liefert Informationen zum alltäglichen Verkehr von Personen mit allen Verkehrsmitteln und enthält definitionsgemäß auch den Wirtschaftsverkehr. Frühere Untersuchungen zum Nonresponse bei Haushaltsbefragungen nach dem Design der KONTIV-Erhebungen zeigten jedoch, dass der Wirtschaftsverkehr – insbesondere der Gewerbe- und Dienstleistungsverkehr mit gewerblich genutzten Kraftfahrzeugen – zu einem hohen Anteil nicht berichtet wurde, so dass die Erhebung KiD 2002 zu diesem Verkehrssegment Daten höherer Aussagesicherheit bereitstellt.

Die amtlichen Statistiken zum Güterverkehr enthalten vielfältige Datenbestände, die nach Statistikfeldern gegliedert werden können, wobei sich ein Statistikfeld aus der Kombination der Verkehrsträger (Straße, Schiene, Binnenwasserstraße, See, Luft, Rohrleitung) mit den Datenbereichen Infrastruktur, Fahrzeuge und Transportmittelbestände, Unternehmensangaben, Verkehrsangebote/Fahrleistungen, Verkehrsnachfrage/Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung, Energieverbrauch, Verkehrssicherheit und Preise/Nutzungsentgelte definiert. Die Vielfalt der Statistikfelder wird auch in den entsprechend gegliederten Statistiken der Verkehrsträger deutlich. Dazu werden Übersichten bei (Wermuth et al., 2002) und (Prognos, 1999) gegeben. Wegen ihrer Bedeutung für den Güterverkehr werden beispielhaft folgende Statistiken herausgestellt:

Verkehrsträger Straße:
- Statistik des Kraftfahrzeug- und Anhängerbestandes und seiner Veränderungen
- Unternehmensstatistik des Güterkraftverkehrs
- Güterkraftverkehrsstatistik (Statistik der Verkehrsleistung deutscher Lastkraftfahrzeuge; Statistiken des gewerblichen Fernverkehrs und des Werkfernverkehrs)

Verkehrsträger: Schiene
- Eisenbahnbestandsstatistik
- Eisenbahnverkehrsstatistik

Verkehrsträger Binnenwasserstraße
- Statistik des Bestandes an Binnenschiffen
- Unternehmensstatistik der Binnenschifffahrt
- Statistik des Schiffs- und Güterverkehrs auf Binnenwasserstraßen

Verkehrsträger See
- Statistik des Bestandes an Seeschiffen
- Statistik des Güterverkehrs über See

Verkehrsträger Luft
- Statistik des Luftverkehrs – Unternehmensstatistik
- Gewerblicher Luftverkehr auf ausgewählten deutschen Flughäfen

Verkehrsträger Rohrleitung
- Rohrleitungsstatistik

Verkehrsträgerübergreifend
- Marktbeobachtungsstatistiken des BAG

Um für städtische und regionale Verkehrsplanungen ausreichend differenzierte Informationen zum Güterverkehr mit Fahrzeugen der ortsansässigen Gewerbebetriebe bereitstellen zu können, reichen die Stichproben der zuvor genannten amtlichen und nicht amtlichen Statistiken nicht aus. Deswegen werden in diesen Planungsräumen häufig zusätzlich Betriebsbefragungen durchgeführt. Aus der Vielzahl möglicher Erhebungskonzepte – eine Analyse der Erhebungsmethoden im Wirtschaftsverkehr wird bei Steinmeyer (2003) gegeben – hat sich ein zweiphasig geschichtetes Vorgehen als zielführend erwiesen (WVI, 1996). In der ersten Erhebungsstufe werden ortsansässige Gewerbebetriebe nach Firmengröße und Firmenstruktur sowie nach der Anzahl der von ihnen zugelassenen Fahrzeuge schriftlich befragt. In der zweiten Erhebungsstufe werden die antwortenden Gewerbebetriebe nach Zugehörigkeit zu einem Wirtschaftszweig und Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge geschichtet und daraus eine Stichprobe gezogen. Die

schriftliche Befragung dieser ausgewählten Betriebe erfolgt über einen Fragebogen, der dem Prinzip eines Fahrtentagebuches folgt und der dem Fragebogen der Verkehrsbefragung KiD 2002 ähnlich ist. Als weiteres zielführendes Erhebungskonzept zur Erfassung des städtischen Wirtschaftsverkehrs kommt das in der Verkehrsbefragung KiD 2002 erstmals angewandte Verfahren in Betracht. Hierbei werden die gewerblichen und privaten Halter von im Untersuchungsgebiet zugelassenen Kraftfahrzeugen in einer statistisch abgesicherten Stichprobe aus dem beim Kraftfahrt-Bundesamt geführten Zentralen Fahrzeugregister zu Fahrzeugeinsatz und -nutzung (beispielsweise an einem vorgegebenen Stichtag) schriftlich-postalisch befragt.

6.2.2 Struktur des Güterverkehrs

Güterverkehrsaufkommen – dieses beschrieben durch die Menge der transportierten Güter in Tonnen – sowie Güterverkehrsleistung – diese gemessen als Transportleistung in Tonnenkilometern – sind die in der Verkehrswissenschaft meist verwendeten Kennwerte zur Beschreibung des Güterverkehrs. Werden diese Kennwerte auf längere Zeiträume – beispielsweise ein Jahr – bezogen, sind sie das Ergebnis von Berechnungen unter Verwendung fahrzeugbezogener Kennwerte zum Verkehrsaufkommen und zur Verkehrsleistung sowie fahrtbezogener Kennwerte.

Einen Überblick über die Struktur des Güterverkehrs liefern die in Abbildung 6.8 dargestellten Verteilungen nach den 10 Hauptgütergruppen (Klassifikation gemäß Güterverzeichnis für Verkehrsstatistik) von Güterverkehrsaufkommen und Güterverkehrsleistung. Daraus wird erkennbar, welche Güter in welchen Mengen und über welche Entfernungen von den Verkehrsmitteln der Verkehrsträger transportiert werden.

Differenzierte Kennwerte zur Beschreibung der Verkehrsnachfragestruktur im Straßenverkehr unter Schwerpunktsetzung auf den Straßenwirtschaftsverkehr wurden in der bundesweiten Verkehrserhebung KiD 2002 für alle Kraftfahrzeuggruppen ermittelt. Die betreffenden Ergebnisse sind für den Verkehr an Werktagen in Tabelle 6.1 und für den Verkehr an Wochenend- sowie Feiertagen in Tabelle 6.2 ausgewiesen. Sie vermitteln einen Überblick über den Kraftfahrzeugeinsatz insgesamt und speziell auch über die Nutzung der Kraftfahrzeuge zu Zwecken des Gütertransportes. Die Tabellen vermitteln darüber hinaus über Vergleiche untereinander einen wertvollen Einblick in die unterschiedliche Kraftfahrzeugnutzung an Werktagen und an Wochenend- und Feiertagen, die bezüglich der Güterverkehrsleistung in Tabelle 6.3 ausgewiesen ist.

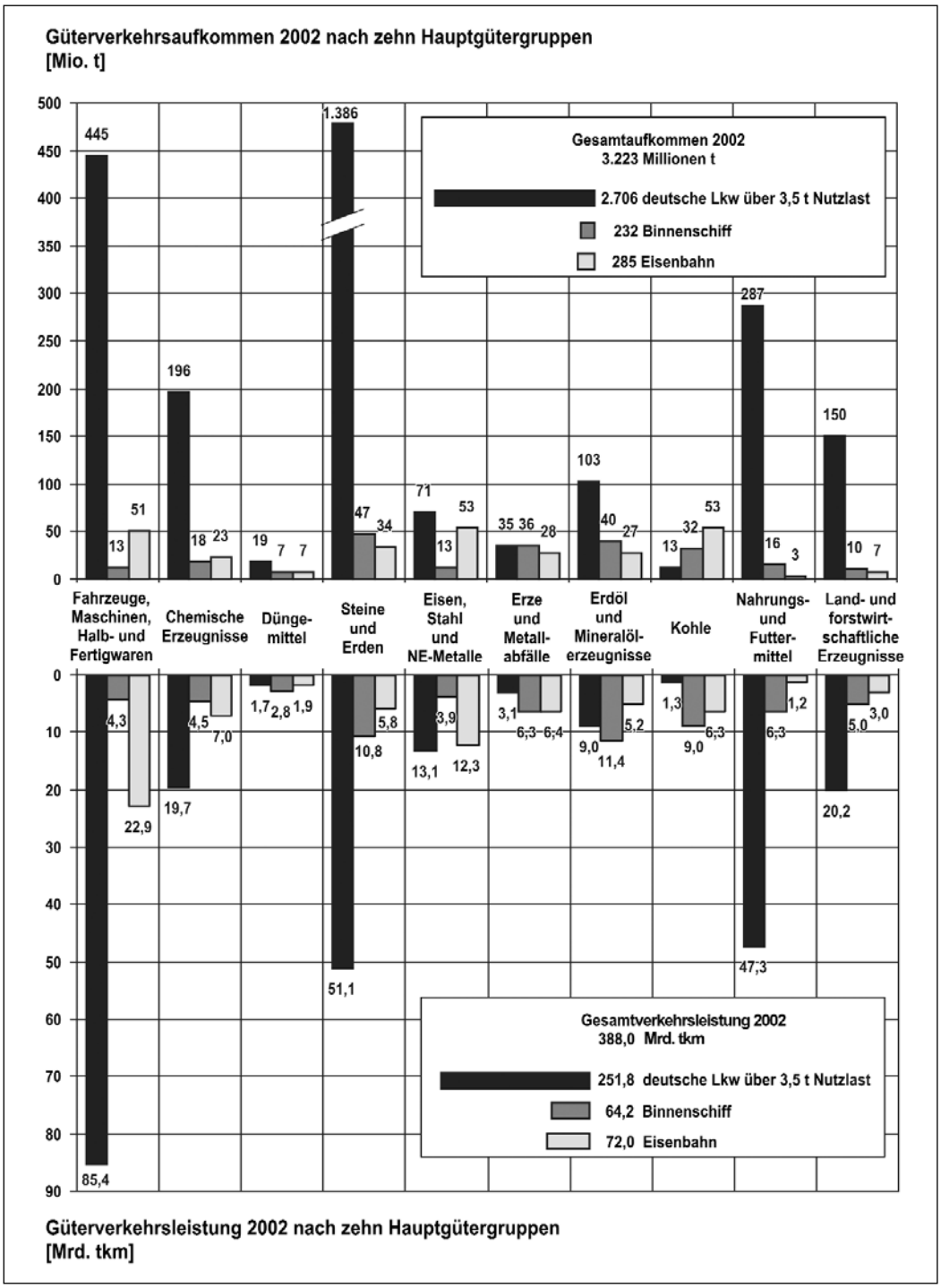


Abb.6.8 Güterverkehrsaufkommen und Güterverkehrsleistung der Verkehrsträger 2002 nach Hauptgütergruppen. (Daten nach BMVBW, 2003)

Tab. 6.1 Kennwerte des werktäglichen Verkehrs aus der bundesweiten Verkehrserhebung KiD 2002. (Wermuth et al., 2003)

Fahrzeuggruppe	**Pkw und Krad privater Halter**	**Pkw und Krad gewerbl. Halter**	**Lkw ≤ 3,5t NL**	**Lkw > 3,5t NL und Sattelzugmaschinen**	**Übrige Kfz mit amtlichen Kennzeichen**
Wochentagstyp	**Mo - Fr**	**Mo - Fr**	**Mo - Fr**	**Mo - Fr**	**Mo - Fr**
Fz-bezogene Kennwerte - Verkehrsaufkommen					
Anteil mobiler Fahrzeuge [%]	65,5	69,7	69,8	74,7	17,8
Fz-Fahrten je mobiles Fz [F/Kfz · d]	3,4	4,3	5,6	5,5	4,3
Fz-Fahrten je mobiles Fz im WV [F/Kfz · d]	0,4	2,8	5,0	5,5	3,6
Anteil der Ladungsfahrten im WV [%]	22,5	21,9	72,7	78,4	36,0
Verkehrsbeteiligungsdauer je mobiles Fz. [min/Kfz · d]	74,7	118,9	115,8	374,1	104,5
Fz-bezogene Kennwerte – Verkehrsleistung					
Fahrzeugfahrleistung je mobiles Kfz [Fzkm/Kfz · d]	57,2	108,0	87,5	321,4	59,9
Fahrzeugfahrleistung je mobiles Kfz im WV [Fzkm/Kfz · d]	8,5	75,2	77,0	320,0	43,5
Gütertransportleistung je mobiles Kfz im WV [tkm/Kfz · d]	4,3	3,4	43,9	3.108,3	196,5
Fahrt-bezogene Kennwerte					
Mittlere Fahrtweite pro Fahrt im WV [km]	18,4	25,9	14,7	55,0	11,2
Mittlere Fahrtweite pro Fahrt im PV [km]	16,1	22,3	19,1	/	21,0
Mittlere Fahrtdauer pro Fahrt im WV [min]	31,0	33,1	28,1	83,8	26,4
Mittlere Fahrtdauer pro Fahrt im PV [min]	21,4	26,0	25,8	/	27,9
Mittlere transp. Gütermenge je Ladungsfahrt [kg]	97,3	114,1	483,8	8.978,4	3.486,9

Tab. 6.2 Kennwerte des Verkehrs für den Verkehr an Wochenenden und Feiertagen (Sa-So/F) aus der bundesweiten Verkehrserhebung KiD 2002. (Wermuth et al., 2003)

Fahrzeuggruppe	Pkw und Krad privater Halter	Pkw und Krad gewerbl. Halter	Lkw ≤ 3,5t NL	Lkw > 3,5t NL und Sattelzugmaschinen	Übrige Kfz mit amtlichen Kennzeichen
Wochentagstyp	**Sa –So/F**	**Sa –So/F**	**Sa –So/F**	**Sa –So/F**	**Sa –So/F**
Fz-bezogene Kennwerte - Verkehrsaufkommen					
Anteil mobiler Fahrzeuge [%]	45,0	29,9	17,9	7,5	12,3
Fz-Fahrten je mobiles Fz [F/Kfz · d]	3,0	3,4	5,0	4,9	3,3
Fz-Fahrten je mobiles Fz im WV [F/Kfz · d]	0,1	1,2	4,0	4,9	2,4
Anteil der Ladungsfahrten im WV [%]	44,4	23,9	78,2	90,6	56,8
Verkehrsbeteiligungsdauer je mobiles Fz [min/Kfz · d	71,5	94,8	92,4	420,6	93,8
Fz-bezogene Kennwerte – Verkehrsleistung					
Fahrzeugfahrleistung je mobiles Kfz [Fzkm/Kfz · d]	62,2	96,7	77,0	396,4	65,8
Fahrzeugfahrleistung je mobiles Kfz im WV [Fzkm/Kfz · d]	2,3	29,8	50,4	390,6	33,6
Gütertransportleistung je mobiles Kfz im WV [tkm/Kfz · d]	4,1	3,1	29,9	4.391,2	50,9
Fahrt-bezogene Kennwerte					
Mittlere Fahrtweite pro Fahrt im WV [km]	26,0	24,3	12,8	76,3	11,6
Mittlere Fahrtweite pro Fahrt im PV [km]	20,5	30,8	24,5	/	35,3
Mittlere Fahrtdauer pro Fahrt im WV [min]	36,5	30,3	27,5	185,9	29,4
Mittlere Fahrtdauer pro Fahrt im PV [min]	24,5	30,5	28,1	/	41,8
Mittlere transp. Gütermenge je Ladungsfahrt [kg]	76,5	106,4	410,8	9.248,5	2.397,5

Tab. 6.3 Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr 2002 nach Wochentagsgruppen: (Daten nach Wermuth et al., 2003)

Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr	Wochentagsgruppe		
	Mo – Fr	Sa - So, F	Summe
Lkw bis 3,5 t Nutzlast [Mrd. tkm/a]	17,1	1,4	18,5
Lkw über 3,5 t Nutzlast [Mrd. tkm/a]	336,5	22,0	358,5
Summe	**353,6**	**23,4**	**377,0**

6.2.3 Entwicklung des Güterverkehrs

Alle in den letzten Jahren vorgelegten Verkehrsprognosen gehen von einem weiteren Wachstum des Güterverkehrs aus. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen beispielsweise erwartet eine Steigerung der Verkehrsleistung im Güterfernverkehr auf Straße, Schiene und Wasserstraße von rund 371 Milliarden Tonnenkilometer im Jahr 1997 auf rund 608 Mrd. tkm im Jahr des Prognosehorizontes 2015 (BMVBW, 2000). Dies ist eine Steigerung um insgesamt 64 Prozent, die unabhängig von den entwickelten Szenarien angenommen wird. Im Szenario „Integration" werden für die Transportleistung folgende Zuwachsraten bei den Verkehrsbereichen erwartet: Lkw (Fernverkehr) +58 Prozent, Lkw (Nahverkehr) +26 Prozent, Eisenbahn +108 Prozent und Wasserstraße + 39 Prozent. Der Modal-Split der prognostizierten Güterverkehrsleistung weist Anteile von 61,5 Prozent für die Straße, 24,3 Prozent für die Schiene und 14,1 Prozent für die Wasserstraße aus (Tab. 6.4).

Die Glaubwürdigkeit dieser Anteile ist – wie bei jedem Szenario – stark abhängig vom Eintreffen der unterstellten verkehrspolitischen Annahmen. Für das Szenario „Integration" wurde die Beseitigung aller bestehenden Kapazitätsengpässe bei der Bahn durch Anpassung der Schieneninfrastruktur an das erreichbare Marktpotential angenommen. Damit wird der politische Wille untermauert, den Modal-Split im Güterverkehr zugunsten der Bahn und zulasten des Lkw zukünftig entsprechend zu gestalten.

Um die Entwicklung des Güterverkehrs bezüglich des Modal-Splits in eine bestimmte Richtung zu lenken, soll die Transportmittelwahl in einer Weise beeinflusst werden, die im Ergebnis den verkehrspolitischen Vorgaben entspricht. Dabei darf nicht verkannt werden, dass die Vielzahl der Entscheidungen über den Einsatz von Verkehrsmitteln für Gütertransporte von den Eigenschaften der Güter selbst sowie von einer Vielzahl weiterer Kriterien abhängt. Beispielsweise sind unter der Voraussetzung des Bestehens von Substitutionsmöglichkeiten für den Mineralöltransport folgende Kriterien für den Einsatz eines Transportmittels bestimmend (Mineralölwirtschaftsverband, 1999):

- Eignung zur Beförderung großer Mengen
- Anpassungsfähigkeit an Transportverbindungen und Mengen
- Optimale Bedienung der Fläche (Netzbildungsfähigkeit)
- Schnelligkeit

Tab. 6.4 Verkehrsleistungen und Modal-Split im Güterverkehr – Vergleich zwischen 1997 und 2015. (BMVBW, 2000)

	1997		Szenario „Integration" 2015		Veränderung gegenüber 1997	
	absolut [Mrd. tkm]	Anteil [%]	absolut [Mrd. tkm]	Anteil [%]	absolut [Mrd. tkm]	relativ [%]
Straße	236	63,6	374	61,5	+138	+58,5
Schiene	73	19,6	148	24,3	+75	+102,7
Wasserstraße	62	16,8	86	14,1	+24	+38,7
insgesamt	**371**	**100,0**	**608**	**100,0**	**+237**	**+63,9**

Tab. 6.5 Bewertung von Transportleistungskriterien beim Mineralöltransport. (Mineralölwirtschaftsverband, 1999)

Kriterium	Transportmittel					
	Seetanker	**Pipeline**	**Binnenschiff**	**Eisenbahn Ganzzug**	**Eisenbahn Einzelwagen**	**Straßentankwagen**
Eignung zur Beförderung großer Mengen	1	1	2	3	5	6
Netzbildungsfähigkeit	5	6	5	3	2	1
Anpassungsfähigkeit an						
– Relationen	3	6	5	4	3	1
– Mengen	2	4	3	2	2	2
Schnelligkeit	4	3-4	4	2	3	2
Zuverlässigkeit/Sicherheit	3	1	3-4	2	2	3-4
Wirtschaftlichkeit	1	1	2	2	4	5
1 = sehr gut geeignet 6 = ungeeignet						

– Zuverlässigkeit und Sicherheit
– Wirtschaftlichkeit

Eine Gegenüberstellung der Transportleistungskriterien am Beispiel des Mineralöltransportes zeigt Tabelle 6.5, wobei sich der Vergleich an dem in überwiegendem Maße für Flüssigkeitstransporte relevanten Verkehrsmittel Pipeline orientiert.

6.3 Modelle zur Beschreibung des Güterverkehrs in Analyse und Prognose

6.3.1 Modellierung des Güterverkehrs

Die Modellierung der Verkehrsnachfrage im Güterverkehr wurde in der Verkehrswissenschaft über eine lange Zeit vernachlässigt. Dies hatte seinen wesentlichen Grund in der Ausrichtung der Verkehrsplanung auf die Bewältigung auftretender Verkehrsmengen. Damit war die Kenntnis der Zusammensetzung des Verkehrs in Personenverkehr und Güterverkehr nachrangig. Es wurde als ausreichend angesehen, die Personenverkehrsnachfrage zu modellieren und den Güterverkehr durch Zuschläge auf das Ergebnis der Modell-

rechnungen zu berücksichtigen. Erst die Neuorientierung der Verkehrsplanung in Richtung auf die Ausschöpfung aller Möglichkeiten der zielgerichteten Gestaltung der Verkehrsnachfrage erfordert für den Güterverkehr eine dem Personenverkehr vergleichbare Methodik der Verkehrsberechnung.

Der Güterverkehr weist im Vergleich zum Personenverkehr deutlich komplexere Strukturen auf. Beim Güterverkehr sind die Transportgegenstände inhomogen, die Beschaffenheit der Güter kann unterschiedliche Anforderungen an die Transportmittel und den Transportrhythmus stellen und meist gibt es mehrere Entscheidungsträger über einen Transportvorgang (Versender, Empfänger, Frachtführer). Deswegen gestaltet sich die Aufgabe der Beschreibung der Verkehrsnachfrage im Güterverkehr über mathematische Modelle als eine komplexe und damit schwierige Aufgabe. Bisherige Modellansätze können unterschieden werden nach

- der verwendeten Basisgröße in güterstrom- und fahrzeugbezogene Modelle,
- dem Aggregationsniveau in aggregierte und disaggregierte Modelle oder definitorisch zutreffender in Aggregatmodelle und Individualverhaltensmodelle,
- dem Verfahren der Verkehrsnachfragemodellierung in mikroskopische und makroskopische Modelle,
- dem räumlichen Bezugsrahmen in großräumige und kleinräumige Modelle sowie
- dem Modellaufbau in mehrstufige, einstufige und Produktions-/Verbrauchsmodelle.

Güterstrombezogene Verkehrsnachfragemodelle in einer für die Verkehrsplanung verwendbaren Form sind seit Mitte der siebziger Jahre bekannt. Sie verwenden als Basisgrößen die transportierten Gütermengen meist nach Gütergruppen zusammengefasst und wurden entwickelt, um Transportaufkommen und dessen Aufteilung auf die Verkehrsträger (meist Straße, Schiene und ggf. Wasserstraße) abzuschätzen. Für diese Anwendungen geht dieser Modelltyp von einer relativ groben Einteilung des Raumes in Verkehrszellen aus – ist deswegen prinzipiell zur Beantwortung großräumiger Fragestellungen geeignet – und verwendet die statistischen Zusammenhänge zwischen Güteraufkommen und wirtschaftlichen Strukturmerkmalen der Güterproduktion und Güterverarbeitung. Dieser häufig auch als klassisch bezeichnete Modelltyp bedient sich eines fünfstufigen Modellablaufes (Machledt-Michael, 2000):

- Erzeugung des Güteraufkommens je Verkehrszelle als Versand- und Empfangsmengen
- Räumliche Verteilung der Güteraufkommen zwischen den Verkehrszellen (Güterverflechtungen)
- Aufteilung der Güterströme auf die Verkehrsträger
- Umsetzung der Güterströme je Verkehrsträger in Fahrzeugströme
- Routensuche und Umlegung je Verkehrsträger

Ansätze, die Strukturen dieses Modelltyps auf kleinräumige Fragestellen beispielsweise für städtische oder regionale Verkehrsplanungen zu übertragen, hat es vereinzelt im Bereich der Verkehrsforschung gegeben. Sie haben bisher einen Entwicklungsstand erreicht, der sich noch wenig für einen Einsatz in der Praxis eignet. Wesentliche Gründe dafür liegen in der fehlenden Verfügbarkeit notwendiger Daten zur Durchführung hauptsächlich der Verkehrserzeugung auf entsprechend kleinräumigem Niveau und in den Unschärfen, die mit den notwendigen Umrechnungen von Güterströmen in für die Verkehrsplanung relevante Fahrzeugfahrten verbunden sind.

Fahrzeugbezogene Modellansätze zur Berechnung der Verkehrsnachfrage im Straßengüterverkehr erzeugen Fahrzeugströme, ohne zuvor Gütermengen zu betrachten. Konzeptionsbedingt ist eine implizite Abbildung des

Modal-Splits nicht mehr möglich. Da bei einem Modelleinsatz für städtische Verkehrsplanungen die Wahl des Verkehrsmittels meist ohne nennenswerte Bedeutung ist, eignet sich dieser Modelltyp besonders für die Verwendung bei der Ermittlung von Güterverkehrsverflechtungen auf der städtischen Raumebene.

Die aggregierten Verkehrsnachfragemodelle (im Personenverkehr wird dieser Modelltyp häufig auch als „traditionell" bezeichnet) beschreiben das Güterverkehrsaufkommen auf der Ebene definierter Raumeinheiten (Verkehrszellen) als Folge der Wirtschaftsstruktur, welche über Aggregatdaten beschrieben wird. Bei den disaggregierten Verkehrsnachfragemodellen werden zunächst die am Güterverkehr Beteiligten mit ihren spezifischen Merkmalen betrachtet und deren Entscheidungsprozess nachgebildet. Das Verkehrsaufkommen wird als Folge dieses Prozesses beschrieben. Die auf diese Weise ermittelten Einzelwerte können anschließend räumlich aggregiert werden. Disaggregierte Güterverkehrsnachfragemodelle unterscheiden sich von den aggregierten Modellansätzen neben einer besseren Eignung für eine Prognose vor allem durch das Bemühen, die unterschiedlichen Auswirkungen von in den Modellen unterstellten Maßnahmen auf den Entscheidungsprozess darzustellen, um somit für Planungszwecke differenziertere Bewertungen zu ermöglichen.

Mikroskopische Modelle verweisen auf ein Verfahren, bei dem das zu erwartende Verkehrsgeschehen in allen sachlichen und räumlich-zeitlichen Differenzierungen mittels Wahrscheinlichkeitsaussagen zum verkehrsrelevanten Verhalten einzelner statistischer Einheiten unter den konkreten Bedingungen der Raum- und Verkehrsinfrastruktur durch eine Anzahl von Simulationsläufen mittels der Monte-Carlo-Technik abgebildet wird (Lohse, 2000). Die Anzahl der Simulationsläufe wird auf der Grundlage stichprobentheoretischer Überlegungen bestimmt. Sich anschließende Hochrechnungen sind zur Erfüllung notwendiger Nebenbedingungen erforderlich. Makroskopische Modelle bezeichnen dagegen ein Verfahren, bei dem das Verkehrsgeschehen in allen sachlichen und räumlich-zeitlichen Differenzierungen mittels Wahrscheinlichkeitsaussagen zum verkehrsrelevanten Verhalten unter den konkreten Bedingungen der Raum- und Verkehrsinfrastruktur und unter Einschluss aller Nebenbedingungen durch speziell abgeleitete und begründete Algorithmen unmittelbar abgebildet wird.

In Tabelle 6.6 sind Berechnungsmodelle zur Verkehrsnachfrage im Güterverkehr bzw. im Wirtschaftsverkehr insgesamt zusammengestellt. In diese Übersicht wurden diejenigen Modellansätze aufgenommen, die durch mehrfache praktische Anwendung und/oder durch eine methodisch anspruchvolles Modellkonzept Bedeutung erlangt haben.

Beispielhaft werden wegen verhältnismäßig häufiger Einsätze in der Praxis das Modell WIVER und wegen ihrer innovativen und hochentwickelten modelltheoretischen Entwicklungsstände das makroskopische, analytische und disaggregierte Kennwertmodell von Lohse sowie der fahrtenkettenorientierte mikroskopische Ansatz von Machledt-Michael vorgestellt. Diese Modelle eignen sich für Einsätze in städtischen oder regionalen Planungsräumen.

Tab. 6.6 Übersicht über Modelle zur Berechnung der Verkehrsnachfrage im Güter- und Wirtschaftsverkehr, überarbeitet nach Machledt-Michael (2000) →

Modell	Zentrale Größe der Modellierung	Verkehrsträger					Gebietsbezug			
		Binnenschiff	Bahn	Straßengüterfernverkehr	Straßengüternahverkehr	Personenwirtschaftsverk.	Bundesrepublik	Region	Stadt	Städtische Teilgebiete
„Essener Modell“ IVV-Aachen um 1970	Kfz-Fahrtenaufkommen			X	X			O	O	
Güternahverkehrserzeugung MEYER 1973	Güterströme				X			O	O	
Städtischer Lieferverkehr SCHWERDTFEGER 1976	Kfz-Fahrtenaufkommen				(X)					O
Erfassung des Güterverk. SCHMIDT 1977	Güterströme	(X)	(X)	X	X			O	O	
Güterfernverkehrsmodell BVU 1982	Güterströme	X	X	X			O			
Verk.plan. Berechnungsmethoden ... FÖRSCHNER 1982	Kfz-Fahrtenaufkommen			X	X			O	O	
Güterverkehrsprognose KESSEL u.a. 1991	Güterströme	X	X	X	(X)		O			
System-Dynamics-Modell WEIGEL 1993	Güterströme BSP	(X)	(X)	X			O			
Vermind. ... im Güterfernv. UBA 1994/1	Güterströme			X			O			
Wirtschaftsverkehr in Städten REINMEYER 1994	Kfz-Fahrtenaufkommen				(X)	(X)				O
Wirtschaftsverkehrsmodell IVU AG 1995	Kfz-Fahrtenaufkommen				X	X		O	O	
Fahrtenkettenmodell MACHLEDT-MICHAEL 2000	Kfz-Fahrtenaufkommen				X	X		O	O	
Kennwertmodell LOHSE 1997/2003	Kfz-Fahrtenaufkommen				X	X		O	O	

X Verkehrsträger wird im Modell behandelt
(X) Verkehrsträger wird im Modell nur eingeschränkt behandelt
O das Modell bezieht sich auf die angegebenen Gebietskategorien

6.3.2 Ansätze zur Modellierung der Verkehrsnachfrage

6.3.2.1 Berechnungsmodell WIVER

Das 1995 von der IVU AG, Berlin veröffentlichte Wirtschaftsverkehrsmodell WIVER hat sich infolge mehrfacher Anwendung in regionalen Planungsräumen einen hohen Bekanntheitsgrad erworben. In diesem Modell wird der Wirtschaftsverkehr eines durchschnittlichen Wochentages nach Quellbranchen und Fahrzeugtypen berechnet. Dabei werden, wie der Überblick in Abbildung 6.9 zeigt, für jede Quellbranche und jeden Fahrzeugtyp vier Modellierungsstufen durchgeführt.

In Stufe 1 erfolgen die Ermittlung der Tou-

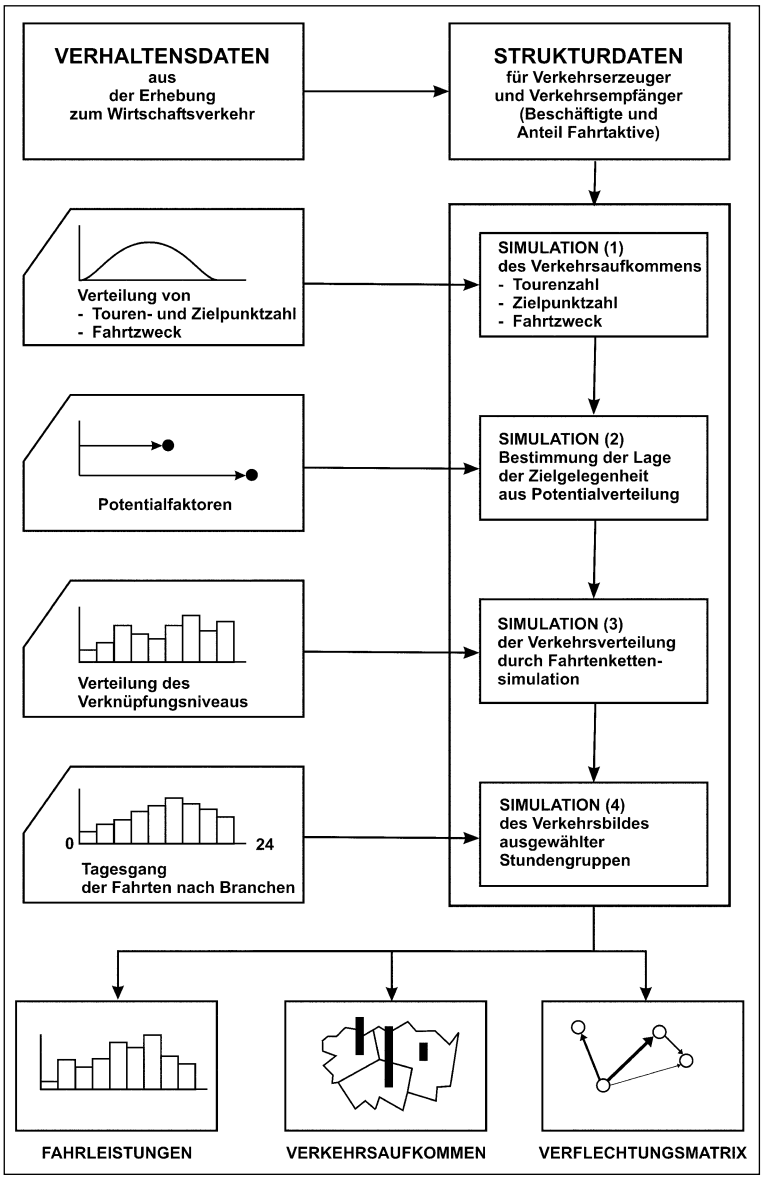


Abb. 6.9 Überblick über das Wirtschaftsverkehrsmodell WIVER. (IVU, 1995)

renzahl, der Anzahl der Zielpunkte und der Fahrtzweck für jede Branchengruppe, jeden Fahrzeugtyp und jede Verkehrszelle. Damit werden in dieser Stufe das Gesamtverkehrsaufkommen und die Strukturbeziehungen der Branchengruppen untereinander berechnet. In Stufe 2 werden die Zielpunkte den Verkehrszellen mit Hilfe eines klassischen Potentialansatzes räumlich zugeordnet, so dass somit die Berechnung des Verkehrsaufkommens verkehrszellengenau erfolgt. In Stufe 3 werden die Fahrtenketten durch eine Verknüpfung der Zielpunkte zu Touren simuliert. Auf diese Weise erfolgen die Berechnung der Verkehrsverteilung und die Bildung einer Verkehrsmatrix als Grundlage für die Verkehrsumlegung. In der 4. Stufe werden die in den Stufen 1 bis 3 berechneten Verkehrsbeziehungen an die jeweiligen Tagesperioden mit Hilfe von Tagesganglinien angepasst. Als Gesamtergebnis wird das Verkehrsaufkommen in Form einer Wirtschaftsverkehrsmatrix, differenziert nach Branche, Fahrzeugtyp und Tagesperiode, bereitgestellt. Eckwerte zu Fahrzeugfahrleistungen werden ebenfalls angegeben. Das Modell WIVER erfordert spezielle Strukturdaten, die für jeden Anwendungsraum aus Primärerhebungen – beispielsweise aus Betriebsbefragungen – ermittelt werden müssen. Dieser Aspekt ist insbesondere bei einer Modellprognose zu berücksichtigen.

6.3.2.2 Kennwertmodell nach LOHSE

Das Wirtschaftsverkehrsmodell von LOHSE (Kennwertmodell derzeit integriert in das Programmsystem VISEVA) weist eine grundsätzlich ähnliche Struktur wie das Modell WIVER auf. Es stützt sich auf Rundfahrtengruppen, die jeweils durch eine Branche und eine oder mehrere Bezugsgrößen der Versender definiert sind. Sämtliche Rundfahrten einer Rundfahrtengruppe werden getrennt nach drei definierten Quell-Ziel-Gruppen-Typen in Verkehrsstrommatrizen eingetragen, in denen die Verkehrsaufkommen mit „harten“ Randsummenbedingungen aus den spezifischen Kenngrößen (spezifisches Versandaufkommen, mittlere Rundfahrtenanzahl pro Bezugsgröße, mittlere Fahrtenanzahl in einer Rundfahrt und mittlere Erzeugungsrate) und den zugehörigen maßgebenden Strukturgrößen ermittelt werden. Durch die getroffene Rundfahrtendefinition sind die Quell-, Ziel- und Gesamtverkehrsaufkommen mit „harten“ Randsummenbedingungen eindeutig bestimmt. Für die Verbindungsfahrten innerhalb einer Rundfahrt wird festgehalten, durch welchen „Heimatstandort“ diese erzeugt werden. Diese „weichen“ Verkehrsaufkommen werden durch eine fahrtenkettenorientierte Verkehrsverteilung bestimmt, welche die „harten“ Randsummenbedingungen, die Wirkungen der Quell- und Zielpotentiale sowie die Reichweite der polaren Einzugsgebiete berücksichtigt. Durch Anwendung des Prinzips der Entropiemaximierung entsteht unter Beachtung aller Randsummen- und Nebenbedingungen ein Modell der Verkehrsverteilung für den Wirtschaftsverkehr, das die Verkehrsbeziehungen zwischen den Verkehrszellen bestimmt.

6.3.2.3 Fahrtenkettenmodell nach MACHLEDT-MICHAEL

Zum Zweck der Berechnung der Verkehrsnachfrage beim straßengebundenen Wirtschaftsverkehr hat Machledt-Michael auf Basis umfangreicher empirischer Analysen bei Betriebsbefragungen im Jahr 2000 ein innovatives Modellkonzept entwickelt. Wie der Modellablauf in Abbildung 6.10 zeigt, wird ein einzelfahrzeugbezogener Ansatz verfolgt und dabei die Verkettung der Fahrten zu Touren berücksichtigt.

„Für jedes Fahrzeug des Wirtschaftsverkehrs im Untersuchungsgebiet wird das Modell einmal durchlaufen. Für das Fahrzeug wird abhängig von der Zugehörigkeit zu einer Fahrzeuggruppe ein Tagesprogramm ausge-

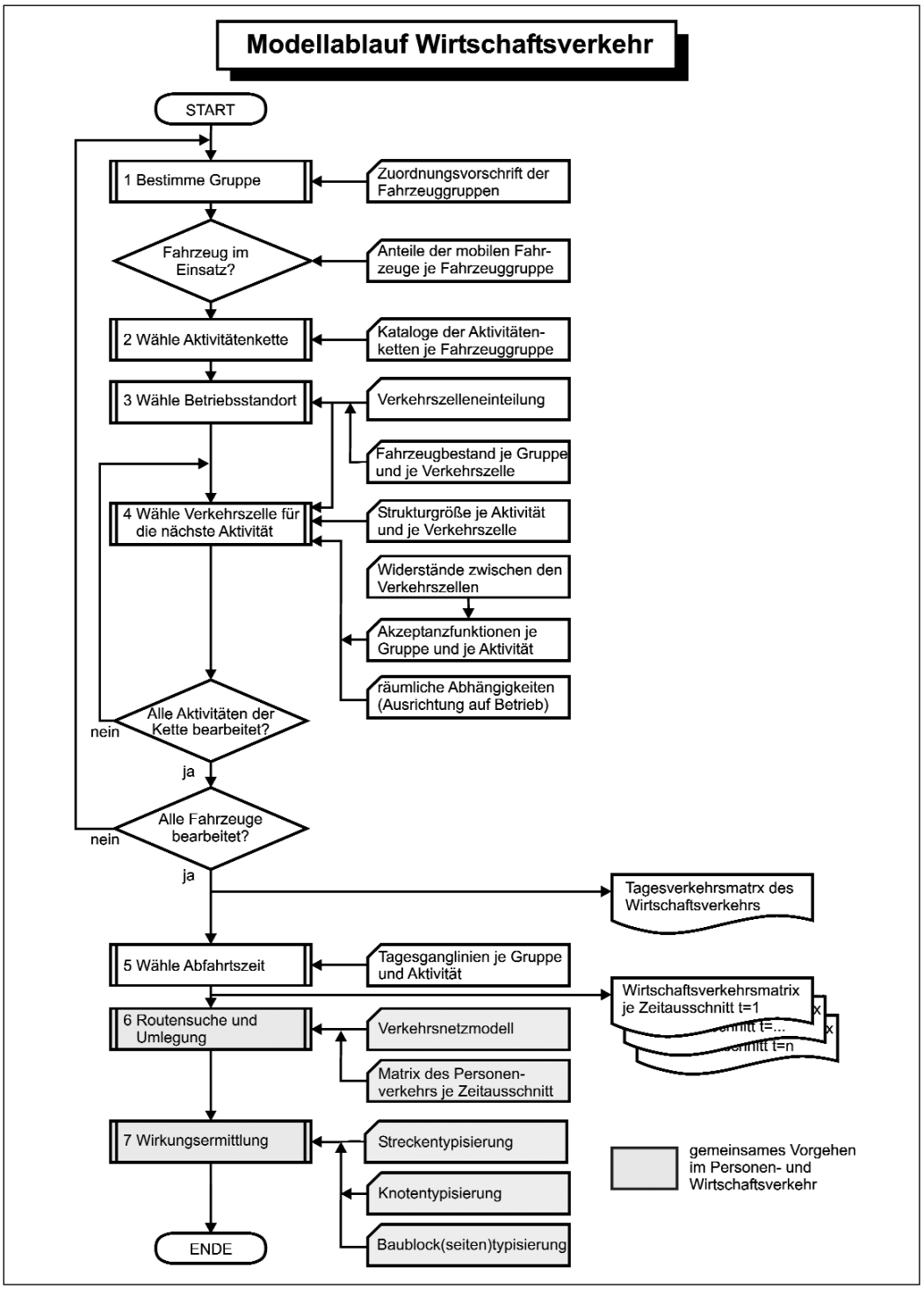


Abb. 6.10 Modellablauf des Fahrtenkettenmodells. (Machledt-Michael, 2000)

wählt, das die Abfolge der Zielarten, also die Aktivitätenkette des Fahrzeuges festlegt. Den Zielarten werden die Zellen des Untersuchungsraumes stochastisch zugeordnet, wobei eine Zelle umso wahrscheinlicher angefahren wird, je größer ihr Potential bezüglich der Zielart und je geringer ihr Widerstand zur Vorläuferzelle innerhalb der Tour ist. Etwa jede dritte Tour weist mehr als ein Ziel auf. Bei diesen Touren ist zusätzlich die Ausrichtung auf die Zelle des Betriebsstandortes von Einfluss. Jeder auf diese Weise mit Quelle und Ziel definierten Fahrt wird in Abhängigkeit von Fahrzeuggruppe und Zielart eine Abfahrtszeit zugewiesen. Ergebnis des vollständigen Modellablaufes sind Matrizen des Wirtschaftsverkehrs, die nach Fahrzeugart, Zielart und Tageszeit unterschieden werden können“ (Machledt-Michael, 2000). Zur Erstellung der benötigten Tagesprogramme wird ein Algorithmus verwendet, der sich an Methoden der Evolution orientiert und somit eine schnelle Optimierung garantiert.

Die ermittelten Matrizen des Wirtschaftsverkehrs können nach entsprechender Überlagerung mit denen des Privatverkehrs mittels Routenwahl- und Umlegungsmodellen in Straßennetzbelastungen überführt werden. Diese dienen den hochentwickelten Wirkungsmodellen als Eingangsgrößen, deren Aussagegenauigkeit durch detaillierte Informationen über die Wirtschaftsverkehrsströme deutlich erhöht wird.

6.4 Planungsansätze zur Gestaltung des Güterverkehrs

6.4.1 Ziele – Strategien – Maßnahmen

Um die heute allgemein akzeptierten Ziele der Stadt- und Regionalplanung erreichen zu können, muss bei Erhalt der Mobilität insgesamt das Wachstum des Kraftfahrzeugverkehrs reduziert und der verbleibende Kraftfahrzeugverkehr hinsichtlich seiner Belastungen auf ein verträgliches Maß zurückgeführt werden. Dazu wurden in den vergangenen Jahren die Strategien der Verkehrsvermeidung, der Verkehrsverlagerung und der Erhöhung von stadtverträglicher und effizienter Verkehrsabwicklung formuliert und intensiv diskutiert, wobei eine integrative Betrachtung aller Verkehrsarten und Verkehrsträger vorauszusetzen ist.

Bezogen auf den Güterverkehr bedeuten diese Strategien (in Anlehnung an (Strauß, 1997)):

- eine Vermeidung des nicht notwendigen städtischen Güterverkehrs,
- eine Verlagerung des notwendigen Lkw-Verkehrs auf umweltverträglichere Verkehrsmittel (intermodal) bzw. eine Verlagerung auf weniger sensible Routen (intramodal) und
- eine stadtverträglichere, effizientere Abwicklung des notwendigen, nicht verlagerbaren Güterverkehrs.

Zur Abgrenzung der Begriffsinhalte von notwendigem und nicht notwendigem Verkehrs wird in der Literatur vielschichtig diskutiert; allgemein akzeptierte Definitionen gibt es derzeit noch nicht. Eine stadtverträgliche Abwicklung des Güterverkehrs zielt ab auf eine geringe Flächenbeanspruchung, geringe Umweltbelastung und geringe Störungen der übri-

gen Verkehrsträger und Verkehrsteilnehmer sowie aus volkswirtschaftlicher Sicht auf eine möglichst hohe Effizienz. Die Konkretisierung dieser Planungsstrategie gestaltet sich als besonders schwierig, weil besondere heterogene Strukturmerkmale und komplexe Rahmenbedingungen einbezogen werden müssen. Der Güterverkehr ist wesentliche Vorraussetzung zum Erhalt der Funktionsfähigkeit der Städte, er resultiert aber aus unternehmerischen Tätigkeiten und unterliegt somit dem betrieblichen Rationalitäts- und Rationalisierungskalkül (Hesse, 1999). Gütertransporte sind zunehmend integrierte Teile von überaus komplexen logistischen Prozessen, für die seitens der Wirtschaft eine Perfektionierung angestrebt wird (Binnenbruck, 2001). Deswegen sind die Chancen zur verkehrsplanerischen Einflussnahme auf den Güterverkehr begrenzt, weil häufig Zielkonflikte zwischen ökologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen bestehen.

Eine Umsetzung der Strategien erfordert Maßnahmen, die bezogen auf den Güterverkehr – soweit diese die kommunale Kompetenz betreffen – nach (FGSV, 1999) in folgende Handlungsfelder/Kategorien eingeordnet werden können:

- Stadtentwicklung
- Verkehrsinfrastruktur
- Ordnungspolitik
- Verkehrsorganisation.

In Tabelle 6.7 werden Handlungsansätze/Maßnahmen zusammengestellt und über Merkmale hinsichtlich deren Wirkung qualitativ bewertet.

Verkehrskonzepte, die darauf abstellen, die Strategien zur Gestaltung des Güterverkehrs umzusetzen, müssen integrative Ansätze verfolgen, in denen Maßnahmen aus unterschiedlichen Handlungsfeldern zu Bündeln zusammengefasst und diese in den Zusammenhang einer Gesamtverkehrsplanung, d.h. einer gemeinsamen Gestaltung von Personen- und Güterverkehr, gestellt werden.

6.4.2 Beispiele für Maßnahmen

6.4.2.1 Vernetzung der Verkehrsträger/ Kombinierter Verkehr

Kombinierter Verkehr (KV) im erweiterten Sinn ist intermodaler Verkehr (Reim, 2004). In Übereinstimmung mit nationalen und internationalen Definitionen wird dieser abgegrenzt als Transport von Gütern in Ladungsträgern, wobei nacheinander verschiedene Transportmodi (z.B. Lkw, Eisenbahn, Schiff) benutzt werden und die Güter selbst während des gesamten Transportes und somit auch während der Umladungen zwischen den Transportmodi in den Transport-Ladungsträgern (z.B. Containern, Wechselbehältern, Lkw und Lkw-Anhängern) verbleiben. Kombinierter Verkehr im engeren Sinne stellt eine Unterkategorie des intermodalen Verkehrs dar, bei der als weiteres Kriterium hinzukommt, dass der längere Teil der Transportstrecke mit der Eisenbahn oder mit Schiffen durchgeführt wird und der Vor- und Nachlauf auf der Straße so kurz wie möglich gehalten wird. Man unterscheidet darüber hinaus zwischen begleitetem und nicht begleitetem Kombinierten Verkehr. Beim begleiteten KV werden die Lastzüge im Schienen- und Schiffstransport mitgeführt; die Fahrer begleiten ihre Fahrzeuge. Bei der Bahn wird diese Verkehrsart als „Rollende Landstraße“ bezeichnet, bei der Schifffahrt spricht man von „Roll-on/Roll-off-Lkw-Verkehren“. Bei nicht begleitetem KV werden die Ladungsträger im Hauptlauf ohne Motorfahrzeuge transportiert; nur der Vor- und der Nachlauf werden per Lkw durchgeführt.

Im Kombinierten Verkehr wird der Gütertransport in Kooperation von Lastkraftwagen, Eisenbahnen und Schiffen in integrierten Transportketten durchgeführt. Dieses Verkehrskonzept verfolgt den Grundgedanken der Verknüpfung der Systemstärken der einzelnen Verkehrsträger zu einem eigenständigen und wirtschaftlichen Verkehrssystem. Auf Schiene

Tab. 6.7 Qualitative Merkmale von Maßnahmen zur Beeinflussung des Wirtschaftsverkehrs in kommunaler Kompetenz. (FGSV, 1999)

Maßnahmen bezeichnung	Merkmale					
	Kosten	Umsetzungszeitraum	Wirkungsrichtung	Wirksamkeit im Stadtverkehr	Gewerbe	Bevölkerung
Stadtentwicklung						
Flächenmanagement	+	+++	VM	++	++	++
Gewerbegebiete	+++	+++	VM	++	+++	+
Verkehrsinfrastruktur						
GVZ (Güterverkehrszentren)	++++	+++		++	+++	+
GVZ und City-Terminals	+++	++	VM/VL	++	++	++
Netzgestaltung	+++	++	HA	+	+++	+
Ladezonen	++	+/++	HA	+	+++	+
Ordnungspolitik						
Road Pricing, Parkraum	++/+++	+/++	VM/HA	+++	+	+/++
Fahrverbote zeitl., räuml.	+	+		+	+	+++
Sonderspuren ÖPNV/WIV	+/++	+	HA	+/++	+++	+/++
Routenvorgabe WIV	+/++	+/++	HA/VM	+/++	+	++/+++
Konzessionierung von Distriktbelieferern	+	+	VM	++/+++	+	+++
Verkehrsorganisation						
Verkehrsinformationssyst.	++/++++	++/+++	HA/VM	++/+++	++/+++	+++
Kooperationen/Pools	+	+	VM	+++	++	+++
Güterverkehr auf ÖPNV	+++	++	VL	+	+	+++
Personen-WIV auf ÖPNV	+/++	+	VM	++/+++	++	+++
Verkehrsverstetigung	++/+++	+/++	HA	+/++	+++	+

VM Vermeidung HA Harmonisierung
VL Verlagerung WIV Wirtschaftsverkehr
Operationalisierung der qualitativen Merkmale + = gering/kurz
++ = mittel
+++ = hoch/lang
++++ = sehr hoch/lang

und Wasserstraße sollen große Mengen an Gütern und Ladeeinheiten über längere Strecken effizient und umweltfreundlich befördert werden, für den Vor- und Nachlauf auf der Straße steht der Lastkraftwagen als hinsichtlich Beförderungszeit und Flächenerschließung flexibler Verkehrsträger zur Verfügung.

In dem System des Kombinierten Verkehrs werden folgende Vorteile gegenüber monomodalen Gütertransport auf der Straße gesehen:

- Entlastung der Straßen
- Verringerung des Energieeinsatzes
- Reduktion verkehrsbedingter Umweltwirkungen
- Verbesserung der Verkehrssicherheit durch Verlagerung von Gefahrguttransporten.

Wegen dieser Vorteile räumt die Verkehrspolitik des Bundes dem Kombinierten Verkehr einen hohen Stellenwert ein und sieht in der Förderung dieses Verkehrssystems ein geeignetes Instrument zur Sicherung der Mobilität, speziell zur gleichmäßigeren Auslastung der Verkehrsinfrastruktur sowie zur Vermeidung infrastruktureller Engpässe (BMVBW, 2001a).

Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung im System des Kombinierten Verkehrs sind aus Sicht der Verkehrsstatistik nur sehr schwierig quantifizierbar. Bisher werden die statistischen Daten für die einzelnen Verkehrszweige getrennt erfasst, aufbereitet und dargestellt. Der Nachweis von Transportketten ist nicht möglich. Aus Zusammenstellung verschiedener Datenquellen in Verbindung mit Schätzungen ist bekannt, dass gemessen an der Gesamtmenge der in Deutschland beförderten Güter der Kombinierte Verkehr eine nur untergeordnete Bedeutung hat. So werden für das Jahr 1999 die Anteile des Kombinierten Verkehrs an den mit der Eisenbahn beförderten Gütern auf 14,3 Prozent und an den mit dem Binnenschiff beförderten Gütern auf 4,5 Prozent geschätzt (BMVBW, 2001a). Für den Kombinierten Verkehr sind die – auf Basis von 1999 ermittelten Daten – größenordnungsmäßig in Tabelle 6.8 dargestellten absoluten Beförderungsmengen realistisch.

6.4.2.2 Güterverkehrszentren

Bei Güterverkehrszentren (GVZ) handelt es sich um Gewerbegebiete mit einem breiten Spektrum verschiedener rechtlich und wirtschaftlich selbständiger Unternehmen des Güterverkehrs (Spediteure, Frachtführer). Hinzu kommen güterverkehrsergänzende Dienstleistungen, wie Lagerhalter, Reparaturwerkstätten und Tankstellen. In der räumlichen Zusammenlegung dieser unterschiedlichen Aktivitäten liegt die verkehrliche Bedeutung von GVZ. Mit ihrer Bündelungs- und Verteilfunktion vermögen sie einen wesentlichen Beitrag für die Wirtschaftlichkeit und Marktfähigkeit des KV zu leisten. Aus diesem Grunde soll eine KV-Umschlagsanlage wesentlicher Bestandteil eines GVZ sein.

Tab. 6.8 Beförderungsmengen im Kombinierten Verkehr 1999. (Reim, 2002)

	Beförderungsmenge mit Containern, Wechselbehältern und Straßenfahrzeugen 1999 [Mio. t]			
	Gesamt	**Innerdeutscher Verkehr**	**Grenzüberschreitender Verkehr**	**Transit**
Eisenbahn	33,1	12,1	18,0	3,0
Binnenschiff	10,3	0,6	8,3	1,3
Seeschiff	75,5	1,1	74,4	-

Mit der Einrichtung von Güterverkehrszentren werden die Ziele verfolgt, den Güterverkehr effizient zu gestalten und die Verkehrsträger Schiene und Wasserstraße verstärkt zu fördern. Nach den Bund-/Ländergrundsätzen zu Güterverkehrszentren des BMVBW vom Juni 2001 (BMVBW; 2001b) wird aus verkehrspolitischer Sicht insbesondere angestrebt

- das Zusammenwirken der Verkehrsträger zu verbessern und intermodale Transportketten zu ermöglichen, die eine Verlagerung des Straßengüterfernverkehrs auf Schiene und Wasserstraße fördern,
- die Auslastung der Verkehrsmittel zu verbessern und den Leerfahrtenanteil zu reduzieren,
- durch Logistikkonzepte den Schwerverkehr zu reduzieren sowie die Versorgung und die Entsorgung zu optimieren,
- die Möglichkeiten der Kooperation und Koordination der Unternehmen im Verkehrsbereich zu verbessern und Synergie-Effekte nutzbar zu machen,
- dadurch negative Auswirkungen des Güterverkehrs zu reduzieren, eine Minderung der Lärm- und Abgasemissionen sowie eine Erhöhung der Verkehrssicherheit zu erreichen und zu einer besseren Akzeptanz des gesamtwirtschaftlich notwendigen Güterverkehrs beizutragen.

In den letzten Jahren haben aus Sicht der Wirtschaftsförderung über die verkehrlichen und ökonomischen Zielsetzungen hinaus ökonomische Aspekte der Logistik als Wirtschaftsfaktor sowie der Förderung logistischer Strukturen einen Bedeutungszuwachs erfahren. In diesem Zusammenhang wird als vorteilhaft angesehen, dass Güterverkehrszentren

- logistische Strukturen ermöglichen, die den Tendenzen von Arbeitsteiligkeit und Outsourcing bei Industrie und Handel entgegenkommen,
- Unternehmen der mittelständische Wirtschaft Chancen der Kooperation und damit einer Qualifizierung für wachsende Marktanforderungen bieten,
- Regionen infolge Bündelung des logistischen Know-how die Möglichkeit der Qualifizierung im internationalen Standortwettbewerb erhalten,
- den Gesamtnutzen durch Vernetzung und Kooperation mit weiteren Güterverkehrszentren erhöhen und somit
- effiziente Wirtschafts- und Transportkreisläufe fördern.

Die erfolgreiche Umsetzung der Ziele stellt hohe Anforderungen an das GVZ-Management insbesondere bei Initiierung und Koordinierung kooperativer Aktivitäten auf lokaler sowie überregionaler Ebene.

Generell sind Güterverkehrszentren durch ein umfangreiches Angebot logistischer Dienste sowie durch verkehrlich integrative Funktionen gekennzeichnet. Daneben gibt es – wie die Übersicht in Tabelle 6.9 zeigt – andere Ausprägungsformen mit eingeschränkter Funktionalität, deren Ausgestaltung speziellen logistischen Aufgaben der betreffenden Standorte angepasst sind.

In Deutschland werden nach Angaben der Deutschen GVZ-Gesellschaft 27 Güterverkehrszentren (Zeitstand 2003) betrieben, fünf weitere befinden sich in einer Planungs- und Erschließungsphase. Einschätzungen über die verkehrlichen Wirkungen von Güterverkehrszentren haben zum Inhalt, dass diese „wenig eigenständige und wirksame Beiträge zu einer nachhaltigen Verbesserung des Güterverkehrs bewirken“ (FGSV, 2003). Die mit Güterverkehrszentren verbundenen Hoffnungen in Bezug auf wirksame Bündelung und Verlagerung von Güterverkehrsströmen auf Eisenbahn und Schiff sind nicht eingetreten. Dennoch „lassen Prognosen zur Güterverkehrsentwicklung erwarten, dass die Nachfrage nach Transport- und Logistikdienstleistungen, die über GVZ ökonomisch und ökologisch optimiert werden könnten, in Zukunft ansteigen wird.

Tab. 6.9 Übersicht über wesentliche Merkmale logistischer Standorte. (FGSV, 2003)

Logistische Standorte	Funktionen	Träger/ Beteiligte	Anbindung	Flächen-bedarf	Ziele	Besonder-heiten
GVZ Güterverkehrs-zentrum	Logistische Dienste, Ver-kehrsintegra-tion	GVZ-E, Spediteure, Kommune, Land	Autobahn, Bundesstraße, Schiene, Wasserstraße, Flughafen	30 - 150 ha	Synergien, Verkehrsredu-zierung, Verkehrs-verlagerung	KLV-Anlage notwendig, Kooperation der Betriebe
GVtZ/GVZ Güterverteil-zentrum	Distribution	Betreiberge-sellschaft, Spediteure, Kommune	Hauptver-kehrs-straße, Schiene	2 - 10 ha	Bündelung, Ver-/Entsor-gung, Verkehrs-reduzierung	kleinere Synergie-effekte
CT City-Terminal/ City-Logistik-Zentrum	Gebietslogi-stik	Betreiber-gesellschaft, Spediteure, Kommune	Hauptver-kehrs-straße, Schiene	1 - 10 ha	gebietsbezoge-ne Verkehrsre-duzierung	kleinere Synergie-effekte
FZ Frachtzentrum	Stückgutver-sand/ -emp-fang, Ladungs-aufteilung	DHL/Post, Kommune, Speditionen	Hauptver-kehrs-straße, Schiene	5 - 10 ha	Versorgung, Stückgut, Handelsgüter	spezielle Gut-arten
TGG Transport-gewerbegebiet	Transport-betriebe	Speditionen	i.d.R. Straße, Schiene mög-lich	ab 2 ha	betriebswirt-schaftlich	städtebauliche Gliederung
WVZ Warenverteil-zentrum	Distribution	Handelsunter-nehmen	Straße, Schiene mög-lich	10 - 100 ha	betriebswirt-schaftlich	Nähe zu Bal-lungszentrum, keine Beteili-gung der öffentlichen Hand
DZ/ZPL Dienstleistungs-zentrum/ Zentrum für Produktions-logistik	Produktions-lager, Be-standteil der Ver-/Entsor-gungskette	Handelsunter-nehmen, Logistik-dienstleister	Straße, Schiene mög-lich	ab 10 ha	Just-in-Time, reduzierte Lagerhaltung	keine Beteili-gung der öf-fentlichen Hand
KLV Umschlagbahn-hof	Umschlag Container/ Wechsel-behälter	DB AG, KV-Operateur	Straße, Schiene (Schiff)	10 - 20 ha	Umschlag	technische Ausstattung

Die „Logistikkompetenz“ wird darüber hinaus ein zunehmend wichtiger Standortfaktor für die Ansiedlung von Unternehmen in einer Wirtschaftsregion. Es besteht deswegen ein Bedarf, die begonnene GVZ-Entwicklung in Deutschland fortzusetzen“ (FGSV, 2003).

6.4.2.3 City-Logistik

City-Logistik ist als Strategieansatz zur Gestaltung eines umwelt- und stadtverträglichen Güterverkehrs seit Mitte der achtziger Jahre bedeutender und nach wie vor aktueller Gegenstand verkehrsplanerischer Überlegungen und Aktivitäten. Sie umfasst eine effiziente, stadtverträgliche und wirtschaftliche Ver- und Entsorgung des Groß- und Einzelhandels, des industriellen Gewerbes und privater Haushalte in definierten Problemarealen der Städte (FGSV, 1997). Als ganzheitlicher Lösungsansatz verfolgt sie das Ziel, durch neue Lieferstrukturen infolge Kooperation des Transportgewerbes städtische Problemareale von unnötigem Güterverkehr zu entlasten und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der Transporte durch Verringerung des unternehmerischen Aufwandes zu erhöhen. Dazu sind vor dem Hintergrund ökologischer und ökonomischer Anforderungen konzeptionelle, organisatorische, städtebauliche und technische Belange zu berücksichtigen und die dazu notwendigen infrastrukturellen, organisatorischen, informationstechnischen und personellen Komponenten auszugestalten.

Der Strategieansatz der City-Logistik kennt folgende Grundmodelle:

(1) *Modell „Güterverkehrszentrum“*: Dieses Modell basiert auf der räumlichen Zusammenführung von rechtlich selbständigen Verkehrs-, Logistik- und Dienstleistungsunternehmen mit dem Ziel, ein logistisches Gesamtangebot anzubieten.

(2) *Modell „Abholtour“*: Dieses Modell setzt einen Schwerpunkt im Bereich des Verteilverkehrs. Bei den Kooperationspartnern werden die innenstadtbestimmten Waren zusammengestellt. Einer der beteiligten Spediteure oder ein unabhängiger Spediteur holt die Waren ab und liefert aus.

(3) *Modell „City-Terminal“:* Bei diesem Modell übergeben die Transportunternehmen ihr tägliches Transportaufkommen einem unabhängigen Spediteur, der die Sendungen einsammelt. In einem city-nahen Terminal erfolgt eine Sendungsverdichtung durch Sortierung und Bündelung.

City-Logistik zielt bei Betroffenen und Akteuren auf folgende Bereiche ab:

– *Logistik-Dienstleister/Transportunternehmen*
  In diesem Zielbereich werden eine bessere Kapazitätsauslastung der Transportfahrzeuge, eine Zeitersparnis infolge geringerer Wartezeiten bei den Einzelhändlern und ein Image-Gewinn durch verkehrsreduzierende Logistik erwartet. Darüber hinaus spielen die Erweiterung des Dienstleistungsangebotes und eine effektivere und aktuellere Informationsbereitstellung eine Rolle.
– *Einzelhandelunternehmen/Dienstleistungsunternehmen*
  Hier ist das Interesse an einer kundenfreundlichen und attraktiven Gestaltung des Unternehmensbereiches hoch. Weitere Gesichtspunkte sind Werbegemeinschaften, effektive Abstimmung und Einsteuerungen der Lieferungen sowie eine umweltgerechte Entsorgung von Verpackung.
– *Kunden und Anwohner*
  Für diesen Zielbereich steht im Wesentlichen die Verbesserung der Verkehrssituation am Einkaufsstandort bzw. am Wohnstandort im Vordergrund des Interesses.
– *Stadt und Verwaltung*
  Hier wird der Erhöhung und Erhaltung der Standortattraktivität infolge einer Verbesserung des Verkehrsflusses mit der Folge einer Reduzierung verkehrsbedingter Umweltbelastungen besonders hoher Wert beigemessen.

In Deutschland sind einige Stadtlogistikprojekte bekannt, die bereits umgesetzt sind. Die Erfahrungen mit diesen Projekten hat Strauß (1997) folgendermaßen zusammengefasst und daraus auch die Potentiale einer City-Logistik herausgearbeitet:

- Bisher ist City-Logistik meist eine Strategie des Transportgewerbes zur Konsolidierung bisher ineffizienter Stadtverkehre.
- Die Bündelung des Sammelgutverkehrs führt im betreffenden Segment zu einer deutlichen Verkehrsreduzierung. Bezogen auf den gesamten städtischen Güterverkehr sind diese Reduzierungen jedoch kaum spürbar.
- Eine umfassende Bündelung der Transportströme in einer Stadt ist unter marktwirtschaftlichen Bedingungen auf Grund der heterogenen Interessen der Akteure und der Transportanforderungen der Güter kaum realisierbar.
- Einzelbetriebliche Strategien zur Rationalisierung des Transports (z.B. Warenhaus-Logistik) und Entwicklungen auf dem Transportmarkt (z.B. Öffnung des Werkverkehrs für Dritte, Unternehmenskonzentration) tragen derzeit oder in absehbarer Zeit zu einer stärkeren Bündelung der städtischen Güterströme bei.
- Es gibt neben dem Sammelgutverkehr einzelne weitere Segmente des städtischen Güterverkehrs, z.B. schlecht ausgelastete Werkverkehr oder Dienstleistungen wie Entsorgung und Lagerung, die Ansatzpunkte für City-Logistik bieten.
- City-Logistik hat im Vergleich zu anderen Maßnahmen im Bereich des städtischen Güterverkehrs den Vorteil, dass sie ökonomische Interessen des Transportgewerbes und des Handels mit den Zielen der Allgemeinheit verbinden kann.
- Ein auf die Rahmenbedingungen einer Stadt zugeschnittenes City-Logistik-Konzept bildet einen wesentlichen Baustein eines kommunalen Güterverkehrskonzeptes.
- Es erscheint angesichts der Verkehrsprobleme in den Städten trotz der bestehenden Hemmnisse lohnenswert, die Potentiale der City-Logistik zu nutzen.

„Das Instrument ‚City-Logistik' ist kaum die erwartete umfassende Lösung für die Probleme mit dem städtischen Güterverkehr. City-Logistik kann aber, wenn es gelingt, die vorhandenen Potentiale zu nutzen, einen wichtigen Baustein der städtischen Gesamtverkehrsplanung darstellen." (Strauß, 1997)

Literatur

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC) (2003): Mobilität im Jahr 2020. München

Binnenbruck, H. H. (2001): Strategien zum Wirtschaftsverkehr. Teil 1 und Teil 2. In: Straßenverkehrstechnik Heft 3 und Heft 4

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.):

- BMVBW (2000): Verkehrsbericht 2000, Berlin
- BMVBW (2001a): Bericht des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen zum Kombinierten Verkehr, Berlin
- BMVBW (2001b): Bund-/Länder-Grundsätze zu Güterverkehrszentren (GVZ),.Berlin, 27.Juni 2001
- BMVBW (2003): Verkehr in Zahlen 2003/2004. Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH, Hamburg

Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e.V. (BGL) (2002): Verkehrswirtschaftliche Zahlen (VWZ) 2002. Frankfurt am Main

Dornier System GmbH (1983): Verbesserung des Güterverkehrs in Städten. Ergebnisbericht des Forschungsprojektes FE-Nr. 80 056/82. Friedrichshafen

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:

- FGSV (1992): Güterverkehr in Städten – Maßnahmenübersicht. FGSV-Arbeitspapier Nr. 29

– FGSV (1997): City-Logistik. – Eine Einführung für Stadtplaner und Verkehrsplaner. FGSV-Arbeitspapier Nr. 45
– FGSV (1999): Hinweise zur Verkehrsvermeidung und Verkehrsverlagerung im Personen- und Güterverkehr. Ausgabe 1999
– FGSV (2003): Hinweise für die GVZ-Planung (Entwurf). Arbeitspapier AA 1.12 „Güterverkehr". Stand 23.07.2003

Friedrich, M.; Haupt, Th.; Nökel, K. (2004): Freight Modelling: Data Issues, Survey Methods, Demand and Network Models: Conference paper, 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, 10.-15. August 2003, www.ivt.baum.ethz.ch/allgemein/pdf/friedrich.pdf, 19.05.04

Hein, G.; Eichhoff, E.; Pukall, A.; Krien, E. (1998): Güterkraftverkehrsrecht. Systematische Sammlung der Gesetze, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften für den nationalen und internationalen Güterkraftverkehr sowie Kommentar zum Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) und ergänzenden Vorschriften. Erich Schmidt Verlag, 4. Auflage , Berlin

Hesse, M. (1999): Städtischer Güterverkehr – Ökologische Konflikte, Planungsziele, Strategien. In: Kühn, G. (Hrsg.), Stadtverträglicher lokaler Güterverkehr. Seminardokumentation „Forum Stadtökologie", Bd. 9 des Deutschen Instituts für Urbanistik, Berlin

IVU Gesellschaft für Informatik, Verkehrs- und Umweltplanung GmbH (1995): Entwicklung eines Wirtschaftsverkehrsmodells. F+E-Vorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Berlin

Köhler, U. (Hrsg.) (2001): Verkehr – Straße, Schiene, Luft. Verlag Ernst & Sohn GmbH, Berlin

Lohse, D.; Teichert, H.; Dugge, B.; Bachner, G. (1997): Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschließlich Parameterschätzung. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden, Heft 5/1997, Dresden

Lohse, D. (2000): Verkehrsnachfragemodellierung mit n-linearen Gleichungssystemen. In: Tagungsband AMUS 2000, Schriftenreihe „Stadt Region Land", Heft 69, Aachen

Machledt-Michael, S. (2000): Fahrtenkettenmodell für den städtischen und regionalen Güterverkehr. Institut für Verkehr und Stadtbauwesen TU Braunschweig (Hrsg.). Schriftenreihe, Heft 50, Shaker-Verlag, Aachen

Meimbresse, B., Haupt, Th., Bieling, N. (1996): WIVER – Ein Berechnungsmodell für den städtischen und regionalen Wirtschaftsverkehr. In: Straßenverkehrstechnik 11/96

Mineralölwirtschaftsverband e.V. (1999): Mineralöl-Logistik. Hamburg

Prognos AG; IVU AG (1998): Abgrenzung zwischen Personen- und Güterverkehr. Forschungsauftrag im Auftrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure, Basel

Prognos AG (1999): Neukonzeption der deutschen Verkehrsstatistik. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Basel

Reim, U. (2004): Kombinierter Verkehr 2002. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wirtschaft und Statistik, Heft 1/2004

Ruske, W. (1994): Zustandsbestimmungen und Prognose der Verkehrsnachfrage – Nutzungen – Strukturen – Wirkungen. In: Steierwald, G. Künne, H.-D. (Hrsg.): Stadtverkehrsplanung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York

Ruske, W. (1995): Städtischer Wirtschaftsverkehr. In: Der Nahverkehr, Heft 3/95

Schmidt, H.-G. (1977): Die Erfassung des Güterverkehrs zum Zwecke seiner expliziten Berücksichtigung in Verkehrsplanungsprozessen. Berichte „Stadt Region Land", Institut für Stadtbauwesen RWTH Aachen (Hrsg.), Heft B9, Aachen

Schwerdtfeger, W. (1976): Städtischer Lieferverkehr – Bestimmungsgründe, Umfang und Ablauf des Lieferverkehrs von Einzelhandels- und Dienstleistungsbetrieben. Institut für Stadtbauwesen der TU Braunschweig (Hrsg.), Schriftenreihe, Heft 20, Braunschweig

Sonntag, H.; Meimbresse, B.; Castendiek; U. (1996): Anforderungen und Möglichkeiten des Wirtschaftsverkehrsmodells WIVER. In : Internationales Verkehrswesen, Heft 12/1996, Hamburg

Statistisches Bundesamt (2002): Datenreport 2002. Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn

Steinmeyer, I. (2003): Kenndaten der Verkehrsentstehung im Personenwirtschaftsverkehr. Dissertation an der Technischen Universität Hamburg-Harburg

Strauß, S. (1999): City-Logistik – Ein Instrument zur Verringerung des städtischen Güterverkehrs.

Fachgebiet Verkehrssysteme und Verkehrsplanung Universität Gh Kassel (Hrsg.). Schriftenreihe Verkehr, Heft 7

Wermuth, M.; Wirth, R.; Neef, C.; Hautzinger, H.; Heidemann, D; et al. (2001): Kontinuierliche Befragung des Wirtschaftsverkehrs in unterschiedlichen Siedlungsräumen – Phase 1, Methodenstudie/Vorbereitung der Befragung. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, FE-Nr.: 70.0632/2000, Braunschweig

Wermuth, M.; Binnenbruck, H.; Machledt-Michael, S.; Wirth, R.; Rommerskirchen, S.; Sonntag, H. (2002): Bestandsaufnahme notwendiger und verfügbarer Daten zum Wirtschaftsverkehr als Grundlage pragmatischer Datenergänzungen. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.). SR Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 860, Bonn

Wermuth, M.; Wirth, R.; Neef, C.; Löhner, H.; Hautzinger, H.; Heidemann, D.; Stock, W.; et al. (2003): Kontinuierliche Befragung des Wirtschaftsverkehrs in unterschiedlichen Siedlungsräumen – Phase 2, Hauptstudie (Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland – KiD 2002). Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, FE-Nr.: 70.0682/2001, Braunschweig

WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH (1996): Verkehrsentwicklungsplan Braunschweig, Band 1: Bestandsaufnahme und Verkehrsanalyse. Braunschweig

7 Grundlagen der Bemessung von Verkehrsanlagen

7.1 Verkehrsstatistische Grundbegriffe

Die Bemessung von Verkehrsanlagen erfordert Kenntnisse über die Verkehrsnachfrage, die zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme an den jeweiligen Verkehrsanlagen auftritt oder in Zukunft zu bewältigen sein wird. Die Stärke der Verkehrsnachfrage wird durch die Verkehrsstärke (= Anzahl der Verkehrseinheiten pro Zeiteinheit, z.B. Fz/h) angegeben. Die für die Bemessung maßgebende Verkehrsstärke wird als Bemessungsverkehrsstärke q_B bezeichnet. Sie ist zu ermitteln, bevor Dimensionierungsverfahren angewendet werden.

Für Anlagen des motorisierten Individualverkehrs sind die Bemessungsverkehrsstärke des Kfz-Verkehrs und der dazugehörige Schwerverkehrsanteil zu bestimmen. Als Schwerverkehr (SV) gelten Lastkraftwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t sowie Omnibusse und Lastzüge. Der Anteil des Schwerverkehrs an der gesamten Verkehrsstärke wird durch den Begriff SV-Anteil beschrieben (HBS, FGSV 2001a). Für einzelne Verkehrsanlagen (z.B. Knotenpunkte) kann die Aufteilung der Bemessungsverkehrsstärke in verschiedene Fahrzeugarten zweckmäßig sein. Nach EVE (FGSV, 1991a) werden die verschiedenen Arten von Verkehrsteilnehmern und von Verkehrsmitteln nach Tabelle 7.1 unterschieden.

Für einzelne Aufgaben der Bemessung (z.B. Knotenpunkte) werden vielfach auch die Verkehrsstärken unterschiedlicher Fahrzeugarten in so genannte Pkw-Einheiten (Pkw-E) umgerechnet. Dabei werden die Stärken des Schwerverkehrs oder der kleineren Fahrzeuge mit einem Umrechnungsfaktor (= Pkw-Gleichwert) auf Stärken in der Einheit (Pkw-E/h) hochgerechnet. Die Pkw-Gleichwerte sind im Allgemeinen durch umfangreiche Untersuchungen bestimmt worden. Der Pkw-Gleich-

Tabelle 7.1 Unterscheidung nach Fahrzeugarten bei Verkehrserhebungen nach EVE (FGSV, 1991a) und für Aufgaben der Bemessung

nicht motorisiert	F	Fußgänger	Personenverkehr	F
	R	Fahrrad		Zweirad
motorisiert	Mofa / Moped Krad	Kleinkraftrad motorisiertes Zweirad		
	Pkw	Personenkraftwagen + Kombi (einschl. Lkw ≤ 3.5 t)		Pkw
	Bus	Omnibus / O-Bus		Schwerverkehr (SV)
	Lkw	Lastkraftwagen (zul. Gesamtgewicht > 3.5 t)	Güterverkehr	
	Lz	Lastzug / Sattelzug		
	Sfz	Sonderfahrzeug		

wert gibt an, in welchem Umfang ein zusätzliches Schwerfahrzeug einen vorgegebenen Parameter der Verkehrsqualität (z.B. die mittlere Reisezeit) gegenüber einem zusätzlichen Pkw verändert. Je nach betrachteter Verkehrsanlage und je nach dem verwendeten Parameter können Pkw-Gleichwerte für den Schwerverkehr (oder auch für Zweiräder) unterschiedlich sein (siehe Tabelle 7.2).

Die Bemessungsverkehrsstärke q_B wird auf der Basis einer qualifizierten Verkehrsentwicklungsplanung und der darin enthaltenen Modellprognose für das zukünftige Verkehrsgeschehen ermittelt (vgl. Teil B und FGSV, 2001b). Eine Modellprognose muss zur Ermittlung der Bemessungsverkehrsstärke q_B durchgeführt werden, wenn Verkehrsanlagen neu zu planen sind oder wenn wesentliche Änderungen der Verkehrsstruktur, des Verkehrsnetzes oder der allgemeinen räumlichen Gegebenheiten gegenüber der Gegenwart zu erwarten sind.

Vielfach begnügt man sich in der Praxis auch mit einer vereinfachten Vorgehensweise, der so genannten Trendprognose. Dabei wird lediglich eine Verkehrserhebung an einem Straßenquerschnitt oder einem Knotenpunkt durchgeführt (vgl. EVE, FGSV 1991a). Die gezählten Verkehrsstärken werden durch Zunahmefaktoren in eine zukünftige Verkehrsstärke umgerechnet. Dabei wird unterstellt, dass sich die zukünftigen Verkehrsstärken auf der betrachteten Verkehrsanlage wie im landesweiten Trend entwickeln. Dieser Trend ist aus dem bisherigen Verlauf und aus Hypothesen über die darauf aufbauende weitere Entwicklung bestimmt worden.

Eine Trendprognose ist nur dann anwendbar, wenn vorhandene Verkehrsanlagen betrachtet werden und wenn wesentliche Veränderungen weder hinsichtlich der Struktur des Straßennetzes noch im Verhalten der Verkehrsteilnehmer zu erwarten sind. Weiterhin muss nachgewiesen werden, dass für die zurückliegenden Jahre eine genügend genaue Übereinstimmung des generellen Trends mit dem Wachstum des DTV für den zu untersuchenden Straßenquerschnitt besteht. Diese Bedingung gilt dann als erfüllt, wenn sich der DTV in der Vergangenheit in einem Rahmen von +/- 10 Prozent um den allgemeinen Trend entwickelt hat (vgl. entsprechende Linien in Abb. 7.1; Details: HBS, FGSV 2001a).

Zur genaueren Definition der bei der Bemessung zu verwendenden Begriffe wird auf die Begriffsbestimmungen der FGSV (2000) hingewiesen.

Tabelle 7.2 Faktoren für die Umrechnung der Verkehrsstärken in Pkw-Einheiten

	Umrechnungsfaktor für					
	Rad[1)]	**Kr**	**Pkw**	**Lkw**	**Lz**	**Fz[2)]**
Knoten ohne LSA[3)]	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	1,1
Knoten mit LSA[4)]	-	0,5	1,0	-	2,0	-
Knoten mit LSA[5)]	-	-	1,0	1,75	2,5	-

1) Radfahrer im Mischverkehr auf der Fahrbahn.
2) Näherungswert für überschlägige Berechnungen, bei denen die Verkehrszusammensetzung nicht genau bekannt ist.
3) Nach HBS (FGSV, 2001a), Tabelle 7.2
4) Nach RiLSA (FGSV, 1992a)
5) Nach Ahn (1987)

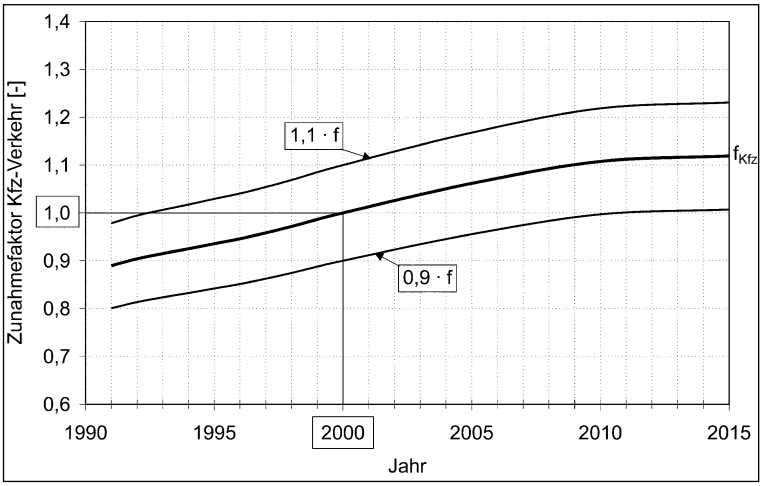
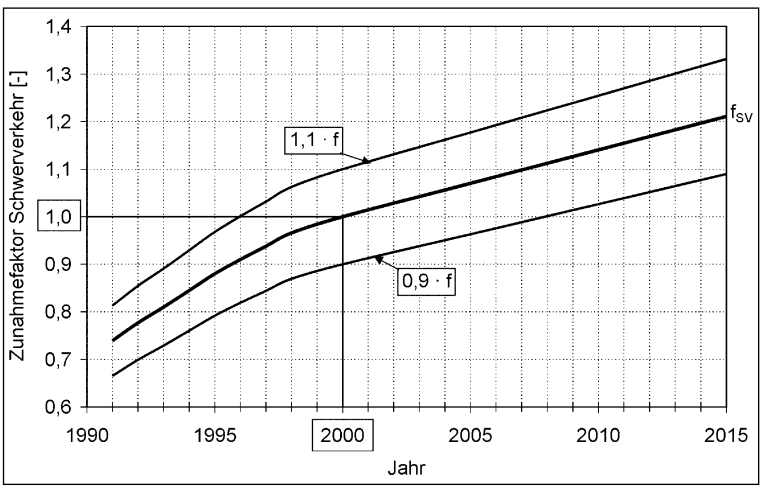


Abb. 7.1 Zunahmefaktoren der Fahrleistungen in Deutschland
a) des Kraftfahrzeugverkehrs

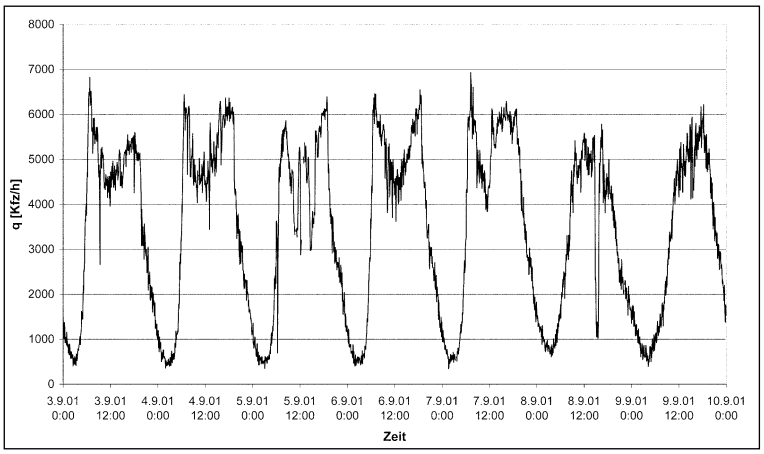


b) des Schwerverkehrs.
HBS (FGSV, 2001a)

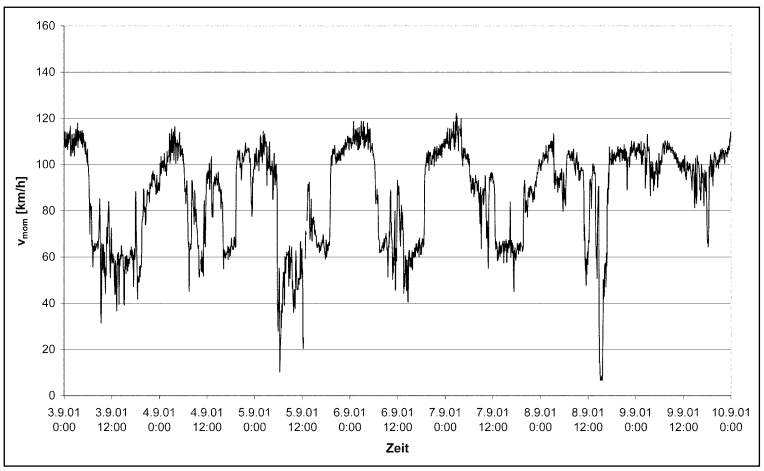
7.2 Ganglinien und Dauerlinien

Eine Ganglinie stellt den Verlauf einer Variablen über die Zeit dar. Abbildung 7.2a zeigt als ein Beispiel den Verlauf der Verkehrsstärke auf einer Autobahn mit 3 Fahrstreifen pro Richtung über eine Woche (Montag bis Sonntag). Man erkennt den täglichen Rhythmus des Verkehrsaufkommens mit geringer Stärke bei Nacht und den Vormittags- und Nachmittagsspitzen an den Werktagen. Abbildung 7.2b zeigt eine Ganglinie der Geschwindigkeiten an dem betrachteten Autobahnquerschnitt. Man erkennt, dass tagsüber über längere Dauern mit – für eine Autobahn – geringen Geschwindigkeiten von ca. 60 km/h gefahren wird (Stau und zähfließender Verkehr). Am Samstagnachmittag brechen sowohl die mittlere Geschwindigkeit als auch die Verkehrsstärke als Folge einer unfallbedingten Verkehrsstörung stark ein.

Ganglinien der Verkehrsstärke auf Straßen



a)



b)

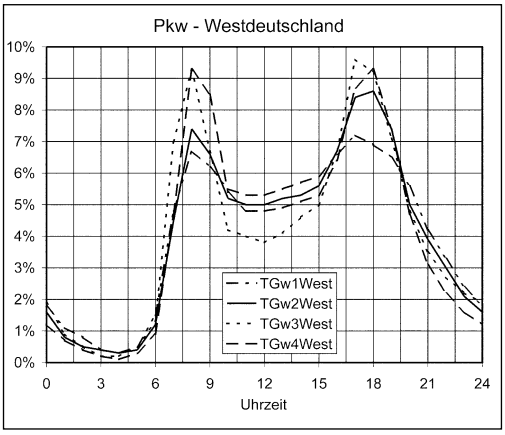
Abb. 7.2 Ganglinien der Verkehrsstärke (a) und der Geschwindigkeit (b) auf der Richtungsfahrbahn einer Autobahn (3 Fahrstreifen pro Richtung; in 5-Minuten-Intervallen). (Brilon u. Regler, 2003)

weisen meistens sich ständig wiederholende Regelmäßigkeiten auf. Deswegen hat es sich als sinnvoll erwiesen, typische Ganglinien der Verkehrsstärke zu ermitteln. Dabei wird im Allgemeinen statt der Absolutwerte der Verkehrsstärke deren Anteil α = (Verkehrsmenge während einer Stunde)/DTV dargestellt. Unter dem DTV versteht man den durchschnittlichen täglichen Verkehr, gemittelt über alle Tage des Jahres. Dieser wird z.B. durch stichprobenartige Zählungen (Lensing, 1997) geschätzt.

Solche typischen Ganglinien gibt es z.B. speziell für Bundesfernstraßen (Lafont et al., 2002) oder für städtische Straßen im HBS (FGSV, 2001a) (Abb. 7.3; beruht auf Schmidt, 1996 sowie Schmidt u. Thomas, 1996). Diese Typganglinien dienen dazu,

- gezählte oder geschätzte DTV-Werte in stündliche Verkehrsstärken umzurechnen oder
- Verkehrsstärken, die in kürzeren Zeitintervallen (z.B. eine Stunde oder Gruppen von 4 Stunden) gezählt wurden, auf den DTV hochzurechnen. Eine Rechenanweisung dafür findet sich im HBS (FGSV, 2001a, Kap. 2).

Eine Dauerlinie stellt die Häufigkeit der Verkehrsstärken an einem Straßenquerschnitt über ein ganzes Jahr dar. Dabei werden die beobachteten stündlichen Verkehrsstärken in abfal-



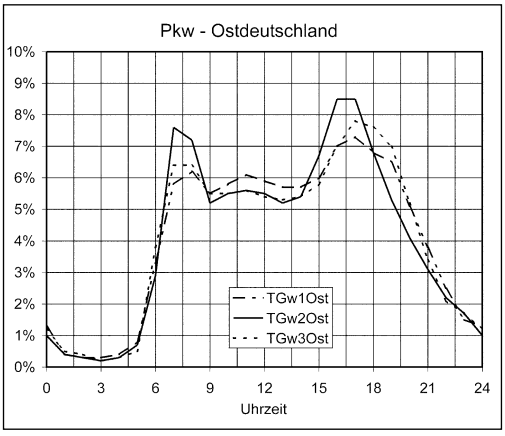


Abb. 7.3 Typische Tagesganglinien des Pkw-Verkehrs für westdeutsche und ostdeutsche Städte. HBS (FGSV, 2001a)

lender Reihenfolge sortiert. Die größte aufgetretene Verkehrsstärke steht an erster Stelle, die niedrigste an 8760. Stelle. Auch Dauerlinien werden im Allgemeinen für den Anteil α = (Verkehrsmenge während einer Stunde)/DTV dargestellt. In dem Beispiel nach Abbildung 7.4 kann man für die A 7 ablesen: In der 100. Stunde beträgt die Verkehrsstärke 0,12 • DTV. Dies bedeutet, dass während 99 Stunden des Jahres die Verkehrsstärke größer ist.

Dauerlinien für Straßen in Ballungsgebieten haben meistens einen relativ flachen Verlauf, während Straßen, die ihre Spitzenbelastungen im Freizeit- und Urlaubsverkehr aufweisen, in den ersten Stunden steiler abfallen. Auch für Dauerlinien sind standardisierbare Formen entwickelt worden (Lensing et al., 1993). Derartige standardisierte und stark vereinfachte Dauerlinien sind z.B. Grundlage der Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS; FGSV, 1997; Darstellung in Abb 7.5). Der Bemessung liegt die Vorstellung zu Grunde, dass eine Verkehrsanlage aus wirtschaftlichen Gründen nicht für die höchste jemals auftretende Spitzenbelastung ausgelegt werden kann. Vielmehr wird eine gewisse Überlastungshäufigkeit akzeptiert. Aus diesem Grund wird vielfach als Bemessungsverkehrsstärke q_B die Verkehrsstärke der

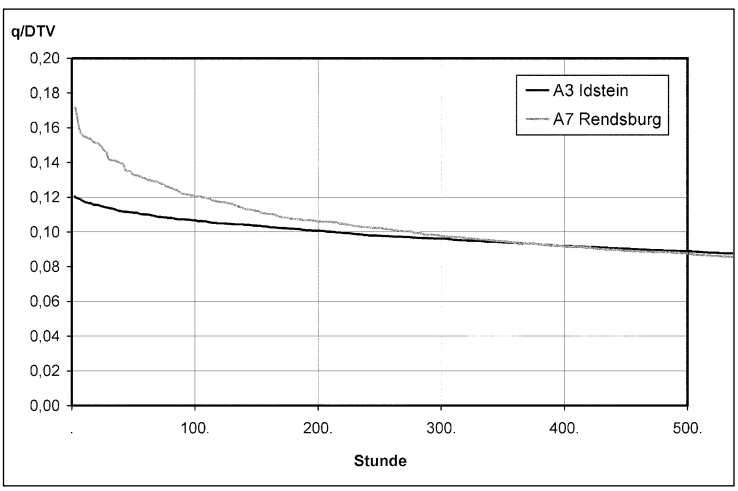


Abb. 7.4 Beispiele für Dauerlinien des Verkehrs auf Autobahnen. (Eigene Darstellung)

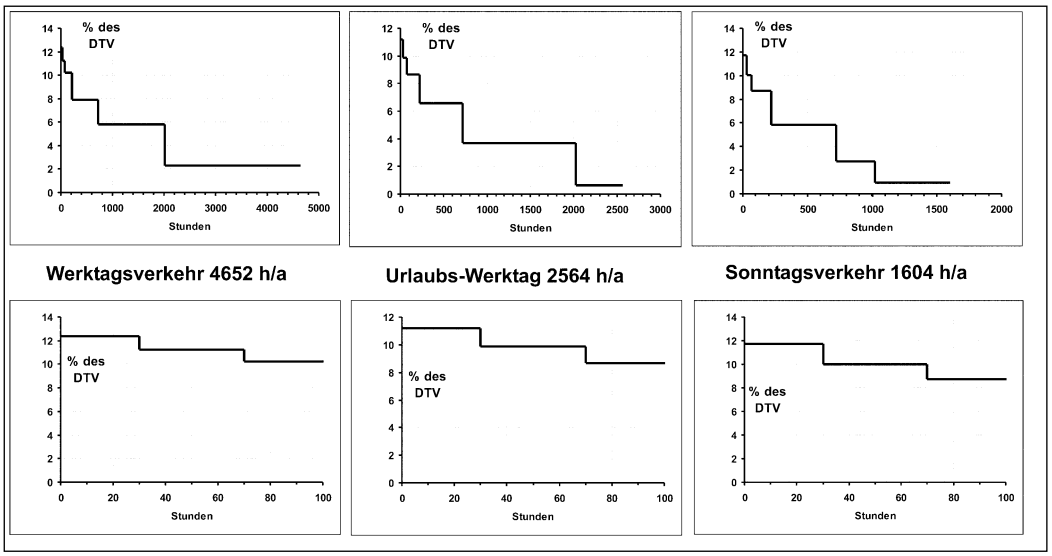


Abb. 7.5 Typisierte Dauerlinien des Verkehrs auf Autobahnen nach EWS (FGSV, 1997) für bestimmte Teilabschnitte des Jahres (oben: gesamte Dauerlinie; unten: für die jeweils ersten 100 Stunden)

n-ten Stunde innerhalb der Dauerlinie definiert. Hierbei wird in Kauf genommen, dass die gewünschte Qualität des Verkehrsablaufs während der (n – 1) höchstbelasteten Stunden eines Jahres nicht erreicht wird. Bei der während der übrigen Stunden auftretenden geringeren Verkehrsnachfrage hingegen funktioniert die Verkehrsanlage mindestens mit dem gewünschten Qualitätsniveau.

Welche Stunde n innerhalb der Dauerlinie maßgebend wird, ist vom Träger der Planung zu entscheiden. Vielfach wird empfohlen, die 30. Stunde als maßgebend für die Ermittlung der Bemessungsverkehrsstärke zu betrachten (HBS; FGSV, 2001a). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Festlegung Konsequenzen hinsichtlich der Investitions- und Betriebskosten der geplanten Verkehrsanlagen und hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen nach sich zieht. Diese Gesichtspunkte führen eher zur Festlegung auf höhere Stunden n in den Dauerlinien.

Wünschenswert wäre die Berücksichtigung der zeitlichen Abfolge der jeweiligen stündlichen Verkehrsstärken, d.h. der Ganglinie der Verkehrsnachfrage. Hierdurch könnten die Auswirkungen der – bewusst in Kauf genommenen – Überlastungen besser beurteilt werden. So besteht z.B. ein Unterschied, ob (n – 1)-mal im Jahr eine Überlastung von jeweils einer Stunde Dauer auftritt, die in der unmittelbar folgenden Stunde wieder abgebaut werden kann, oder ob an nur wenigen Tagen im Jahr, z.B. im Ferienreiseverkehr, mehrere Stunden hintereinander die Kapazität nennenswert überschritten wird und es somit zu lang andauernden Staus kommt, die sich selbst bei verringertem Zulauf nur langsam wieder abbauen. Bei den meisten praktischen Verkehrsplanungen wird diese Reihenfolge jedoch nicht berücksichtigt.

Um der Diskussion über Dauerlinien aus dem Weg zu gehen, werden in der Praxis auf dem Hintergrund örtlicher Erfahrungen vielfach auch stark vereinfachte Schätzungen der Bemessungsverkehrsstärke q_B verwendet, z.B.: $q_B = \alpha \cdot DTV$ mit $\alpha = 0.1$ für Außerortsstraßen bis herunter zu $\alpha = 0.07$ für Straßen in Großstädten.

7.3 Funktion von Straßen

Für die Gestaltung von Verkehrsnetzen ist eine Gliederung der Netzteile nach ihren Funktionen notwendig. Für Straßen wird dabei unterschieden nach (RAS-N; FGSV, 1988):

– *Verbindungsfunktion*
  Verkehrswege dienen dem Transport von Personen und Gütern. Sie verbinden Orte die aufgrund ihrer Infrastruktureinrichtungen (z.B. Arbeitsplätze, Schulen, Verwaltung, Versorgungseinrichtungen, Einrichtungen zur Erholung) eine hohe Bedeutung besitzen. Sie verbinden auch Betriebsstätten von Unternehmen. Eine gute Erreichbarkeit von Orten mit Infrastruktureinrichtungen ist für die Bürger zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse und zur Sicherung der Lebensqualität erforderlich. Hohe Verbindungsqualitäten sind sowohl für den privaten motorisierten und nicht motorisierten Verkehr als auch für den Betrieb des öffentlichen Verkehrs wichtig.
  Durch die Gestaltung des Verkehrsnetzes werden die Verbindungen zwischen zentralen Orten so hergestellt, dass für die Elemente des Verkehrsnetzes eine Verkehrsqualität für alle Verkehrsteilnehmer erreicht wird, die der Verbindungsfunktion angemessen ist. Bei der Festlegung von Qualitätsniveaus müssen die Ziele, Reisezeiten und Transportkosten einzusparen, sorgfältig abgewogen werden gegenüber den Zielen der Ökologie und dem Zwang zur sparsamen Verwendung öffentlicher Mittel. Demgemäß sind zum Zweck der Bemessung und Gestaltung der Verkehrswege Festlegungen für die erforderliche Qualität des Verkehrsablaufs zu treffen. Diese Zielvorstellungen ergeben sich aus den Vorgaben seitens der Raumordnung und Landesplanung in Abhängigkeit von der Bedeutung der jeweiligen Verbindungsfunktion.

– *Erschließungsfunktion*
  Straßen dienen neben der Verbindung auch der Erschließung. Hierzu gehört die Zugänglichkeit der am Rand des Verkehrsweges gelegenen Nutzungen von der Straße her für Anwohner, Besucher, Lieferanten sowie Versorgungs-, Unterhaltungs- und Notdienstfahrzeuge. Je intensiver eine Straße angebaut ist, d.h. je größer die Anzahl der durch sie erschlossenen Wohngebäude oder Betriebe ist, umso deutlicher treten die Merkmale der Erschließungsfunktion in den Vordergrund.
  Bei der Erschließung bestehen nur geringe Anforderungen an die Geschwindigkeit auf der Straße. Dagegen erfordert die Erschließungsfunktion im Allgemeinen ausreichende Flächen für den ruhenden Verkehr. Weiterhin werden für die Erschließung in bebauten Bereichen die Seitenräume der Verkehrswege benötigt, die durch nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer genutzt werden können (Geh- und Radwege). Ebenso müssen Erschließungsstraßen von Fußgängern und Radfahrern leicht überquert werden können. Zwischen diesem querenden Verkehr und dem durchgehenden Kfz-Verkehr bestehen Konflikte. Die Erschließungsfunktion erfordert deshalb umfeldverträgliche Geschwindigkeiten des motorisierten Verkehrs.

– *Aufenthaltsfunktion*
  Straßen dienen auch dem Aufenthalt von Menschen. Die Aufenthaltsfunktion ist grundsätzlich bei allen angebauten Straßen gegeben. Zur Aufenthaltsfunktion gehören beispielsweise: das Begegnen mit anderen Personen und Gespräche, das Spielen von Kindern, der Aufenthalt in Parkanlagen, der Einkaufsbummel, der Aufenthalt in Straßencafés, das Besichtigen von Sehenswürdigkeiten, das Spazierengehen und Ausruhen.
  Die Aufenthaltsfunktion löst Überquerun-

gen der Straße durch Fußgänger aus. Zwischen diesen und dem durchgehenden Verkehr können sich deshalb Konflikte ergeben. Ebenso kann der Verkehrslärm oder auch das Gefährdungspotential seitens des Kfz-Verkehrs den Aufenthalt auf der Straße beeinträchtigen. Aus diesen Gründen ist eine Aufenthaltsfunktion nur bei begrenzter Verkehrsstärke sowie bei geringen Fahrgeschwindigkeiten im durchgehenden motorisierten Verkehr sinnvoll zu verwirklichen.

Die drei genannten Funktionen stehen zueinander im Konflikt. Aus jeder Funktion ergeben sich eigene Entwurfsmerkmale und Betriebsformen, die gegenseitig nicht miteinander verträglich sind. Deshalb ist es bei der Gestaltung des Straßennetzes sinnvoll, in einer hierarchischen Weise Straßen nach ihrer Funktion abzugrenzen. Dadurch entstehen innerhalb des gesamten Straßennetzes Strecken mit reiner Verbindungsfunktion (z.B. Autobahnen). Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften dienen im Allgemeinen ausschließlich der Verbindung. Auch innerhalb geschlossener Ortschaften gibt es anbaufreie Straßen, die nur der Verbindung dienen. Auf der anderen Seite finden sich aber Straßenabschnitte mit überwiegender Aufenthaltsfunktion (z.B. Fußgängerzone).

Die meisten Straßen innerhalb bebauter Gebiete müssen mehrere Funktionen erfüllen. Dann ist zu entscheiden, welche Funktion besonders wichtig ist, weil sich nach ihr die vorherrschenden Entwurfs- und Betriebsmerkmale richten sollen.

Die Bedeutung einer Straße, die maßgeblich der Verbindung dient, hängt im Wesentlichen von der Bedeutung der Orte ab, die miteinander verbunden werden. Darüber hinaus hat die Stärke der Verkehrsbeziehung zwischen den verbundenen Orten Einfluss.

Die Bedeutung ergibt sich aus den von der Raum- und Landesplanung vorgegebenen Leitbildern der räumlichen Strukturen. In der Raumplanung bildet das Netz der Zentralen Orte die Grundlage zur Ermittlung der Bedeutung zwischenörtlicher Verbindungen. Dabei werden Verbindungen zum nächsten und übernächsten Nachbarn betrachtet. Gemeinden werden nach ihrer zentralörtlichen Bedeutung in zentrale Orte unterschiedlicher Klassen gegliedert. Zentrale Orte sind Städte und Gemeinden, die über den Bedarf ihrer Wohnbevölkerung hinaus Versorgungsfunktionen für die Bevölkerung in ihrem Umland wahrnehmen. Sie sind bevorzugte Standorte für öffentliche und private Dienstleistungseinrichtungen, für Industrie und Gewerbe, für Arbeitsplätze und Ausbildungsstätten. Gemeinden ohne eigene zentralörtliche Aufgaben sind auf das Versorgungsangebot der Orte mit höherrangiger zentralörtlicher Funktion angewiesen.

Je nach Bedeutung der zentralen Orte und der Größe des Ausstrahlungsbereiches unterscheidet man verschiedene Stufen:

- Agglomerationsräume („A“) mit internationaler bzw. großräumiger Ausstrahlung;
- Oberzentren („OZ“) als Verwaltungs-, Versorgungs-, Kultur- und Wirtschaftszentren für hochwertige zentrale Einrichtungen;
- Mittelzentren („MZ“), als Zentren zur Dekkung des gehobenen Bedarfs und als Schwerpunkte für Gewerbe, Industrie und Dienstleistungen;
- Grundzentren („GZ“) Unter- und Kleinzentren dienen als Zentren der Grundversorgung, d.h. der Deckung des täglichen Bedarfs für den jeweiligen Nahbereich;
- Gemeinden („G“) oder Ortsteile („OT“) ohne zentralörtliche Funktionen übernehmen in der Regel keine Versorgungsfunktionen für ihr Umland. Sie bilden die unterste Ebene der Bezugspunkte für die Gestaltung der Verkehrswegenetze.

Zentrale Orte einer höheren Stufe übernehmen auch Versorgungsfunktionen nachfolgender Zentralitätsstufen. Das Zentrale-Orte-System ist in den Landesentwicklungsprogrammen und den auf Landesebene erlassenen Entwick-

lungsplänen dargestellt. Innerhalb großer Städte können einzelne Stadtgebiete Funktionen von Mittelzentren oder Grundzentren übernehmen.

Zur Festlegung der Verkehrsqualitäten der einzelnen Verkehrswegeabschnitte werden mehrere Verbindungsfunktionsstufen für zwischenörtliche Verbindungen definiert. Maßgebend sind dabei Verbindungen der nächsten und übernächsten Orte. Benachbart sind zwei Räume oder zentrale Orte dann, wenn ihre Versorgungsbereiche gemeinsame Grenzen aufweisen. Die Einstufung einer Verbindung in eine Verbindungsfunktionsstufe richtet sich bisher nach der RAS-N (FGSV, 1988, Bild 2). Eine deutlichere Darstellung ist für die zukünftige Richtlinien der Netzgestaltung vorgesehen (vgl. Tabelle 7.3).

Aufgrund der Lage (innerorts/außerorts) und aus der maßgebenden Funktion der Straße werden so genannte Kategoriengruppen festgelegt (siehe Kap. C 3, Abb. 3.7). Diese Kategoriengruppen sind zusammen mit der Verbindungsfunktionsstufe maßgebend für die zu wählenden Entwurfsmerkmale der Straße und für die sinnvollen Betriebsmerkmale (z.B. zulässige Geschwindigkeiten, mögliche Verkehrsstärken). Vor jeder Bemessung einer Straße oder ihrer Teilelemente sind die Kategorie und im Falle der Verbindungsfunktion auch die Verbindungsfunktionsstufe festzustellen.

Daraus ergeben sich für Straßen mit maß-

Tabelle 7.3 Kriterien für die Zuordnung einer zwischenörtlichen Verbindung zu einer Verbindungsfunktionsstufe (in Anlehnung an RIN; FGSV 2002)

Verbindungsfunktionsstufe (VFS)	Bezeichnung	**Einstufungskriterien**
0	kontinental	kontinentale Verbindung zwischen Agglomerationsräumen
I	großräumig	Verbindung von Oberzentren zu Agglomerationsräumen und zwischen OZ und Anbindung von OZ an Verkehrswege der VFS 0
II	überregional	Verbindung von MZ zu OZ und zwischen MZ und Anbindung von MZ an Verkehrswege der VFS I oder höher
III	regional	Verbindung von GZ zu MZ und zwischen GZ und Anbindung von MZ an Verkehrswege der VFS II oder höher
IV	nahräumig	Verbindung von G zu GZ und Verbindung zwischen G und Anbindung von G an Verkehrswege der VFS III oder höher
V	kleinräumig	Verbindung von OT zu G und Verbindung zwischen OT und Anbindung von OT an Verkehrswege der VFS IV oder V oder höher

A Agglomerationsraum OZ Oberzentrum MZ Mittelzentrum
GZ Grundzentrum G Gemeinde ohne zentrale Funktion OT Ortsteil ohne zentrale Funktion

geblicher Verbindungsfunktion Anforderungen an die erforderliche Reisegeschwindigkeit (vgl. Kap. C 3, Abb. 3.8). Weiterhin werden in den Entwurfsrichtlinien (z.B. RAS-Q; FGSV, 1996) Vorgaben für die Gestaltung der Straßen unter Beachtung ihrer Kategorie getroffen. Z.B. wird das Zusammenspiel zwischen Straßenkategorie und Verkehrsbelastung einerseits sowie den benötigten Straßenquerschnitten andererseits in den RAS-Q (FGSV, 1996) geregelt (vgl. Abb. 7.10).

7.4 Kapazität und Verkehrsqualität

Die Kapazität C ist die größte Verkehrsstärke (q_{max}), die ein Verkehrsstrom bei gegebenen Weg- und Verkehrsbedingungen an dem für ihn bestimmten Querschnitt erreichen kann (HBS; FGSV 2001a). Dabei wird als Zeiteinheit für die Verkehrsstärke q_{max} in Deutschland üblicherweise eine Stunde gewählt. Die Kapazität einer Verkehrsanlage ergibt sich aus ihrer baulichen Gestaltung, den äußeren Bedingungen (z.B. Wetter) und der Verhaltensweise der Verkehrsteilnehmer. Weil das Verhalten von Menschen sich von Ort zu Ort unterscheidet und weil auch zu unterschiedlichen Zeiten verschiedene Verhaltensweisen auftreten, ist die Kapazität einer Verkehrsanlage keineswegs eine Konstante (vgl. Ponzlet, 1996).

In Regelwerken (z.B. HBS; FGSV 2001a; HCM, 2000) sind vielfach solche Kapazitäten angegeben, die sich nach vorliegender Erfahrung im Mittel auf einer Verkehrsanlage bei günstigen äußeren Umständen (hell, trocken) einstellen. Abweichungen von diesen Kapazitäten treten z.B. je nach Witterungsbedingungen und bei unterschiedlicher Beleuchtung auf (Ponzlet, 1996; Brilon u. Regler, 2003). In neueren Untersuchungen wird die Kapazität von Anlagen des Straßenverkehrs auch als eine zufällige Größe aufgefasst (Brilon u. Zurlinden, 2004; Brilon u. Regler, 2003).

Unter dem Begriff der Qualität des Verkehrsablaufs wird eine zusammenfassende Gütebeurteilung des Verkehrsflusses aus der Sicht der Verkehrsteilnehmer verstanden. Eine Beurteilung der Qualität ist von der Natur dieser Aufgabe her mit subjektiven Einstellungen verbunden. Im Rahmen von Berechnungsverfahren zur Bemessung von Verkehrsanlagen müssen deshalb geeignete quantifizierbare Kriterien als Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs (MQV) festgelegt werden. Diese Kriterien richten sich vorzugsweise an den erreichbaren Reisezeiten für die Durchführung von Fahrten aus (z.B. Reisezeiten oder Wartezeiten als Kriterium). Diese Orientierung der Kriterien stößt aber vielfach an die Grenzen pragmatischer Erwägungen. So kann auf Landstraßen die mittlere Reisegeschwindigkeit nicht zum Maßstab gewählt werden, wenn auch auf Straßen im Gebirge bei freier Fahrmöglichkeit eine gute Qualität festgestellt werden soll, denn auf solchen Straßen wird auch bei schwachem Verkehr nur eine geringere Reisegeschwindigkeit möglich als in Flachlandstrecken bei hoher Verkehrsstärke. Deshalb werden als Parameter der Verkehrsqualität auch Größen verwendet, mit denen die Bewegungsfreiheit der einzelnen Verkehrsteilnehmer oder der Fahrkomfort gekennzeichnet werden (z.B. Verkehrsdichte, Auslastungsgrad; vgl. Tabelle 7.4). Die Kriterien werden durch bestimmte Maßzahlen (Maß der Qualität des Verkehrsablaufs, MQV; engl.: measure of effectiveness, MOE) gekennzeichnet.

Im maßgebenden deutschen Regelwerk HBS (FGSV, 2001a) werden die Kriterien nach Tabelle 7.4 für die Qualität im Straßenverkehr verwendet.

Mit Hilfe der Qualitätskriterien wird die Qualität des Verkehrsablaufs in Stufen (Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs, QSV) einge-

Tabelle 7.4 Kriterien für das Maß der Qualität des Verkehrsablaufs nach HBS. (FGSV, 2001a)

Art der Verkehrsanlage	Kriterium	MQV
Autobahnabschnitte außerhalb der Knotenpunkte	Auslastungsgrad	a
Planfreie Knotenpunkte	Auslastungsgrad	a
Zweistreifige Landstraßen	Verkehrsdichte	k
Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage	Mittlere Wartezeit	w
Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage	Mittlere Wartezeit	w
Straßengebundener öffentlicher Personennahverkehr	Beförderungsgeschwindigkeit Störungswahrscheinlichkeit Sitzplatz-/Stehflächenverfügbarkeit	$V_{ÖV}$ p_S R_{Si}, R_{St}
Anlagen für den Fußgängerverkehr	Verkehrsdichte	k

teilt. Dieser Gedanke wurde erstmals vom amerikanischen Highway Capacity Manual in der Ausgabe von 1965 vorgeschlagen (neueste Ausgabe: HCM 2000; dort genannt: Level of Service, LOS). Er hat sich seitdem weltweit als sinnvoll durchgesetzt. Die Qualitätsstufen werden mit Schulnoten gekennzeichnet. Die Bezeichnung lehnt sich dabei an die amerikanische Schreibweise der Schulnoten mit den Buchstaben A bis F (Stufe A = beste Qualität, Stufe F = schlechteste Qualität) an. Die einzelnen Stufen lassen sich folgendermaßen allgemein beschreiben und voneinander abgrenzen (FGSV, 2001a):

Stufe A: Die Verkehrsteilnehmer werden äußerst selten von anderen beeinflusst. Sie besitzen die gewünschte Bewegungsfreiheit in dem Umfang, wie sie auf der Verkehrsanlage zugelassen ist. Der Verkehrsfluss ist frei.

Stufe B: Die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer macht sich bemerkbar, bewirkt aber eine nur geringe Beeinträchtigung der einzelnen Verkehrsteilnehmer. Der Verkehrsfluss ist nahezu frei.

Stufe C: Die individuelle Bewegungsmöglichkeit hängt vielfach vom Verhalten der übrigen Verkehrsteilnehmer ab. Die Bewegungsfreiheit ist spürbar eingeschränkt. Der Verkehrszustand ist stabil.

Stufe D: Der Verkehrsablauf ist gekennzeichnet durch hohe Belastungen, die zu deutlichen Beeinträchtigungen in der Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer führen. Interaktionen zwischen ihnen finden nahezu ständig statt. Der Verkehrszustand ist noch stabil.

Stufe E: Es treten ständige gegenseitige Behinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern auf. Bewegungsfreiheit ist nur in sehr geringem Umfang gegeben. Der Verkehr bewegt sich im Bereich zwischen Stabilität und Instabilität. Die Kapazität wird erreicht.

Bei einem stabilen Verkehrszustand bewirken kleine Änderungen der Verkehrsnachfrage nur kleine Änderungen der Verkehrsqualität. Instabilität bedeutet, dass kleine Änderungen der Nachfrage sehr starke Ände-

rungen der Verkehrsqualität (z.B. der Fahrgeschwindigkeit) erzeugen können.

Stufe F: Die Nachfrage ist größer als die Kapazität. Die Verkehrsanlage ist überlastet.

Eine Beschreibung der einzelnen Qualitätsstufen erfolgt zusätzlich für jede Art einer Verkehrsanlage hinsichtlich der dort gegebenen Besonderheiten.

Ziel dieser Verwendung von Stufen der Verkehrsqualität ist es, die Anlagen für unterschiedliche Verkehrsarten (z.B. öffentliche Verkehrsmittel und motorisierter Individualverkehr) einer vergleichbaren Beurteilung zuzuführen.

Bei der Festlegung der Grenzen für die einzelnen Verkehrsanlagen in Regelwerken wird zweckmäßigerweise so vorgegangen: Die obere Grenze des MQV für Stufe E wird im Bereich der Kapazität der Anlage festgelegt. Als obere Grenze für Stufe D wird ein Wert des MQV bestimmt, der nach Auffassung von Experten oder nach Befragung von Verkehrsteilnehmern als zumutbar angesehen werden kann. Diese beiden Werte für MVQ zeichnen sich in den meisten Fällen relativ klar ab. Die Abstufung für die QSV A bis C kann dann nach Gesichtspunkten der Plausibilität vorgenommen werden.

Festlegungen für die Abstufung der Verkehrsqualität, wie sie im HBS (FGSV, 2001a) getroffen worden sind, werden in Tabelle 7.5 zusammengestellt. Dabei wird am Beispiel der Autobahnen zugleich deutlich, wie – ausgehend von mittleren Reisegeschwindigkeiten als wünschenswertem MQV – das verbindliche MQV (hier der Auslastungsgrad) festgelegt wurde. Die mittlere Reisegeschwindigkeit ließ sich deswegen nicht als MQV definieren, weil dann für Autobahnen in Gebirgsstrecken oder mit Geschwindigkeitsbeschränkungen niemals die Stufe QSV = A hätte erreicht werden können; auch dann nicht, wenn der Verkehr völlig freizügig abläuft.

Die Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs und die Zuordnung zu einer der Qualitätsstufen wird für jedes einzelne Element des Straßennetzes getrennt vorgenommen. Dabei können aneinander grenzende Abschnitte durchaus unterschiedliche Stufen aufweisen. Aufeinander folgende Elemente sollten sich jedoch in der Regel um nicht mehr als eine Qualitätsstufe unterscheiden. Sobald nur ein Element einer Verkehrsanlage, z.B. eines Knotenpunktes, in die Stufe F eingeordnet wird, ist der Verkehrsablauf auf der gesamten Anlage als unzureichend zu bewerten.

Welche QSV einer Bemessung zugrunde gelegt werden soll, ist im Allgemeinen von der planenden Stelle (z.B. dem Träger der Straßenbaulast) festzulegen. So hat der Bundesverkehrsminister in seinem Einführungsschreiben zum HBS (FGSV, 2001a) die Stufe D für die Bundesfernstraßen als wünschenswert vorgesehen. Diese Festlegung ist ganz generell zu empfehlen, weil von einer solchen Absicht die Definition der Grenzen im HBS geprägt ist. Diese Auffassung (MQV = D ergibt bei der Bemessung die Grenze der zulässigen Verkehrsbelas-tung) liegt auch anderen entsprechenden Regelwerken, z.B. dem amerikanischen HCM (2000), zugrunde.

Tabelle 7.5 Vergleich der Einteilung von Stufen der Verkehrsqualität nach HBS (FGSV, 2001a) für verschiedene Verkehrsanlagen

QSV	Autobahnen			Landstraßen	Knotenpunkt ohne LSA	Anlagen für Fußgänger	Städtische Hauptverkehrsstraßen[3]
	maßgebend	entspricht bei einer ebenen 2-streifigen Richtungsfahrbahn[1]					
	Auslastungsgrad	mittl. Geschwindigkeit	Verkehrsdichte	Verkehrsdichte	mittlere Wartezeit	Verkehrsdichte	mittlere Geschwindigkeit
A	≤ 0,30	≥130	≤ 8	≤ 5	≤ 10	≤ 0,10	≥ 40
B	≤ 0,55	≥ 125	≤ 16	≤ 12	≤ 20	≤ 0,25	≥ 30
C	≤ 0,75	≥ 115	≤ 23	≤ 20	≤ 30	≤ 0,40	≥ 25
D	≤ 0,90	≥ 100	≤ 32	≤ 30	≤ 45	≤ 0,70	≥ 20
E	≤ 1,00	≥ 80	≤ 45	≤ 40	>45	≤ 1,80	≥ 15
F	> 1,00	< 80	> 45	> 40	> 45[2]	> 1,80	< 15
Einheit	-	km/h	Kfz/km	Kfz/km	s	Pers/m²	km/h

[1] ohne Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit

[2] und Sättigungsgrad (= nachgefragte Verkehrsstärke/Kapazität) >1

[3] Vorschlag nach Brilon u. Schnabel (2003) für v_{zul} = 50 km/h

7.5 Verkehrsablauf der freien Strecke

Die Bewegung von Fahrzeugen auf einem Verkehrsweg lässt sich in einer Weg-Zeit-Ebene darstellen (vgl. Abb. 7.6).

Ein Schnitt senkrecht zur Weg-Achse an der Stelle x heißt *lokale Beobachtung* an der Stelle x. Dabei lassen sich erheben:

M = Anzahl der Fahrzeuge in einem Zeitintervall der Dauer Δt [-]

v_i = Einzelwerte der Geschwindigkeiten derjenigen Fahrzeuge, die den Querschnitt x im Zeitintervall Δt überqueren [km/h]

$w_i = 3600/v_i$

= Einzelwerte der Langsamkeiten von Fahrzeugen [s/km]

Daraus werden errechnet:

$$q = \frac{M}{\Delta t} \quad [\text{Fz/h}] \qquad (7.1)$$

q = Verkehrsstärke am Querschnitt x im Zeitintervall Δt

$$\bar{v}_l = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^{M} v_i \quad [\text{km/h}] \qquad (7.2)$$

= mittlere lokale Geschwindigkeit

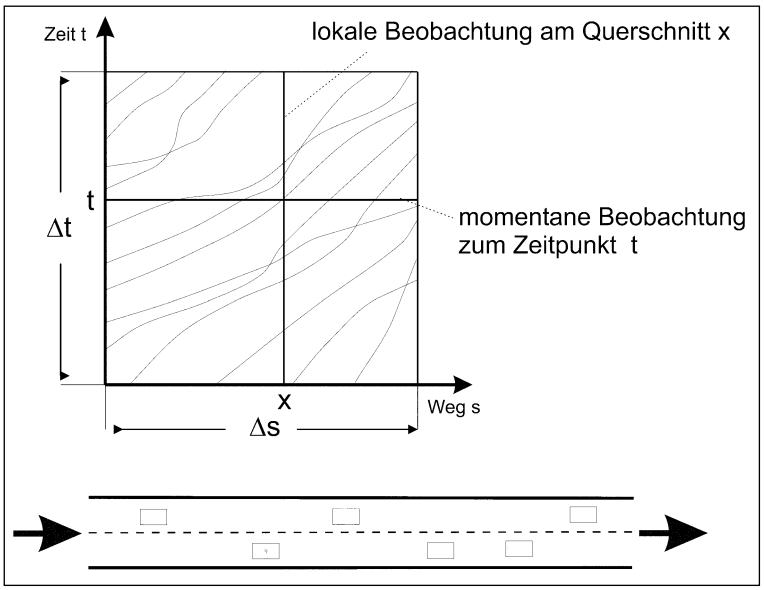


Abb. 7.6 Zeit-Weg-Diagramm des Verkehrsablaufs.
(Eigene Darstellung)

$$\sigma_l^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^{M} (v_i - \bar{v}_l)^2 = \frac{1}{M-1} \left(\sum_{i=1}^{M} v_i^2 - M \cdot \bar{v}_l^2 \right) \quad (7.3)$$

= Varianz der Geschwindigkeiten bei lokaler Betrachtung

σ_l = Standardabweichung der lokalen Geschwindigkeiten [km/h]

$$\bar{w}_l = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^{M} w_i \quad [s/km] \quad (7.4)$$

= mittlere lokale Langsamkeit

$$\bar{v}_s = \frac{M}{\sum_{i=1}^{M} \frac{1}{v_i}} = \frac{1}{\bar{w}_l} \quad [km/h] \quad (7.5)$$

= harmonisches Mittel der lokalen Geschwindigkeiten

Ein Schnitt senkrecht zur Zeit-Achse an der Stelle t heißt *momentane Beobachtung* zum Zeitpunkt t. Dabei lassen sich erheben:

N = Anzahl der Fahrzeuge im Wegabschnitt [-]

v_i = Einzelwerte der Geschwindigkeiten derjenigen Fahrzeuge, die sich zum Zeitpunkt t im Wegintervall der Länge Δ s befinden [km/h]

Daraus werden errechnet:

$$k = \frac{N}{\Delta s} \quad [Fz/km] \quad (7.6)$$

= Verkehrsdichte zum Zeitpunkt t im Wegabschnitt Δ s

$$\bar{v}_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} v_i \quad [km/h] \quad (7.7)$$

= mittlere momentane Geschwindigkeit

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} (v_i - \bar{v}_m)^2 = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^{N} v_i^2 - N \cdot \bar{v}_m^2 \right) \quad (7.8)$$

= Varianz der Geschwindigkeiten bei momentaner Beobachtung

σ_m = Standardabweichung der momentanen Geschwindigkeiten[km/h]

Die mittlere Reisegeschwindigkeit $\bar{v}_R$ der Fahrzeuge über einen Streckenabschnitt der Länge S ist definiert als

$$\bar{v}_R = \frac{S}{\bar{t}_R} = \frac{M}{\sum_{i=1}^{M} \frac{1}{v_i}} \quad [km/h] \quad (7.9)$$

mit

$\bar{t}_R$ = mittlere Reisezeit für die Strecke der Länge S [h]

S = Streckenlänge [km]

Das harmonische Mittel der Geschwindigkeiten bei lokaler Betrachtung (Gleichung 7.5) ist in einem über Zeit und Weg stationären Verkehrsfluss eine zutreffende Schätzung der mittleren momentanen Geschwindigkeit (Gleichung 7.7). Daraus und aus der formalen Gleichheit der Gleichungen 7.9 und 7.5 wird deutlich, dass die mittlere Reisegeschwindigkeit $\bar{v}_R$ über eine längere Strecke durch die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}_m$ aus einer momentanen Schätzung repräsentiert wird.

Es gelten folgende Zusammenhänge (Herleitungen: vgl. Leutzbach, 1972):

$$q = k \cdot v_m \quad \text{(Zustandsgleichung)} \quad (7.10)$$

$$\bar{v}_l = \bar{v}_m + \frac{\sigma_m^2}{\bar{v}_m} \quad (7.11)$$

$$\bar{v}_m = \frac{1}{\overline{w_l}} \quad (7.12)$$

Näherungsweise gilt auch:

$$\bar{v}_m = \bar{v}_l - \frac{\sigma_l^2}{\bar{v}_l} \quad (7.13)$$

Aus Gleichung 7.11 und 7.13 wird deutlich, dass die mittlere lokale Geschwindigkeit $\bar{v}_l$ immer größer ist als $\bar{v}_m$, solange die Geschwindigkeiten eine Streuung σ aufweisen.

Das Fundamentaldiagramm (q-k-Diagramm) stellt den Zusammenhang zwischen der Verkehrsdichte k und der Verkehrsstärke q dar. Dabei sind das q-v-Diagramm und das k-v-Diagramm über die Gleichung 7.10 fest verknüpft. Abbildung 7.7 stellt als Prinzipskizze die traditionelle Auffassung des Fundamentaldiagramms dar. Das q-k-Diagramm muss – das legt die Anschauung nahe – durch die Punkte

- $k = 0$; $q = 0$; $\bar{v}_m = v_0$
  (v_0 = mittlere momentane Geschwindigkeit für $k \to 0$)
- $k = k_{max}$; $\bar{v}_m = 0$; $q = 0$
  (k_{max} = maximale Verkehrsdichte in einer stehenden Kolonne)

verlaufen. Zwischen diesen beiden Punkten ist $q > 0$. Die Verkehrsstärke q erreicht dabei ein Maximum. Diese maximal mögliche Verkehrsstärke q_{max} heißt Kapazität. Die dabei vorherrschende Verkehrsdichte nennen wir k_{krit} (vielfach auch k_{opt} genannt).

Die Darstellung des Fundamentaldiagramms dient in erster Linie der Veranschaulichung der Zusammenhänge zwischen q, k und $\bar{v}_m$. In der Realität ergibt sich das Fundamentaldiagramm aus Messungen des Verkehrsablaufs als eine Menge von Punkten in der k-q-Ebene, die über einen gewissen Bereich streuen. Diese Punkte können durch eine Näherungsfunktion repräsentiert werden. Diese Näherungsfunktion wird im Allgemeinen in der k-v-Ebene gesucht, da hier die Messpunkte geringer streuen, z.B.

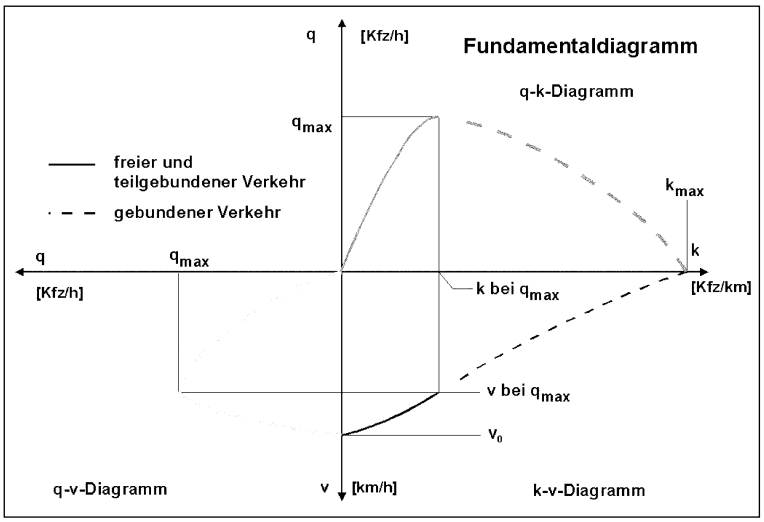


Abb. 7.7 Prinzipskizze des Fundamentaldiagramms. Als Fundamentaldiagramm wird im engeren Sinne das q-k-Diagramm bezeichnet. („v" steht hier für die mittlere momentane Geschwindigkeit $\bar{v}_m$.) (Eigene Darstellung)

$$\bar{v}_m = A + B \cdot k \qquad \text{(Greenshields-Modell)} \qquad (7.14)$$

$$\bar{v}_m = B \cdot e^{Ak} \qquad (7.15)$$

$$\bar{v}_m = A \cdot \ln\left(\frac{B}{k}\right) \qquad (7.16)$$

$$k(\bar{v}_m) = \frac{1}{A + \frac{B}{v_0 - \bar{v}_m} + C \cdot \bar{v}_m}$$

(van Aerde-Modell) (7.17)

Die Parameter A, B und C können durch Regression in der k-$\bar{v}_m$-Ebene aus den Messergebnissen berechnet werden. Gleichung 7.17 (van Aerde, 1995) zeigt den charakteristischen S-förmigen Verlauf des k-v-Diagramms, wie er sich auch bei Messdaten von Autobahnen zeigt. Diese Formel ist zugleich die einzige bekannte Ausgangsgleichung, die zusammen mit Gleichung 7.10 zu einem Fundamentaldiagramm führt, das als geschlossener Kurvenzug von k = 0 bis k = k_{max} einen sinnvollen Verlauf nimmt. Gleichung 7.14 und 7.15 sind nur im Bereich geringer Verkehrsdichten (ansteigender Ast des q-k-Diagramms) sinnvoll anwendbar. Gleichung 7.16 eignet sich dagegen eher zur Darstellung der Diagramme im Bereich großer Verkehrsdichten k.

Von praktischer Bedeutung ist vor allem das q-v-Diagramm, weil es in Regelwerken zur Beschreibung des Leistungsvermögens von Streckenabschnitten auf Autobahnen (siehe Abb. 7.8) oder Landstraßen (siehe Abb. 7.9) dargestellt wird. Hier werden nur geringe Verkehrsdichten k und hohe Geschwindigkeiten v betrachtet. Für die Dimensionierung von Straßen lässt sich nur dieser Bereich verwenden, weil der Bereich des Staus nicht das Ziel einer Straßendimensionierung sein kann.

Es hat sich in Deutschland als sinnvoll erwiesen, als grundsätzliches Maß der Qualität des Verkehrsablaufs (MQV) die mittlere Reisegeschwindigkeit der Pkw (d.h. nicht das Mittel über alle Fahrzeuge) zu verwenden. Dabei wird aber als unabhängige Größe auf der horizontalen Achse die Verkehrsstärke q in [Anzahl aller Kfz/h] verwendet. Für Autobahnen (Abb. 7.8) wird im HBS (FGSV, 2001a) für das q-v-Diagramm die Funktion

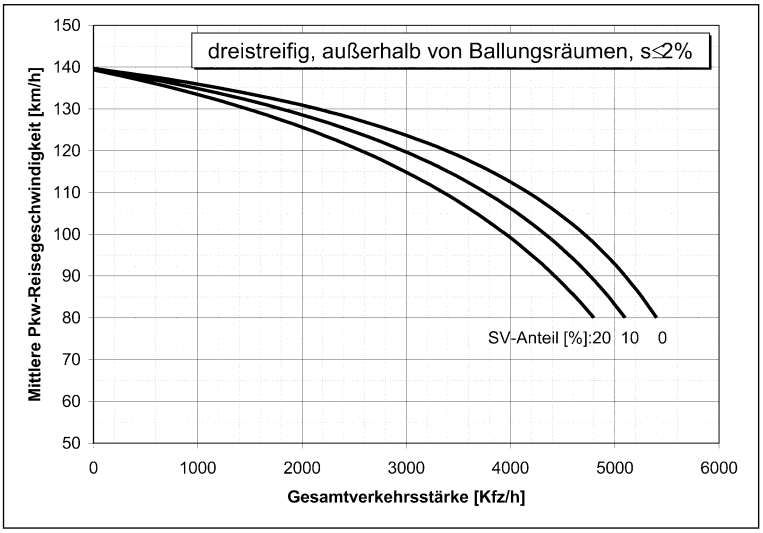


Abb. 7.8 q-v-Diagramm für die Richtungsfahrbahn einer Autobahn mit 3 Fahrstreifen in ebenem Gelände. Die unterschiedlichen Kurven gelten für 0 %, 10 % und 20 % Anteil von Schwerverkehr (Autobahn im Ballungsgebiet, SV = Fahrzeuge > 3,5 t); HBS (FGSV, 2001a)

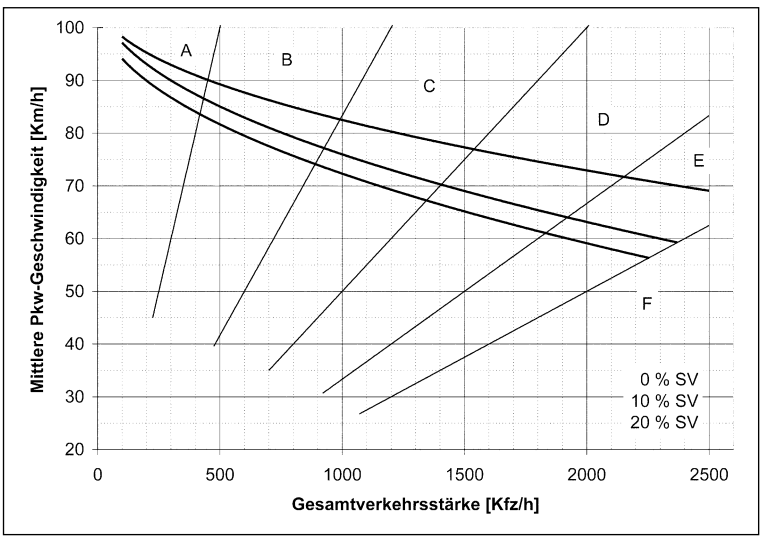


Abb. 7.9 q-v-Diagramm für eine Landstraße in ebenem Gelände mit gestreckter Linienführung. Eingetragen sind die Stufen der Verkehrsqualität (vgl. Abschnitt 7.4; Steigungsklasse 1, Kurvigkeit < 25 gon/km; SV = Fahrzeuge > 3,5 t); HBS (FGSV, 2001a)

$$\bar{v}_m = \frac{v_0}{1 + \frac{v_0}{A \cdot (B - q)}} \qquad (7.18)$$

benutzt, die aus einer einfachen Analogie der Warteschlangentheorie hergeleitet wurde (Brilon u. Ponzlet, 1995). Die zugrunde liegenden Messdaten und Herleitungen des Funktionsverlaufs stammen von Brilon u. Bressler (2001). Die Parameter v_0, A und B von Gleichung 7.18 sind im HBS (FGSV, 2001a, Kap. 3) angegeben.

Für Landstraßen wird in den Regelwerken die Verkehrsstärke über beide Fahrtrichtungen gemeinsam dargestellt. Das q-v-Diagramm weist – im Gegensatz zu mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen – einen konkaven Verlauf auf. Die Diagramme im HBS (FGSV 2001a, Kapitel 5; vgl. Abb. 7.9) gehen auf Messungen und Simulationen von Brilon und Weiser (1997) zurück. Der grundsätzliche Unter-

schied des Verlaufs der q-v-Diagramme zwischen Straßen mit einem und mit mehren Fahrstreifen pro Richtung ist auch von Wu (2000) theoretisch aufgezeigt worden.

Erfahrungen aus der Anwendung von q-v-Diagrammen in der Art von Abbildung 7.8 und Abbildung 7.9 sind in Abbildung 7.10 zusammengetragen. Obwohl diese Abbildung älter ist als die nach dem HBS (FGSV, 2001a) gültigen Dimensionierungsdiagramme, eignet es sich weiterhin für eine vorläufige Auswahl von Straßenquerschnitten für Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften nach der RAS-Q 1996 (FGSV, 1996).

Auf städtischen Hauptverkehrsstraßen ist es schwierig, diejenigen Einflüsse zu unterscheiden, die Knotenpunkte und die Strecken zwischen den Knoten auf die Verkehrqualität haben. Das HBS (FGSV, 2001a) äußert sich dazu nicht. Es lässt jedoch erkennen, dass die Autoren beabsichtigen, spezielle Qualitätsanforderungen nur für die Streckenabschnitte zu erarbeiten. Ergebnisse dazu liegen inzwischen von Baier et al. (2003) vor. Als wesentlicher wird vielfach die Verkehrsqualität angesehen, die bei einer Fahrt in einer Stadt über mehrere Kilometer erreicht wird (vgl. auch HCM, 2000). Berechnungsmöglichkeiten und Qualitätseinstufungen dafür sind von Brilon und Schnabel (2003) vorgeschlagen worden (vgl. Tabelle 7.5)

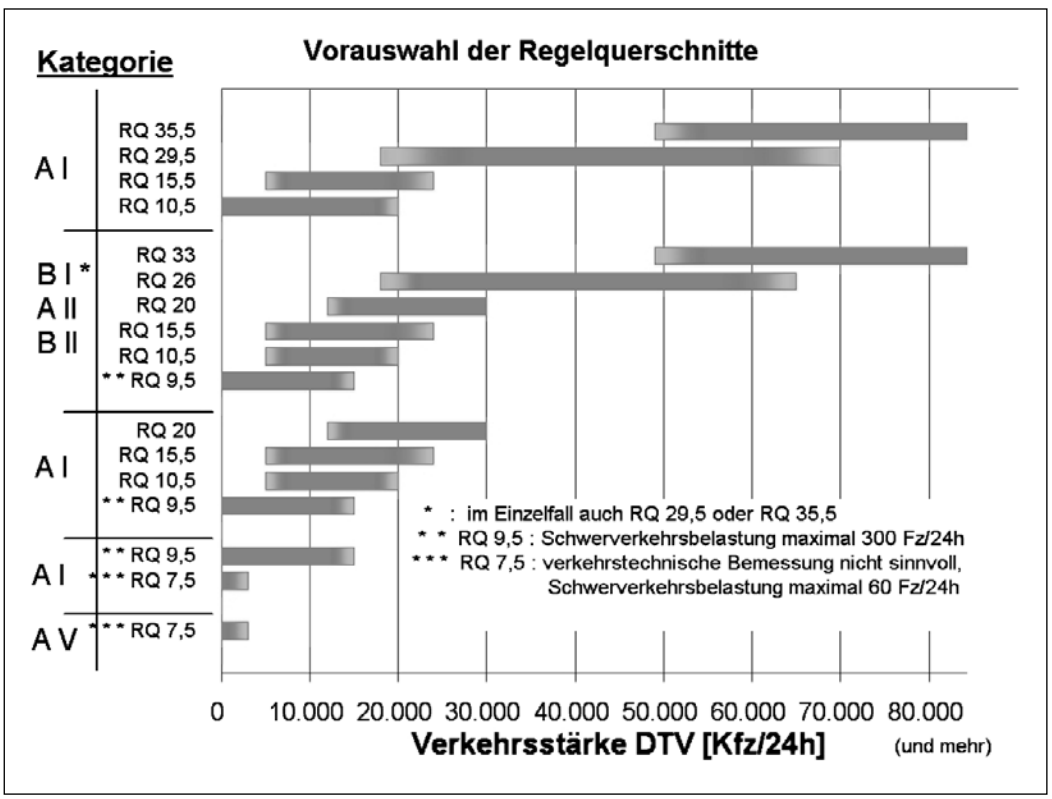


Abb. 7.10 Vorauswahl von Straßenquerschnitten nach RAS-Q (FGSV, 1996) in Abhängigkeit von der Straßenkategorie und dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV)

7.6 Verkehrsablauf an planfreien Knotenpunkten

Im Zuge von schnell befahrenen Straßen ist es aus Gründen der Verkehrssicherheit notwendig, Kreuzungsvorgänge zu vermeiden. Dies kann auch aus Gründen der Leistungsfähigkeit erforderlich werden. Dann wird der Verkehr über Brücken in mehreren Ebenen geführt, so dass die starken und schnellen Verkehrsströme fließen können, ohne sich zu kreuzen. Die Verbindung zwischen den beiden Straßen wird dann über Rampen hergestellt. Dabei werden vielfach die Ausfahrten aus der durchgehenden Strecke in die Rampen sowie die Einfahrten von den Rampen in durchgehende Fahrbahnen zum Engpass. Leistungsprobleme können sich auch aus einer dichten Folge von Einfahrt und unmittelbar anschließender Ausfahrt (=Verflechtungsstrecke) ergeben. Die Gesamtheit der zusammen gehörenden Ausfahrten, Verflechtungsstrecken, Einfahrten und Rampen in Verbindung mit den Abschnitten der durchgehenden Fahrbahnen wird als planfreier Knotenpunkt bezeichnet.

Die Gestaltung der planfreien Knotenpunkte ist in mehreren Regelwerken enthalten (RAL-K-2; FGSV 1991b; AH-RAL-K-2; FGSV, 1992b). Vereinfachte Berechnungsverfahren für die Kapazität von Ausfahrten, Einfahrten und Verflechtungsstrecken sind im HBS (FGSV, 2001a, Kap. 4) dargestellt.

Die Kapazität von *Ausfahrten* ist in jüngerer Zeit von Schnüll et al. (2000a) untersucht worden. Diese Untersuchungen werden z. Zt. in verschiedenen weiteren Projekten fortgesetzt, da sich gerade die Ausfahrten als besonders schwierig bei der Beschreibung des Verkehrsablaufs erwiesen haben.

Die in Deutschland gebräuchlichen Verfahren für die Dimensionierung von *Einfahrten* gehen auf die Untersuchung von Brilon u. Westphal (1994) zurück. Für das HBS (FGSV, 2001a) sind diese Berechnungsansätze merklich vereinfacht worden (siehe Abb. 7.11). Kern des Berechnungsverfahrens ist die Annahme, dass die Summe aus der Stärke q_{H1} des Verkehrs auf dem rechten Fahrstreifen (in Höhe der Trenninselspitze) und der Verkehrsstärke q_E auf der Einfahrtrampe nur eine bestimmte Obergrenze erreichen können. Diese beiden Ströme müssen im Bereich der Einfahrt von dem rechten Fahrstreifen bewältigt werden. Als Standardwert für diese Obergrenze wird nach vorliegenden Erfahrungen im HBS (FGSV, 2001a) eine Kapazität von 2200 Kfz/h angesetzt. Die Abhängigkeit der Stärke q_{H1} von der Stärke q_H des Gesamtverkehrs auf der durchgehenden Strecke wird nach entsprechenden Beobachtungen angesetzt (vgl. Brilon u. Westphal, 1994). Zur Bestimmung der Stufen für die Qualität des Verkehrsablaufs werden die gleichen Auslastungsgrade angesetzt wie auf der freien Strecke von Autobahnen (vgl. Tabelle 7.5). Auf diese Weise entstehen die in Abbildung 7.11 eingetragenen Geradenabschnitte. Die obere Grenze für diese Geradenabschnitte ergibt sich aus der Kapazität der stromabwärts folgenden Autobahnstrecke (vgl. Kap. B 7.5).

Verflechtungsstrecken sind im deutschsprachigen Raum mit ihrem verkehrstechnischen Leistungsvermögen bereits von mehreren Autoren untersucht worden (Knoflacher et al., 1982; Maurmeier, 1980; Schnüll et al., 2000b). Aus der zuletzt genannten Quelle sind die Bemessungsdiagramme des HBS (FGSV, 2001a) entwickelt worden. Hier liegt der gleiche Gedanke zugrunde, der zuvor für Einfahrten genannt war: die Summe aus der Stärke $q_{H1} + q_E$ (vgl. Abb. 7.12) kann maximal eine Obergrenze von 2200 Kfz/h erreichen. Eine solche Obergrenze gilt, weil sich auf der Verflechtungsstrecke die beiden Verkehrsströme – genau betrachtet – durchkreuzen und weil somit alle ein- und ausfahrenden Verkehrsteilnehmer zumindest kurzfristig hintereinander

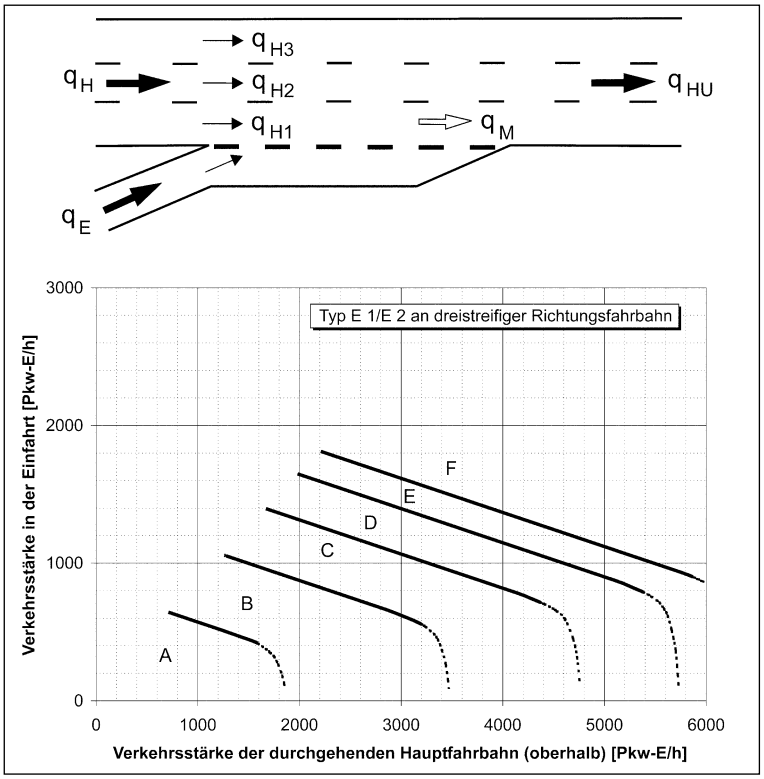


Abb. 7.11 Einfahrtyp E1 nach RAL-K-2 und zugehörige Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für den Einfädelungsvorgang in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke q_H der durchgehenden Hauptfahrbahn und der Verkehrsstärke q_E der Einfahrt an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen. HBS (FGSV, 2001a)

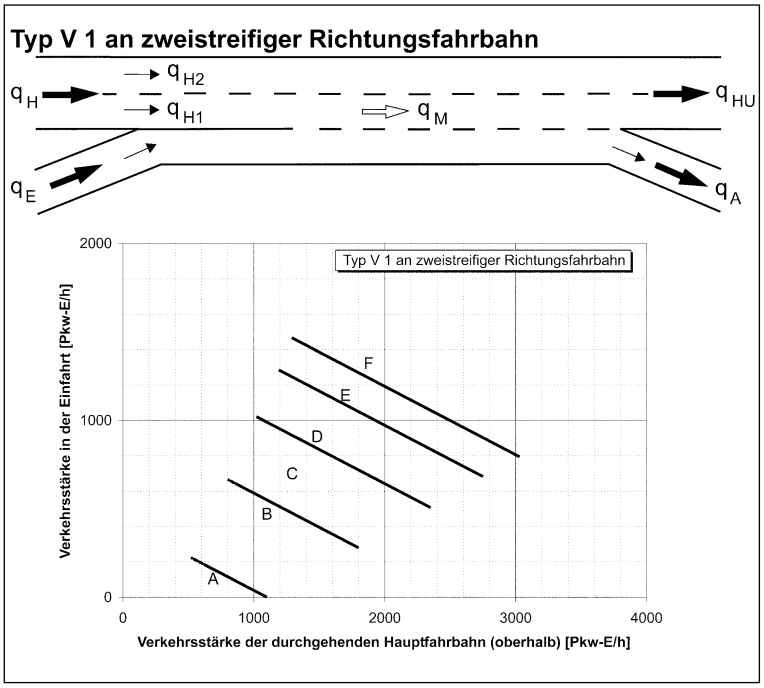


Abb. 7.12 Verflechtungsstrecke an einer durchgehenden zweistreifigen Richtungsfahrbahn (Typ V1) und zugehörige Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke q_H auf der Hauptfahrbahn stromaufwärts und der Verkehrsstärke q_E der Einfahrt. HBS (FGSV, 2001a)

fahren müssen. Beobachtungen zeigen, dass dieser Zustand des Hintereinanderfahrens nur sehr kurz andauert, so dass dabei nur minimale Sicherheitsabstände eingehalten werden. Deswegen sind (statt 2200 Kfz/h) an einzelnen Verflechtungsstrecken im Autobahnnetz auch schon höhere Verkehrsstärken – bis zu 3200 Kfz/h – beobachtet worden.

7.7 Verkehrsablauf an plangleichen Knotenpunkten

7.7.1 Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage

Rechts vor Links

Die allgemeine Vorfahrtregel lautet in den meisten Ländern des europäischen Kontinents „rechts vor links“. Sie gilt, wenn keine sonstigen vorfahrtregelnden Verkehrszeichen angeordnet sind. Auf eine theoretische Ermittlung der Kapazität und Verkehrsqualität bei dieser Regelung ist lange Zeit vergleichsweise wenig Wert gelegt worden. Die Untersuchung von Vasarhely (1976) gilt auch heute noch als ein aktuelles Werk. Die Arbeit beruht auf Simulationsrechnungen. Neuerdings sind hierzu Berechnungsverfahren von Wu (2003) und Boltze et al. (2003) entwickelt worden. Nach allen Unterlagen ist davon auszugehen, dass Knotenpunkte nach der Regel „rechts vor links“ bei hinreichender Verkehrsqualität nur bis zu einer Gesamtbelastung von ca. 800 Kfz/h betrieben werden können.

Das 2-Ströme-Problem

Zur Herleitung der rechnerischen Grundlagen für vorfahrtgeregelte Knotenpunkte wird zunächst eine Kreuzung von zwei Einbahnstraßen betrachtet. Hier gibt es auf jeder Straße einen geradeaus gerichteten Verkehrsstrom. Einer der Ströme hat nach der Straßenverkehrsordnung das Vorfahrtrecht vor dem anderen. Der bevorrechtigte Strom heißt Hauptstrom (Verkehrsstärke q_p), der wartepflichtige Strom heißt Nebenstrom (Verkehrsstärke q_n) (siehe Abb. 7.13).

Empirische Kapazitätsermittlung

Ohne theoretische Vorüberlegungen kann man die Kapazität des Knotenpunktes durch Beobachtung feststellen. Dazu wird die Kreuzung bei ständigem Rückstau betrachtet (z.B. mit Video). Wenn ständiger Stau vor der Kreuzung herrscht, kann man davon ausgehen, dass der abfließende Verkehr gerade der Kapazität $q_{n,\ max}$ entspricht. Als Ergebnis der Messung werden graphisch aufgetragen:

- Verkehrsstärke q_p auf der horizontalen Achse
- $q_{n,\ max}$ = Verkehrsstärke im Nebenstrom bei ständigem Rückstau auf der vertikalen Achse.

Dabei ist die sinnvolle Dauer für das Beobachtungsintervall eine Minute. Diese Messpunkte werden dann zusammenfassend durch eine Regressionsgleichung beschrieben. Als Regressionsgleichungen kommen in Betracht:

$$q_{n,\ max} = A - B \cdot q_p \tag{7.19}$$

$$q_{n,\ max} = A \cdot e^{-B \cdot q_p} \tag{7.20}$$

Die Regressionskonstanten A und B können dabei von geometrischen Eigenschaften des Knotenpunktes abhängen. In dieser reinen Form ist dies Verfahren in England entwickelt worden („empirische Regressionstheorie“). Zum praktischen Einsatz sind derartige Verfahren bisher nur in England gekommen oder in Ländern, in denen englische Forscher bera-

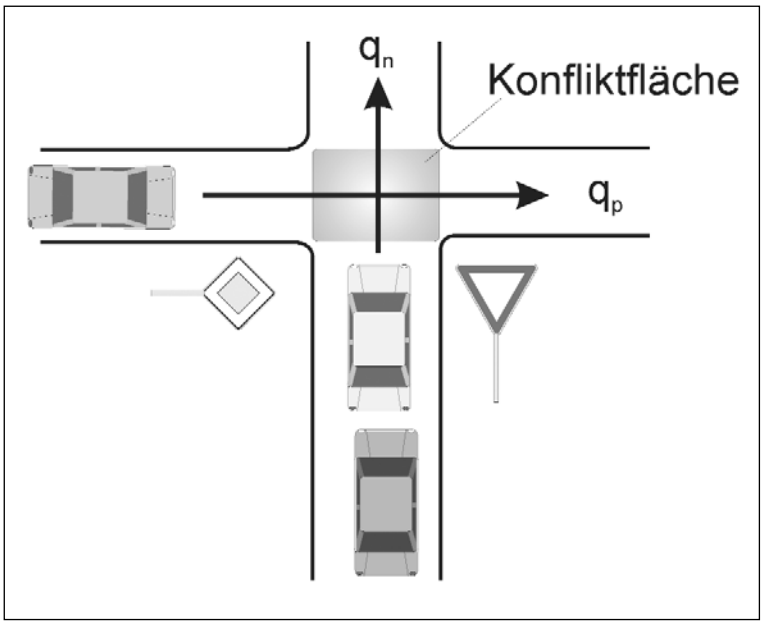


Abb. 7.13 Das 2-Ströme-Problem. (Eigene Darstellung)

tend tätig sind, z.B. Singapur. In vielen anderen Ländern hat diese Theorie jedoch Einzug bei der Beschreibung der Kapazität von Kreisverkehrsplätzen gehalten.

Theorie der Grenzzeitlücken

Ein Fahrzeug des Nebenstroms kann nur in die Kreuzung einfahren, wenn sich im Hauptstrom kein Fahrzeug dem Knotenpunkt nähert. Der Begriff „Nähern“ ist genauer zu beschreiben. Eine Einfahrt in die Konfliktfläche ist dann möglich, wenn das nächste Hauptstromfahrzeug erst nach t_g Sekunden oder später ankommen wird. t_g nennt man die Grenzzeitlücke (engl.: critical gap). Außerdem gilt: Ein Nebenstrom-Fahrzeug kann nicht gleichzeitig mit seinem Vordermann einfahren. Es muss zwangsläufig einen gewissen Mindestabstand zu dem vorhergehenden Fahrzeug einhalten, d.h. es kann frühestens t_f Sekunden später einfahren t_f wird Folgezeitlücke genannt (engl.: follow-up time).

Die genaue Definition für t_g und t_f lautet:

– t_g = Zeitlücke im Hauptstrom, die mindestens vorhanden sein muss, damit ein Fahrzeug von der Nebenstraße in den Knotenpunkt einfahren kann.
– t_f = zeitlicher Abstand zweier Nebenstromfahrzeuge bei der Abfahrt an der Haltlinie, wenn diese Fahrzeuge in dieselbe Lücke des Hauptstroms einfahren.

Diese Werte sind naturgemäß für jeden Fahrer verschieden, und auch für denselben Fahrer werden sich im Laufe der Zeit andere Werte ergeben. Man verwendet deshalb im Allgemeinen repräsentative Werte für t_g und t_f , z.B. die Mittelwerte.

t_f kann durch Messungen ermittelt werden. Dazu werden die zeitlichen Abstände zwischen Nebenstromfahrzeugen registriert, die aus einem Rückstau heraus in dieselbe Hauptstromlücke einfahren. t_g kann nicht direkt gemessen werden. Es gibt jedoch eine Vielzahl von Theorien und Methoden, mit deren Hilfe t_g anhand der von den Nebenstraßenfahrern angenommenen und abgelehnten Lücken geschätzt werden kann (Brilon et al., 1997a). Die Verfahren sind im Allgemeinen so kompliziert,

dass eine Ermittlung in der Praxis nicht möglich ist. Deswegen kommen nur standardisierte Werte zur Anwendung. Die Werte für t_g und t_f sind Kennwerte für das Verhalten der Fahrer. Dieses Verhalten kann sich von Ort zu Ort und über die Zeit ändern. Insbesondere wird nach Ländern unterschieden, weil die jeweiligen Traditionen und Verkehrsregeln der Länder einen Einfluss auf die Werte haben können. In den deutschen Richtlinien (HBS, FGSV, 2001a) sind die t_g- und t_f-Werte nach Brilon u. Weinert (2001) enthalten.

Mit t_g und t_f kann die Kapazität des Nebenstroms errechnet werden. Dazu wird angenommen, dass die Ankünfte im Hauptstrom poissonverteilt sind. Dann sind die Zeitlücken zwischen den Ankünften exponentialverteilt. Diese Annahme ist – streng genommen – nur bei sehr schwachem Verkehr gerechtfertigt. Es zeigt sich jedoch, dass auch mit dieser Vereinfachung realistische Ergebnisse ermittelt werden können, wenn zugleich feste Werte für t_g und t_f (anstelle von statistischen Verteilungen) verwendet werden (Großmann, 1991).

Unter der Kapazität versteht man die größte mögliche Verkehrsstärke des Nebenstroms, die in die Lücken im Hauptstrom abfließen kann. Die Kapazität errechnet sich mit den zuvor geschilderten Annahmen nach der Formel von Siegloch (1973):

$$q_{n,\,max} = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_p}{3600}\left(t_g - \frac{t_f}{2}\right)} \quad \text{[Fz/h]} \quad (7.21)$$

Von besonderem Interesse ist über die Kapazität hinaus die Qualität des Verkehrsablaufs am Knotenpunkt. Als das wesentliche Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs wird im Allgemeinen die mittlere Wartezeit der Fahrzeuge angesehen. Die mittlere Wartezeit kann nach der Formel von Kimber u. Hollis (1979) berechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass für diese Formel sehr spezifische Definitionen der Mittelwertbildung vorausgesetzt sind. Eine Überprüfung der Ergebnisse aus dieser Formel in der Praxis ist deswegen schwierig. Als besonders sinnvoll hat es sich herausgestellt, die mittlere Wartezeit in Abhängigkeit von der Kapazitätsreserve R darzustellen (siehe Abb. 7.14). R ist die Differenz zwischen der Kapazität (Gl. 7.21) und der Stärke des Nebenstroms q_n.

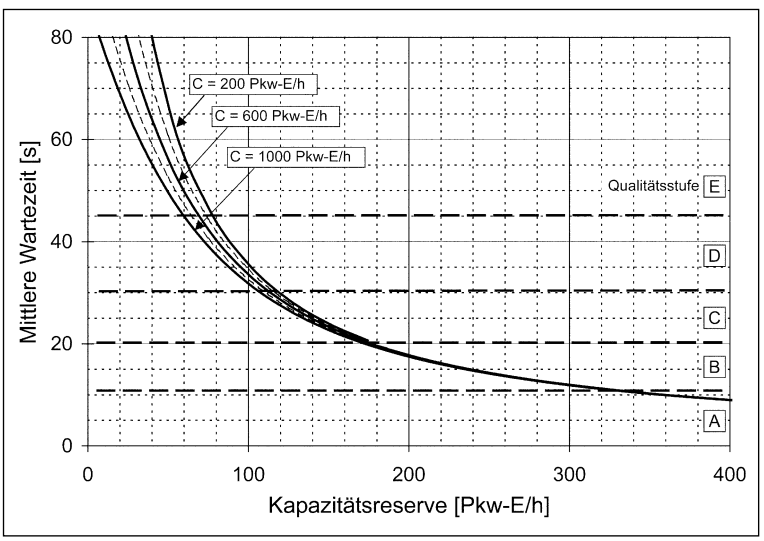


Abb. 7.14 Mittlere Wartezeit in Abhängigkeit von der Kapazitätsreserve R und der Kapazität C nach Kimber u. Hollis (1979). Eingetragen sind auch die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs nach HBS (FGSV, 2001a).

Ein weiteres wesentliches Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs ist die Wahrscheinlichkeit p_0 dafür, dass kein Nebenstromfahrzeug wartet:

$$p_0 = 1 - g \quad ; \qquad g = \frac{q_n}{q_{n,\,max}}$$

[-] (7.22)

Als Maß der Qualität des Verkehrsablaufs kommt auch die Länge des Staus in der Nebenstraße in Betracht. Die 95-Percentile der Rückstaulänge N_{95} kann nach Wu (1994) (vgl. auch Wu, 1997) dargestellt werden als:

$$N_{95} = \frac{C \cdot T}{4}\left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{24 \cdot x}{C \cdot T}} \right]$$

[Fz] (7.23)

Kreisverkehrsplätze

Für die Berechnung der Kapazität von Kreisverkehren hat beinahe jedes Land auf der Welt seine eigene Lösung entwickelt. Tatsächlich entstehen anscheinend in jedem Land unterschiedliche Leistungsfähigkeiten der Kreisverkehre. Ursache können landesspezifische Entwurfsregeln, aber auch verschiedene grundsätzliche Verhaltensmuster der Verkehrsteilnehmer sein. Beinahe alle weltweit gebräuchlichen Verfahren behandeln die einzelnen Einfahrten wie unabhängige Knotenpunkte. Die Kapazität jeder einzelnen Zufahrt zu einem Kreisverkehr kann dann wie bei dem zuvor geschilderten 2-Ströme-Problem ermittelt werden.

Im HBS (FGSV, 2001a) ist der Ansatz von Brilon et al. (1997b) übernommen worden (vgl. Abb. 7.15). Aus der Abbildung kann die Kapazität G jeder einzelnen Zufahrt als Funktion der Verkehrsstärke q_k auf der Kreisfahrbahn entnommen werden (zur Berechnung der Pkw-Einheiten: vgl. Tabelle 7.2). Die obere Kurve für 2-streifige Einfahrten (2/2 HBS) ist nur für sehr große Kreisverkehre anwendbar, bei denen beide Fahrstreifen in vollem Umfang ausgenutzt werden. In Deutschland – wie auch in vielen anderen Ländern – sind die Kraftfahrer aber vielfach nicht bereit, über den linken Fahrstreifen in den Kreis einzufahren. Deswegen ist es realistischer, die mit (1.) in Abbildung 7.15 bezeichnete Kurve zu verwenden. Bei kompakten 2-streifig befahrbaren Kreisen mit nur 40 bis 60 m Außendurchmesser, wie sie besonders gebräuchlich sind, haben sich die in Abbildung 7.15 mit (2.) bezeichnete Kapazitätskurve nach Brilon u. Bäumer (2003) durch Beobachtungen ergeben.

Die Kapazität der Ausfahrten von Kreisverkehrsplätzen ist wissenschaftlich bisher noch nicht untersucht worden. Beobachtungen zeigen, dass 1-streifige Ausfahrten nicht mehr als 1200 bis 1400 Pkw-E/h bewältigen. Der höhere Wert wird nur bei sehr zügiger Führung des Fahrzeugverkehrs in der Ausfahrt erreicht. Mehrstreifige Ausfahrten sind aus Gründen der Verkehrssicherheit zu vermeiden.

Kreuzungen und Einmündungen

Bisher ist nur das Zwei-Ströme-Problem (Abb. 7.13) behandelt worden. Auf einem realen Knotenpunkt (Kreuzung oder Einmündung) gibt es jedoch mehr Ströme, z.B. auf einer Kreuzung 12 verschiedene Verkehrsbewegungen (Abb. 7.16). Diese Ströme sind nach der Straßenverkehrsordnung in unterschiedlicher Weise gegenseitig über- und untergeordnet. Es ergibt sich hieraus eine Hierarchie der Vorfahrt für die einzelnen Ströme. Diese gliedert sich in 4 Ränge der Vorfahrt. Dabei betrifft Rang 1 solche Ströme, die immer Vorfahrt gegenüber allen anderen Strömen haben (z.B. Geradeausfahrer auf der Hauptstraße). Der Rang 4 gilt für Ströme, die jedem anderen Verkehrsstrom den Vortritt lassen müssen (Linkseinbieger aus der Nebenstraße an Kreuzungen, vgl. Abb. 7.16).

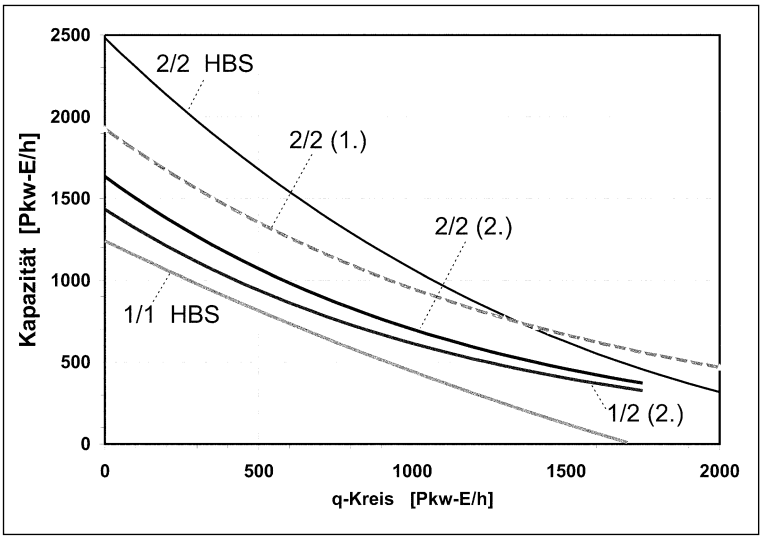


Abb. 7.15 Kapazitäten von Kreisverkehrszufahrten. Nach HBS (FGSV, 2001a)

1 neuere realistischere Einschätzung
2 nach Brilon u. Bäumer (2003) für kompakten „zweistreifig befahrbaren“ Kreis

1/1: 1-streifige Zufahrt zum 1-streifigen Kreis
1/2: 1-streifige Zufahrt zum 2-streifigen Kreis
2/2: 2-streifige Zufahrt zum 2-streifigen Kreis

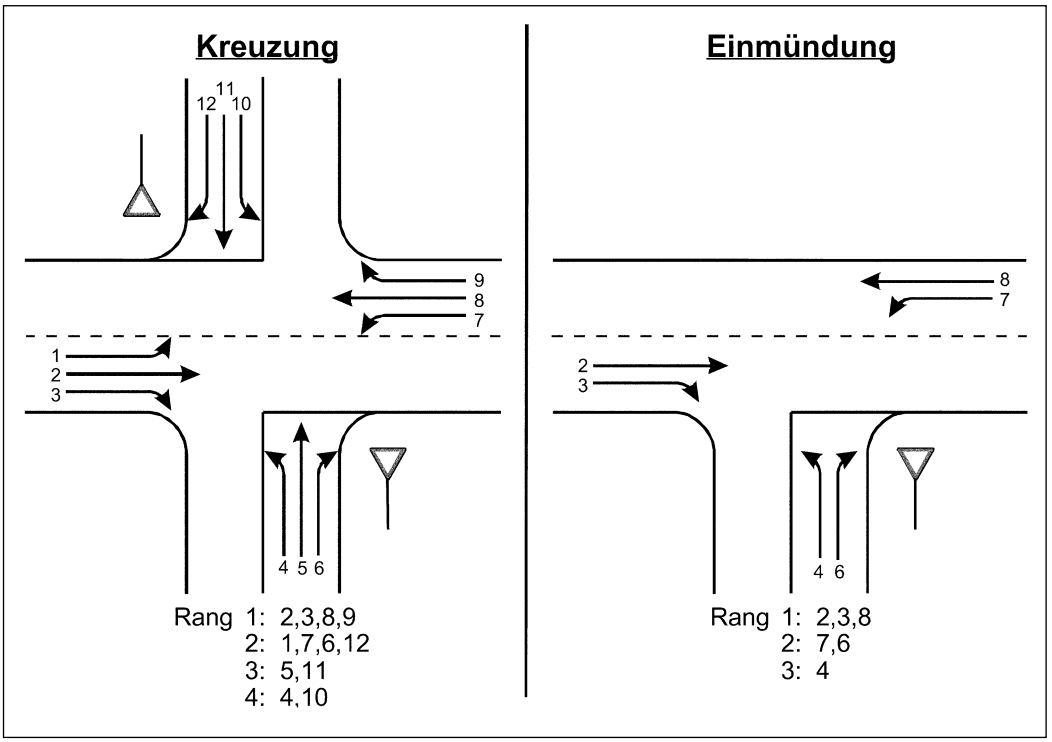


Abb. 7.16 Bezeichnung der Verkehrsströme am Knotenpunkt und ihre Rangfolge. (Eigene Darstellung)

Die unterschiedliche Rangfolge der Ströme erzeugt Schwierigkeiten für die theoretische Durchdringung des Problems. Es ist bisher nicht gelungen, hierfür eine umfassende mathematisch-analytische Lösung herzuleiten. Eine derartige Lösung ist nicht absehbar. Stattdessen sind alle hierfür bisher angegebenen Verfahren pragmatische Annäherungen. Die wesentlichen Beiträge zur Lösung dieses Problems gehen von Harders (1968) und Großmann (1991) aus.

Diese Lösung lässt sich am ehesten am Beispiel des Linkseinbiegers (Strom 4) an einer T-förmigen Einmündung erläutern (vgl. Abbildung 7.16 rechts). Rang 2 hat hier der Strom 7. Seine Kapazität und Verkehrsqualität wird in Abhängigkeit von der Stärke der Ströme 2 und 3 nach den Methoden des Zwei-Ströme-Problems gelöst. Bezeichnet man die Grundkapazität eines Stroms für den Fall, dass sich im Hauptstrom kein Stau ereignet, mit G, so ergibt sich die Grundkapazität G_7 für Strom 7 aus Gleichung 7.21 (mit $q_p = q_2 + q_3$) und die Wahrscheinlichkeit $p_{0,7} = 1 - g_7$ dafür, dass im Strom 7 kein Rückstau auftritt, aus Gleichung 7.22. Die Grundkapazität G_4 für den Linkseinbieger ergibt sich aus Gleichung 7.21 mit $q_p = q_2 + q_7 + q_8$. Dieser Wert muss mit dem Faktor p_{07} abgemindert werden, um die wirkliche Kapazität für den Linkseinbieger im Strom 4 zu errechnen, weil nur dieser Anteil p_{07} von der betrachteten Stunde für Strom 4 zur Verfügung steht. Während des Anteils $(1 - p_{07})$ warten Fahrzeuge des Stroms 7, so dass wegen der Vorfahrtregeln Strom 4 dann blockiert ist.

Für Kreuzungen ebenso wie für besondere Situationen des Knotenpunktes (Mischspuren = 1 Fahrstreifen für mehrere Verkehrsströme, kurze Ein- und Abbiege-Fahrstreifen, breite Mittelinsel in der Hauptstraße) gibt es verschiedene Sonderverfahren der Kapazitätsberechnung, die im HBS (FGSV, 2001a, Kap. 7), ausführlich beschrieben sind. Die Berechnung der Kapazität und der Verkehrsqualität bei abknickender Vorfahrt ist von Brilon und Weinert (2002) behandelt worden.

Fußgänger und Radfahrer auf eigenen Radwegen lassen sich in den konventionellen Rechenverfahren nicht berücksichtigen. Ebenso wird bei dem Verfahren der Grenzzeitlücke unterstellt, dass sich alle Verkehrsteilnehmer streng nach den Verkehrsregeln verhalten. In der Wirklichkeit entstehen jedoch zahlreiche Abweichungen von den Verkehrsregeln (Vorfahrtverzicht und erzwungene Vorfahrt). Diese Verhaltensweisen treten vor allem bei starkem Verkehr auf. Sie erhöhen die Kapazität. Eine Methode, mit der diese Schwierigkeiten überwunden werden können, ist von Brilon und Miltner (2003) entwickelt worden.

7.7.2 Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage

In vielen Fällen wird an einer Kreuzung oder Einmündung eine Lichtsignalanlage zur Steuerung des Verkehrs erforderlich, weil

- nur so ein angemessenes Niveau der Verkehrssicherheit erreicht werden kann
- oder weil ein vorfahrtgeregelter Knotenpunkt eine zu geringe Kapazität aufweist, um die vorhandene oder prognostizierte Verkehrsnachfrage zu bewältigen.

Wegen weiterer Details hierzu wird auf Teil D, Kapitel 3 verwiesen.

Literatur

Ahn, M. (1987): Veränderung der Leistungsfähigkeit städtischer Hauptverkehrsstraßen über die Tageszeit. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 4, Bochum

Baier, M. u. Baier. R. (2003): Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen.

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 108

Boltze, M. u. Stephan, R. (2003): Kapazität nichtsignalisierter Knotenpunkte mit der Regelungsart „rechts vor links“. Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft 872

Brilon, W u. Bäumer, H. (2003): Überprüfung von Kreisverkehren mit zweistreifig markierter oder einstreifig markierter, aber zweistreifig befahrbarer Kreisfahrbahn, Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft 876, 2004

Brilon, W.; Bondzio, L.; Wu, N. (1997b): Neue Forschungsergebnisse zur Kapazität von Kreisverkehrsplätzen. Straßenverkehrstechnik, 48. Jg., Heft 9

Brilon, W. u. Bressler, A. (2001): Verkehrssicherheit von Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 87

Brilon, W.; König, R., Troutbeck, R. (1997a): Useful Estimation Procedures for Critical Gaps. Proceedings of the Third International Symposium on Intersections without Traffic Signals, Portland, Oregon, S. 71-87

Brilon, W.; Miltner, T. (2003): Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen , Heft V 100

Brilon, W. u. Ponzlet, M. (1995): Application of Traffic Flow Models. In: Traffic and Granular Flow. World Scientific Publisher

Brilon, W. u. Regler, M. (2003): Verkehrsablauf und Mobilitätsverhalten unter Dauerhochlast. Forschungsbericht für die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Ruhr-Universität Bochum

Brilon, W. u. Schnabel,W. (2003): Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen. Straßenverkehrstechnik, 47. Jg., Heft 1, S. 21-26

Brilon, W. u. Weinert, A. (2001): Ermittlung aktueller Grenz- und Folgezeitlücken für Außerortsknoten ohne Lichtsignalanlagen. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 828

Brilon, W. u. Weinert, A. (2002): Bemessungsverfahren für Knotenpunkte mit abknickender Vorfahrt. Straßenverkehrstechnik, 46. Jg., Heft 7, S. 346-356

Brilon, W. u. Weiser,F. (1997): Ermittlung von Q-V-Diagrammen für zweistreifige Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 747

Brilon, W. u. Westphal, S. (1994): Bemessung von Einfahrten an planfreien Knotenpunkten. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 671

Brilon, W. u. Zurlinden, H.(2004): Kapazität von Straßen als Zufallsgröße. Straßenverkehrstechnik, 48. Jg., Heft 3

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:
– FGSV (1988): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS-N) – Teil: Netzgestaltung
– FGSV (1991a): Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE)
– FGSV (1991b): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Teil: Knotenpunkte (RAL-K), Abschnitt 2: Planfreie Knotenpunkte (Berichtigter Nachdruck)
– FGSV (1992a): Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA); berichtigter Nachdruck 1998
– FGSV (1992b): Aktuelle Hinweise zur Gestaltung planfreier Knotenpunkte außerhalb bebauter Gebiete (AH-RAL-K-2). Ergänzungen zu den RAL-K-2
– FGSV (1996): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS-Q) – Teil: Querschnitte
– FGSV (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS) – Aktualisierung der RAS-W 86
– FGSV (2000): Begriffsbestimmungen, Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb
– FGSV (2001a): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)
– FGSV (2001b) : Leitfaden für Verkehrsplanungen
– FGSV (2002): Rahmenrichtlinie für die integrierte Netzgestaltung RIN. (Entwurf, nicht veröffentlicht)

Großmann, M. (1991): Methoden zur Berechnung und Beurteilung von Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, Heft 9

Harders, J. (1968): Die Leistungsfähigkeit nicht signalgeregelter städtischer Verkehrsknoten. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 76

HCM (2000): Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, Special Report 209, Washington D.C.

Kimber, R. M. u. Hollis, E. M. (1979): Traffic queues and delays at road junctions. Transport and Road Research Laboratory Report No. LR 909, Crowthorne/UK

Knoflacher, H.; Schopf, J.M.; Smek, E. (1982): Verkehrstechnische Grundsätze für die Bemessung von Verflechtungsstrecken. Schriftenreihe Straßenforschung des Bundesministeriums für Bauten und Technik, Heft 199, Wien

Lafont, S.; Nierhoff, G.; Schmidt, G. (2002): Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2000, Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 99

Lensing, N. (1997): Straßenverkehrszählung 1995, Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 45

Lensing, N. (2003) : Straßenverkehrszählung 2000, Ergebnisse für Bundesfernstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 101

Lensing, N.; Mavridis, G.; Täubner, D. (1993): Typisierung von Dauerlinien stündlicher Verkehrsstärken des Kfz-Verkehrs nach Fahrtzweckgruppen und langfristige Veränderungen. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 657

Leutzbach, W. (1972): Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses. Springer-Verlag

Maurmaier, D. (1980): Verkehrstechnische Beurteilung von Verflechtungsspuren und Verteilerfahrbahnen an Kleeblattknotenpunkten. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 285

Ponzlet, M. (1996): Dynamik der Leistungsfähigkeit von Autobahnen. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 16

Schmidt, G. (1996): Hochrechnungsfaktoren für Kurzzeitzählungen auf Innerortsstraßen. Straßenverkehrstechnik 40. Jg., Heft 11, S. 546-556

Schmidt, G. u. Thomas, B. (1996): Hochrechnungsfaktoren für manuelle und automatische Kurzzeitzählungen im Innerortsbereich. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 732

Schnüll, R.; Hoffmann, S.; Irzik, M. (2000a): Ausfahrten an Richtungsfahrbahnen. Forschungsbericht für die Bundesanstalt für Straßenwesen. Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau. Universität Hannover

Schnüll, R.; Hoffmann, S.; Kölle, M.; Mennicken, C. (2000b): Leistungsfähigkeit von Verflechtungsstrecken an planfreien Knotenpunkten. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 796

Siegloch, W. (1973): Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 154

Van Aerde, M. (1995): A Single Regime Speed-Flow-Density Relationship for Freeways and Arterials. Proceedings of the 74th TRB Annual Meeting, Washington D.C., 1995

Vasarhely, B. (1976): Stochastic Simulation of the Traffic of an Uncontrolled Road Intersection. Transportation Research, Vol. 10

Wu, N. (1994): An Approximation for the Distribution of Queue Lengths at Unsignalized Intersections. Proceedings of the Second International Symposium on Highway Capacity, Sydney, Volume 2

Wu, N. (1997): Verteilung der Rückstaulängen an vorfahrtgeregelten Knotenpunkten. Straßenverkehrstechnik, 41. Jg., Heft 8, S. 392-399

Wu, N. (2000): Verkehr auf Schnellstraßen im Fundamentaldiagramm – Ein neues Modell und seine Anwendungen. Straßenverkehrstechnik, 44. Jg., Heft 8, S. 378-388

Wu, N. (2003): Kapazität und Wartezeit an Knotenpunkten mit der Regelungsart „Rechts-Vor-Links“. Straßenverkehrstechnik 47. Jg., Heft 7 u. 8, S. 380-384 u. 421-425

8 Bewertungs- und Entscheidungshilfen

8.1 Grundlagen der Entscheidungsfindung

8.1.1 Allgemeines

Unter Entscheidung versteht man im allgemeinen Sprachgebrauch „die Festlegung auf eine unter mehreren Möglichkeiten“. Im Rahmen des Verkehrsplanungsprozesses bezieht sich der Begriff „Entscheidung“ auf die Festlegung von Strategien oder Maßnahmen, deren Realisierung betrieben werden soll (FGSV, 1985).

In den folgenden Abschnitten werden die Begriffe „Variante“ und „Alternative“ unterschieden. Unter Varianten sollen unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten für eine einzige Aufgabe (z.B. unterschiedliche Lösungen für eine Ortsumgehung) verstanden werden. Alternativen sollen demgegenüber Lösungen mit unterschiedlichen Aufgaben betreffen (z.B. mehrere Ortsumgehungen in einer Region).

Eine Entscheidung zugunsten einer Variante oder zugunsten einer Alternative basiert auf folgenden Überlegungen:

1. Die aus einem Mit-/Ohne-Fall-Vergleich abgeleiteten, zu erwartenden Wirkungen der Maßnahme dürfen keine Grenzwerte verletzen.
2. Die zu erwartenden Wirkungen der Maßnahme müssen Zielvorstellungen im Hinblick auf einen zukünftigen Soll-Zustand genügen.
3. Es muss die Effizienz der Maßnahme im Sinne der Zielsetzungen aufzeigbar sein.
4. Die Maßnahme muss anderen, alternativen Maßnahmen oder Varianten vorzuziehen sein.

8.1.2 Entscheidungsablauf

Ein erster wesentlicher Schritt innerhalb des maßnahmenbezogenen Entscheidungsablaufs besteht in der Formulierung von Zielvorstellungen, denen das zukünftige Verkehrssystem genügen soll.

Nachdem die Zielvorstellungen definiert sind, geht es um die Abgrenzung des Lösungsraums, der die Menge der Lösungsalternativen oder Lösungsvarianten einschließt.

Für jede der Alternativen oder Varianten sind anschließend aus einem Mit-/Ohne-Fall-Vergleich die Wirkungen im Hinblick auf die Zielsetzungen zu ermitteln.

In den folgenden Schritten werden die Zulässigkeit der Lösung, ihre Wirkungen, ihre Effizienz und ihr Abschneiden im Vergleich mit Alternativen oder mit Varianten ermittelt.

Wenn die zu realisierenden Maßnahmen bestimmt sind, geht es – bei beschränktem Budget – um die Festlegung der günstigsten Reihenfolge der Maßnahmen (siehe Abb. 8.1).

8.1.3 Entscheidungsträger

Entscheidungsträger von Verkehrsinvestitionen ist in der Regel der im Auftrag der politischen Instanzen handelnde öffentliche Baulastträger des Verkehrssystems. Zunehmend werden Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen jedoch auch unter Einbezug privater Entscheidungsträger realisiert. Bei einer Public-Private-Partnership setzt sich der Entscheidungsträger aus einer gemischten Gruppe von Vertretern der öffentlichen Hand und privaten Investoren zusammen. Zukünftig werden zunehmend auch rein privat finanzierte Vorhaben realisiert (z.B. Mautmodelle im Bereich der

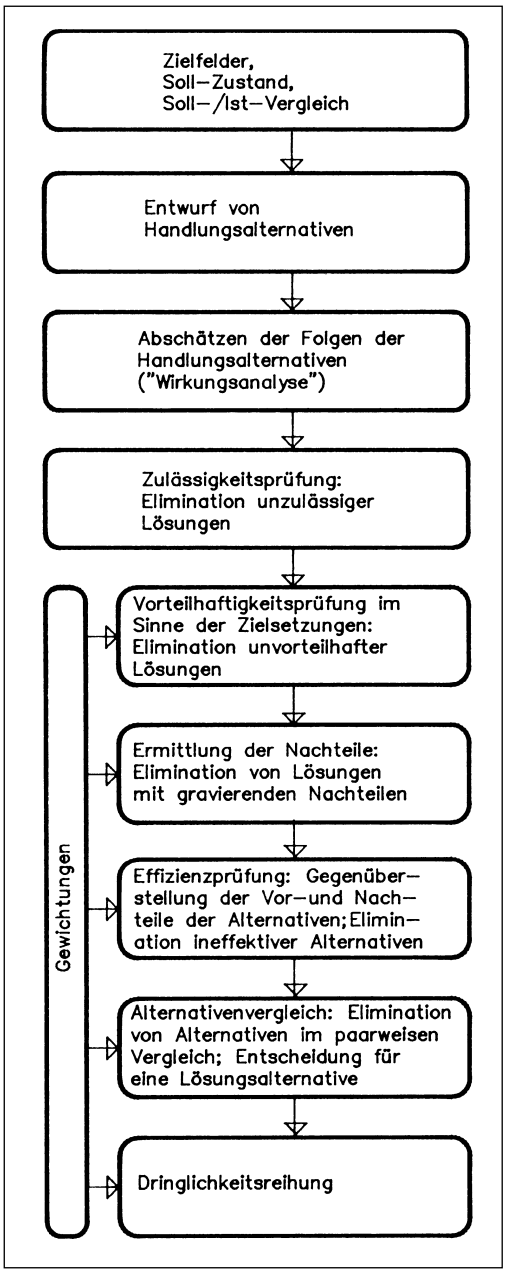


Abb. 8.1 Systematik des Entscheidungsprozesses. (Eigene Darstellung)

Bundesfernstraßen). In diesen Fällen ist der private Entscheidungsträger jedoch in seiner Entscheidung nicht frei, sondern unterliegt den Zielvorstellungen der öffentlichen Hand, die den Entscheidungsablauf wesentlich beeinflusst.

Der öffentliche Entscheidungsträger ist dem Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland und dem dort verankerten Sozialstaatsprinzip verpflichtet, er hat gesamtgesellschaftliche Interessen wahrzunehmen. Seine Beurteilung einer Investition beruht auf dem Abwägen der gesamtgesellschaftlich relevanten positiven Wirkungen gegenüber den gesamtgesellschaftlich negativen Effekten.

Müsste der Entscheidungsträger nach dem „Pareto"-Kriterium handeln, wäre eine Maßnahme nur dann zu befürworten, wenn sie mindestens einem Individuum einen Nutzen, zugleich aber keinem Individuum einen Nachteil zufügen würde (Pareto, 1971). Dies kann von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen nicht erreicht werden, weil jede dieser Maßnahmen positiv und negativ Betroffene aufweist.

Nach dem „Kaldor-Hicks-Kriterium" wäre eine Maßnahme nur dann realisierungswürdig, wenn die Nutznießer der Maßnahme die Benachteiligten der Maßnahme für deren Nachteile entschädigen und trotzdem noch einen Vorteil haben (Kompensationsprinzip nach Kaldor, 1939; Hicks, 1939).

Bei Verkehrsinfrastrukturvorhaben der öffentlichen Hand ist ein solcher Ausgleich von Vor- und Nachteilen auf der individuellen Ebene zwar wünschenswert, aber in der Regel nicht durchführbar; individuelle Nachteile müssen bei Maßnahmen von gesamtgesellschaftlicher Bedeutung hingenommen werden. Diese gesamtgesellschaftliche Bedeutung drückt sich in einem Überwiegen von Vorteilen gegenüber den Nachteilen einer Maßnahme aus.

Die gesetzliche Grundlage hierfür liefern auf der Ebene des Bundes das Haushaltsgrundsätzegesetz (HHGG) und die Bundeshaushaltsordnung (BHO), die entsprechende Nachweise für Maßnahmen von erheblicher finanzieller Bedeutung verlangen. Dabei kommen

standardisierte Verfahren der Wirkungsanalyse und Bewertung zur Anwendung:

Für investive Maßnahmen im Bereich des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV), für die eine Bundesförderung beabsichtigt ist, sind Untersuchungen nach der „Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des ÖPNV und Folgekostenrechnung, Version 2000“ durchzuführen (BMVBW, 2000).

Für investive Maßnahmen im Bereich der Straßeninfrastruktur stehen ebenfalls standardisierte Verfahren der Wirkungsanalyse und Bewertung zur Verfügung (FGSV, 1997; BMVBW, 2002; FGSV, 2001). Diese Verfahren finden auch Anwendung im Bereich der kommunalen Verkehrsinfrastruktur, insoweit Maßnahmen nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) finanziert werden sollen. Die Finanzierung teilt sich dann auf in Bundes-, Landes- und kommunale Anteile. Aus Sicht der Kommune ist dabei der eigene Finanzierungsanteil ein herausragender Indikator, der die kommunale Präferenz in besonderem Maße beeinflusst.

Der private Entscheidungsträger hingegen ist in erster Linie an einer ökonomisch effizienten Investition interessiert. Er wird sich für eine Maßnahme entscheiden, die den höchsten Ertrag des eingesetzten Kapitals verspricht. Für die hinreichende Berücksichtigung gesamtgesellschaftlicher Ziele sorgt in diesem Fall der Entscheidungsträger der öffentlichen Hand.

8.1.4 Wirkungsträger

Wirkungsträger sind die von der Maßnahme betroffenen Personen, Betriebe und Gebietskörperschaften, aber auch die natürliche Umwelt mit Flora, Fauna und den verschiedenen weiteren Schutzgütern. Dieser Wirkungsträgerkreis ist für die Wirkungsbereiche räumlich und inhaltlich einzeln zu definieren. Er ist häufig nicht eindeutig abgrenzbar. So ist z.B. von der Finanzierung einer Maßnahme die Gesellschaft insgesamt betroffen, während bei Lärmbe- oder -entlastungen in der Regel nur ein örtlich eng begrenzter Bereich tangiert wird. Die Vielfalt der Wirkungen und Wirkungsträger von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen erschwert den Entscheidungsprozess. Sie ist eine der wesentlichen Ursachen für den oft langen Planungs- und Entscheidungsprozess.

8.1.5 Zielkatalog

Ein allgemeiner Zielkatalog zur Bewertung von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen umfasst alle gesamtgesellschaftlich relevanten Zielbereiche und bildet die Grundlage für die Entwicklung angestrebter Zustände des Verkehrssystems. Es wird zwischen direkten Zielbereichen (Zielbereiche, für die die Maßnahme konzipiert wurde) und indirekten Zielbereichen (Zielbereiche, in denen Maßnahmenwirkungen als Nebeneffekte auftreten) unterschieden. Allgemeine Zielsetzungen für eine Prüfung von Maßnahmen sind (siehe Abb. 8.2)

- die Verbesserung der Erreichbarkeit,
- die Erhöhung der Verkehrssicherheit,
- die Erhöhung der Wirtschaftskraft und
- die Verringerung der Umweltbelastungen.

Die Ziele sind durch geeignete Indikatoren und Messvorschriften zu konkretisieren, so dass die Auswirkungen von Maßnahmen qualitativ oder quantitativ abgeschätzt werden können.

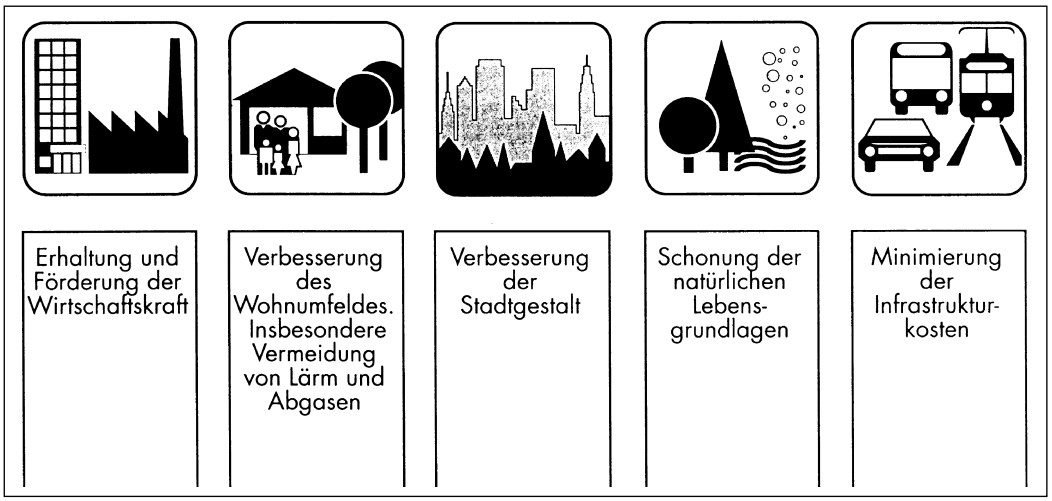


Abb. 8.2 Allgemeiner Zielkatalog für Maßnahmen der Stadtverkehrsplanung. (Schaechterle et al., 1982)

8.1.6 Lösungsraum

Für die Absicherung einer gesamtgesellschaftlich relevanten Wertung einer Maßnahme ist die Erarbeitung von Varianten oder Alternativen bzw. alternativen Maßnahmenbündeln erforderlich. Dabei geht es zunehmend um die Integration unterschiedlicher Maßnahmentypen wie bauliche, betriebliche, ordnungspolitische, preispolitische oder tarifliche Maßnahmen. Der Lösungsraum enthält alle sinnvollen Maßnahmen und Kombinationen von Maßnahmen, die in Planfällen zusammengefasst werden.

Als sinnvoll sind dabei auch solche Maßnahmen oder Maßnahmenbündel anzusehen, die aus Expertensicht zu verwerfen sind, die jedoch in der öffentlichen Diskussion stehen und deshalb in den Abwägungsprozess einbezogen werden müssen.

8.1.7 Wirkungsraum

Unter Wirkung wird die (quantitative oder qualitative) Differenz zwischen dem Zustand „mit Maßnahme“ und dem Zustand „ohne Maßnahme“ verstanden. Dabei werden in der Regel zukünftige Zustände (Zustand zu einem definierten „Zielhorizont“) verglichen.

Die Grundlage der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen bildet der Zielkatalog.

Oft werden in Planfällen umfangreiche Maßnahmenbündel vorgesehen. Dabei sind mögliche Interdependenzen zwischen den Wirkungen einzelner Maßnahmen zu prüfen.

Man spricht von *komplementären* Interdependenzen, wenn die betrachtete Maßnahme im Zusammenwirken mit anderen Maßnahmen höhere Wirkungen erzielt, als wenn sie allein realisiert würde. Unter einer *substitutiven* Maßnahme versteht man Maßnahmen, die im Zusammenwirken mit anderen Maßnahmen geringere Wirkungen erzielen, als wenn sie allein realisiert werden. Schließlich gibt es Maßnahmen, deren Wirkungen von anderen Maßnahmen *unabhängig* sind. Die Art der Wirkungsabhängigkeit (komplementär, substitutiv

oder unabhängig) lässt sich abschätzen, in dem vier Zustände verglichen werden:
(1) Ausgangszustand ohne Maßnahme
(2) Ausgangszustand zuzüglich der betrachteten Maßnahme
(3) Realisierung aller Maßnahmen
(4) Realisierung aller Maßnahmen mit Ausnahme der betrachteten Maßnahme.

Aus dem Vergleich (2) mit (1) wird die Einzelwirkung W_e der Maßnahme ermittelt. Sie wird dem Vergleich W_a (3) gegen (4) gegenübergestellt. Wenn $W_e = W_a$, dann kann die Maßnahme als unabhängig betrachtet werden; wenn $W_e > W_a$, liegt eine überwiegend substitutive Interdependenz vor und wenn $W_e < W_a$, dann handelt es sich um eine überwiegend komplementäre Interdependenz. Bei umfangreichen Maßnahmenbündeln überlagern sich diese Interdependenzen, so dass diese Abschätzung zunehmend an Aussagekraft verliert.

Komplementär abhängige Maßnahmen sollten als Maßnahmenbündel untersucht werden; substitutiv wirkende Maßnahmen sollten hingegen einzeln, im Sinne von Varianten, untersucht werden (Boerner et al., 1987).

Dem Lösungsraum kann somit ein Wirkungsraum gegenübergestellt werden, der die Menge der möglichen Veränderungen gegenüber dem Vergleichszustand umfasst.

8.1.8 Zur Unsicherheit von Wirkungsschätzungen

Wirkungen werden im Rahmen einer Verkehrsplanung ex-ante abgeschätzt. Aufgrund der Unsicherheiten einer jeden Prognose stellt sich die Frage, wie diese Unsicherheit im Rahmen der Entscheidung berücksichtigt werden kann.

Die betriebswirtschaftliche Literatur (siehe z.B. Rommelfanger u. Eickemeier, 2002) definiert in diesem Zusammenhang Entscheidungen in einer

- Sicherheitssituation (das Eintreffen einer bestimmten Wirkungsausprägung ist sicher).
- Risikosituation (man kann eine Wahrscheinlichkeit für das Unter- oder Überschreiten einer bestimmten Wirkungsausprägung angeben).
- Ungewissheitssituation (man kennt nicht die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ausprägungen (Werte) einer bestimmten Wirkung, kann aber grundsätzlich mögliche Ausprägungen für ein Merkmal angeben).

Typisch für Verkehrsinfrastrukturentscheidungen ist, dass sie in einer Risiko- oder Ungewissheitssituation getroffen werden müssen. Die Risikoermittlung hat jedoch erst mit dem Einstieg privater Investoren in die Realisierung von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen an Bedeutung gewonnen. Das Risiko tritt hier als Herstellungsrisiko, als Betriebsrisiko, als Einnahmenrisiko und als Finanzierungsrisiko auf.

Voraussetzung für die Ermittlung der Risiken sind Annahmen zu den Wahrscheinlichkeitsdichten der Einflussgrößen. In den meisten Fällen wird es schwierig bzw. unmöglich sein, Wahrscheinlichkeitsdichten belastbar zu definieren. Ersatzweise können jedoch oft Grenzen für eine untere und eine obere Entwicklung, ein Erwartungswert oder ein grober Verlauf einer Wahrscheinlichkeitsdichte angegeben werden (siehe Abb. 8.3).

Die Auswirkungen der unterschiedlichen möglichen Ausprägungen von Einflussgrößen auf das Wirkungsergebnis können mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation ermittelt werden (Steierwald, 1961). Die Wirkungen von Maßnahmen unterliegen damit ebenfalls einer Wahrscheinlichkeitsverteilung, ebenso wie weitere abgeleitete Größen wie die sachgerechte Dimension der Verkehrsbauwerke und die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Investition.

Bei Entscheidungen der öffentlichen Hand ist es naheliegend, den Erwartungswert oder

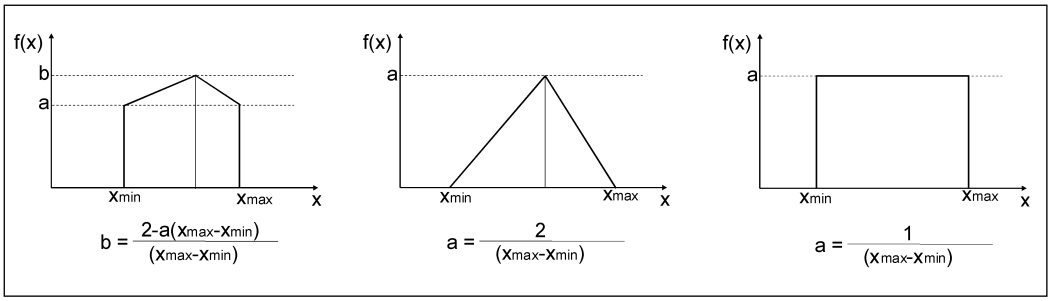


Abb. 8.3 Beispiele für Wahrscheinlichkeitsdichten von Einflussgrößen. (Eigene Darstellung)

den wahrscheinlichsten Wert einer Wirkung der Entscheidung zugrunde zu legen. Bei Entscheidungen eines privaten Investors sehen die Dinge anders aus: Die kaufmännische Sorgfaltspflicht erfordert hier, dass die notwendige Rendite mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erzielen sein wird. Dies erfordert bei Wirtschaftlichkeitsindikatoren die Wahl von Perzentilen, die mit einer nur geringen Wahrscheinlichkeit unterschritten werden (siehe Abb. 8.4).

8.1.9 Zulässigkeitsprüfung

Maßnahmen sind in einem ersten Schritt, noch vor der eigentlichen Bewertung, auf ihre Zulässigkeit zu prüfen. Zulässig ist eine Variante dann, wenn sie nicht gegen vorgegebene Grenzwerte oder Gesetze verstößt.

Grenzwerte sind für verschiedene Wirkungsbereiche definiert, z.B. für die „Funktionsfähigkeit der Verkehrsanlage“, für die „Immissionsbelastungen im Hinblick auf Lärm und Schadstoffe“ oder für den Bereich „Artenschutz“, sofern es um den Erhalt besonders seltener, schützenswerter Arten geht. Auch die Kosten können im Einzelfall als Grenzgröße definiert sein, wenn das zur Verfügung stehende Budget begrenzt ist.

In Wirkungsbereichen, für die keine Grenzwerte definiert sind, können Ansprüche auch aus einer statistischen Betrachtung des Ist-Zustandes abgeleitet werden (siehe Abb. 8.5).

Vereinbarte Grenzwerte, die der Entscheidung zugrunde gelegt werden sollen, bilden das Anspruchsprofil, das dem Wirkungsprofil gegenübergestellt wird. Aus dieser Gegenüberstellung wird als Differenz das Qualitätsprofil ermittelt, das jene Wirkungsbereiche aufzeigt, in dem definierte Ansprüche nicht erfüllt, bzw. in denen sie übererfüllt werden (Ruske, 1991).

Normen unterliegen einem Wandel, so dass sie im Rahmen eines Entscheidungsprozesses, in dem die Auswirkungen von Normfestsetzungen oft erstmals erkennbar werden, nicht ausschließlich als unumstößliche Vorgaben betrachtet werden sollten (Steierwald u. Treuner, 1976). Unter anderem ist zu prüfen, ob durch ergänzende, flankierende Maßnahmen oder durch Modifikation der Maßnahme die Einhaltung der Normvorgaben erreicht werden kann. Verstöße gegen normative Vorgaben dürfen daher nicht zwangsläufig zum Ausscheiden einer Maßnahme aus dem weiteren Entscheidungsprozess führen.

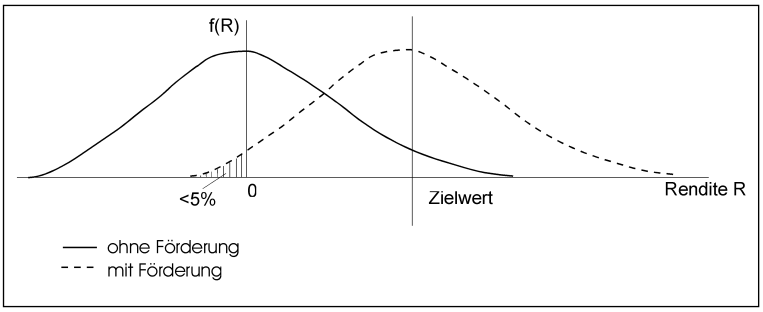


Abb. 8.4 Unsicherheit und notwendige Förderung der öffentlichen Hand bei Entscheidungen privater Investoren. (Eigene Darstellung)

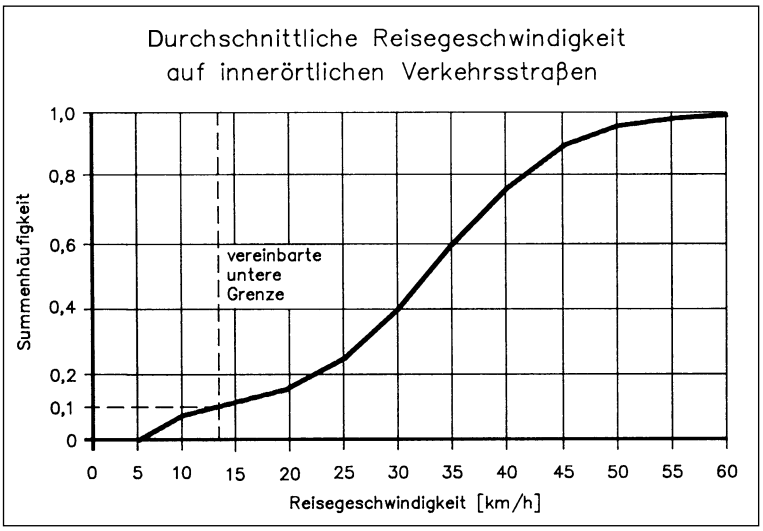


Abb. 8.5 Beispiel für die Ableitung von Ansprüchen aus einer statistischen Betrachtung des Ist-Zustandes. (Steierwald u. Schönharting, 1986)

8.2 Methoden der Gewichtung von Wirkungen

8.2.1 Allgemeines

Die genannten Rahmenbedingungen
- umfassender Zielkatalog,
- umfassende Erarbeitung von Alternativen oder Varianten und
- umfassende Wirkungsberechnungen

sind eine notwendige, jedoch noch nicht hinreichende Bedingung für eine qualifizierte Entscheidung. Vielmehr sind die unterschiedlichen Maßnahmenfolgen (Kosten, direkte und indirekte Wirkungen) entsprechend der Wertvorstellungen des Entscheidungsträgers zu gewichten und damit hinsichtlich ihres „Wertes“ vergleichbar zu machen. Dieser Schritt innerhalb des Entscheidungsprozesses wird mit „Wertsynthese“ bezeichnet.

Die Gewichtung einer Wirkung hat wesentliche Auswirkungen auf die Entscheidung. Sie entspricht der im Zuge des gesellschaftlichen Entwicklungsprozesses gebildeten individuellen, gruppenspezifischen oder gesamtgesellschaftlichen Vorstellung über das Wünschenswerte und unterliegt den Wandlungen der Werthaltungen im Zuge der gesellschaftlichen Entwicklung.

Im Sinne der Wertfreiheitstheorie kann die

objektiv ermittelte Wirkung und die subjektive Bewertung der Wirkung unterschieden werden (Weber u. Topitsch, 1952). Allerdings ist die Wertfreiheitsthese nicht unumstritten (Albert, 1971): Untersuchungsobjekte und Untersuchungsmethoden seien bereits wertgeprägt, eine Trennung zwischen wissenschaftlicher, wertfreier Aussage „was ist“ bzw. „was sein wird“ und subjektiver, wertgebundener Aussage „was sein soll“ sei mithin nicht möglich.

Von der im Werturteilsstreit enthaltenen Problemstellung der Separierbarkeit von (objektiver) Wirkung und (subjektiver) Wertung ist grundsätzlich auch der Entscheidungsprozess im Rahmen von Verkehrsinvestitionen eines öffentlichen Entscheidungsträgers nicht frei. Dieser Problematik sollte sich der Entscheidungsträger bewusst sein, wenn er als Repräsentant, stellvertretend für die Allgemeinheit, zu entscheiden hat.

8.2.2 Monetisierbare Wirkungen

Ein Teil der Wirkungen von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen lässt sich unmittelbar (über Marktpreise) oder mittelbar (über Schattenpreise) in monetären Einheiten ausdrücken. Derartige Wirkungen können in einem einzigen Schritt zu einer monetären Gesamtbewertungsgröße zusammengeführt werden.

Direkt in monetären Einheiten fallen die Kosten einer Maßnahme an. Sie setzen sich aus den Investitionskosten und aus den Betriebskosten, die dem Betreiber des Verkehrssystems im Laufe der Zeit erwachsen, zusammen. Direkt in monetären Einheiten werden auch die Kosten ermittelt, die dem Nutzer eines Verkehrssystems entstehen. Eine weiter gehende Bewertung ist hier nicht erforderlich.

Für andere Wirkungen ist eine Monetisierung auf der Grundlage von Marktpreisen möglich. So ist die maßnahmenbedingte Änderung des Zeitaufwands des Nutzers eines Verkehrssystems, die zunächst als Personenstunden pro Jahr berechnet wird, monetisierbar. Mittelbar monetär bewertbar sind ferner maßnahmenbedingte Änderungen bei den Unfallfolgen. Einsichtig ist dies bei Sachschäden. Bei Personenschäden wird – neben den Heilungskosten – die der Volkswirtschaft entgehende Wertschöpfung als Maßstab gewählt (FGSV, 1997). Die eingeschränkte Aussagekraft einer ökonomischen Bewertung wird in diesem Beispiel unmittelbar erkennbar.

Für die monetäre Bewertung ökologischer Wirkungen sind Ansätze möglich, die ebenfalls auf der Ermittlung von Folgekosten beruhen. So werden beispielsweise in den „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Straßen“ EWS (FGSV, 1997) die Schäden, die durch Schadstoffimmissionen entstehen, als Grundlage für die monetäre Bewertung von Wirkungen in diesem Bereich herangezogen.

Ein weiteres Verfahren der ökonomischen Bewertung stellt der Vermeidungskostenansatz dar. Bei diesem Ansatz wird der Aufwand ermittelt, der für eine (technische) Kompensation der Maßnahmenwirkung aufzubringen wäre. So können z.B. positive Lärmwirkungen (verringerte Lärmbelastungen) mit den vermiedenen Kosten für den Einbau von Schallschutzfenstern bewertet werden. Als Alternativen kommen Maßnahmen an der Quelle (Motorkapselung, Einbau lärmarmer Fahrbahndecken) mit ihren jeweiligen Kosten in Betracht. Das Hauptproblem des Vermeidungskostenansatzes besteht somit in der Definition einer der zu bewertenden Wirkung adäquaten Vermeidungsmaßnahme (Glück u. Krasser, 1979).

Wirkungen, die weder direkt noch indirekt (über Folgekosten) noch über die Ermittlung von Vermeidungsmaßnahmen monetär bewertbar sind, entziehen sich einer ökonomischen Bewertung im engeren Sinne. Zwar haben die Wirtschaftswissenschaften mit der willingness-to-pay-Methode ein Verfahren zur Ermittlung von „Schattenpreisen“ entwickelt,

die Anwendung eines solchen Verfahrens ist jedoch für Problemstellungen der vorliegenden Art nur in Einzelfällen zielführend (Weinberger, 1991). Bei der willingness-to-pay-Methode gilt die individuelle, über Befragungen ermittelte Zahlungsbereitschaft als ökonomischer Maßstab. Es ist einleuchtend, dass eine Befragung nach der (fiktiven) Zahlungsbereitschaft sowohl an der Art des Objekts als öffentlichem Gut scheitern muss (hier stellt sich die Frage nach dem Personenkreis, der sich an einer Vergütung einer Wirkung beteiligen müsste) als auch an der Wirkung selbst, zu der die meisten der Befragten aus der Natur der Sache heraus keinen Bezug haben (z.B. „Wert" einer zu erwartenden Beeinträchtigung eines Biotops).

Mit diesen Ausführungen zeigen sich die Grenzen der Aussagekraft einer ausschließlich an ökonomischen Maßstäben orientierten Bewertung von Maßnahmenfolgen, was allerdings den Wert einer ökonomischen Teilaussage im Rahmen des Entscheidungsprozesses nicht schmälern soll. Verkehrsinvestitionen der öffentlichen Hand werden über das Steueraufkommen finanziert. Ökonomischen Maßstäben kommt daher bei der Rechtfertigung der Mittelverwendung ein besonderer Stellenwert zu (Willeke, 1991).

8.2.3 Einstufige Gewichtung von Wirkungen

Unter einstufiger Gewichtung von Wirkungen versteht man die Umrechnung der originären Wirkungsquanten in Punkte.

Ausgangspunkt dieser Transformation ist die monetäre Bewertung. Nach Festlegung einer Relation „Punkt/Geldeinheit" (z.B. 1 Punkt je 100 T€) können die in monetären Einheiten vorliegenden Wirkungen sowie die monetisierten Wirkungen unmittelbar in Punkte umgerechnet werden.

Die nicht unmittelbar monetär bewertbaren Wirkungen werden ebenfalls in Punkte umgerechnet, wobei ein quasi-monetärer Bewertungsmaßstab gefunden werden muss. Für diese quasi-monetäre Bewertung können Hilfskonstruktionen unterschiedlicher Art verwendet werden, z.B. Vermeidungskostenansätze oder Folgekostenabschätzungen.

Ziel dieser Bewertung ist die Entwicklung von „monetärnahen" Maßstäben für nicht monetisierbare Wirkungen. Ziel kann aber auch sein, die Begründung anderer Maßstäbe aus einem Vergleich mit monetären Maßstäben abzuleiten.

Bei der Transformation in Punkte wird bewusst auf eine Normierung verzichtet. Die Anzahl der von einer Maßnahme erreichten Punkte ist somit dem Sinn nach ein Äquivalent für den monetären Nutzen, den diese Maßnahme im weitesten Sinne stiften wird.

8.2.4 Zweistufige Gewichtung von Wirkungen

Während die einstufige Bewertung des vorangegangenen Abschnitts als Erweiterung der monetären Bewertung aufgefasst werden kann, stellt die zweistufige Bewertung einen noch allgemeineren, wenn auch zugleich bedeutend problematischeren Ansatz zur Bewertung von Wirkungen dar.

Bei diesem Bewertungsverfahren werden die Wirkungen in einem ersten Schritt durch Transformation in eine einheitliche (vergleichbare) Skala überführt. Bei dieser Transformation können

- die Bandbreite bzw. Verteilung der Wirkungen aller Alternativen je Wirkungsbereich („statistische Transformationsverfahren"),
- die Entfernung der Merkmalsausprägungen von akzeptierten Grenzwerten,
- die zeitlichen, räumlichen und sozialen Bezüge der Wirkungen sowie

– die Sicherheit der (prognostizierten) Wirkungsaussagen

zu einer (expliziten oder impliziten) Umrechnungsvorschrift verwendet werden, mit der aus der Wirkung, die in diesem Zusammenhang mit „Zielertrag“ e bezeichnet wird, der (noch ungewichtete) Zielerreichungsgrad z (Punktezahl zwischen 0 und 10 oder 0 und 100) errechnet wird. Möglich ist auch eine Bewertung von Zielerträgen entsprechend der Schulnotenklassifizierung, z.B. von 1 bis 6.

Bei der Transformation ist zu berücksichtigen, ob die originäre Wirkung als kardinale (quantifiziert), als ordinale (Rangfolge, z.B. sehr gut, gut, schlecht) oder als nominale Größe (keine direkte Rangfolge möglich) erfasst wurde. Da die Wertsyntheseregeln (Zusammenführung der bewerteten Zielerreichungsgrade) eine kardinale Skala erfordern, ist auch für ordinal und nominal vorliegende Wirkungsaussagen eine Transformation in eine kardinale Punkteskala notwendig. Zu beachten ist ferner, dass auch monetäre Wirkungen zu transformieren und zu gewichten sind, und eine mögliche unterschiedliche Behandlung von in monetären Einheiten erfassten Wirkungen bei der Umrechnung begründet werden muss.

Es gilt für die in Abbildung 8.6 dargestellte Transformationsvorschrift:

$$z = 0 \quad \text{für } x < x_{min} \tag{8.1}$$

$$z = \frac{(x-x_{min})}{(x_{max}-x_{min})} \cdot 100$$

$$\text{für } x_{min} \le x \le x_{max} \tag{8.2}$$

$$z = 100 \quad \text{für } x > x_{max} \tag{8.3}$$

bzw.

$$z = 100 \quad \text{für } x < x_{min} \tag{8.4}$$

$$z = \frac{(x_{max}-x)}{(x_{max}-x_{min})} \cdot 100$$

$$\text{für } x_{min} < x < x_{max} \tag{8.5}$$

$$z = 0 \quad \text{für } x > x_{max} \tag{8.6}$$

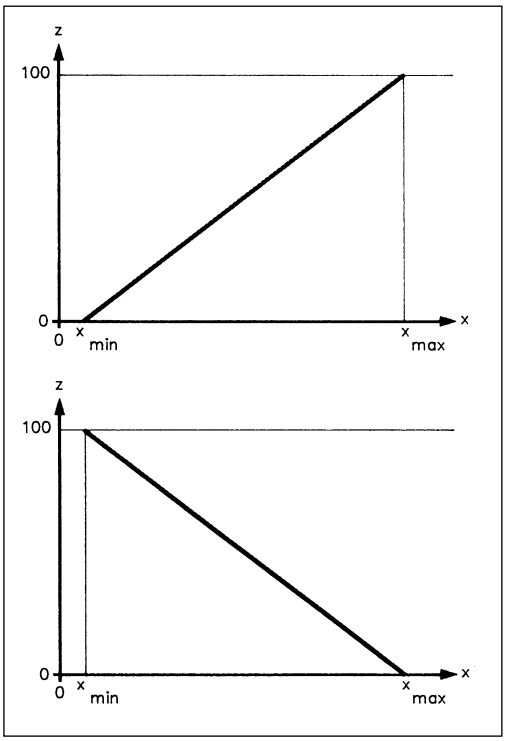


Abb. 8.6 Beispiele für abschnittsweise lineare Funktionen zur Transformation von Zielerträgen e in Zielerreichungsgrade z. (Dorfwirth et al., 1982)

Bei diesen Transformationsfunktionen müssen die Werte x_{min} und x_{max} begründet (z.B. über Grenzwertbetrachtungen) bestimmt werden.

Neben den abgebildeten, in der Literatur mit „Nutzwertfunktionen“ bezeichneten, abschnittsweise linearen Transformationsfunktionen können auch andere, nicht lineare Transformationsvorschriften entwickelt werden, sofern sie inhaltlich oder im Sinne von Wertmaßstäben begründbar sind.

Der Zielerreichungsgrad muss in einer weiteren Stufe gewichtet werden, wobei sich in diesem Gewicht die Bedeutung des Ziel- bzw. Wirkungsbereiches ausdrückt.

Dabei gilt:

$$0 \le g_i \le 1 \quad \text{für alle } i = 1,..., n \tag{8.7}$$

$$\Sigma g_i = 1 \tag{8.8}$$

mit g_i ... Gewicht für den Wirkungsbereich i
n ... Anzahl Wirkungsbereiche

Wird die Gewichtung auf mehreren Ebenen vollzogen, so leiten sich die Gewichte der Wirkungsbereiche auf jeder Ebene aus den Gewichten auf dieser Ebene und aus den Gewichten der darüberliegenden Ebene ab (siehe Abb. 8.7):

Hier gilt für jede Ebene j

Knotengewicht gk:

$$0 \leq gk_{i,j} \leq 1 \quad \text{für alle } i = 1,..., n \qquad (8.9)$$

$$\Sigma\, gk_{i,j} = 1 \qquad (8.10)$$

Stufengewicht gs:

$$gs_{i,j} = gs_{i,j-1} \cdot gk_{i,j} \quad \text{für } j > 1 \qquad (8.11)$$

Die beiden Stufen (1) Normierung (Transformation) der Wirkungen (Zielerträge) in Zielerreichungsgrade und (2) Gewichtung der Zielerreichungsgrade stellen die eigentliche Bewertung dar.

Sind die Transformationsvorschriften festgelegt, so können, unter Benutzung der Maßstäbe für monetär bewertete Wirkungen, alle zunächst nicht monetär bewertbaren Wirkungen in monetäre Einheiten umgerechnet werden. Dieser Umstand kann im Sinne einer Erhöhung der Transparenz genutzt werden, indem die Transformation und Gewichtung anhand der rückgerechneten monetären Einheiten überprüft wird.

8.2.5 Methoden der Gewichtsfindung

Aufgrund der erläuterten Problematik der Legitimation bei der Vertretung eines Entscheidungsträgers, wie es bei öffentlichen Verkehrsinvestitionen allgemein der Fall ist, muss der Vorgehensweise bei der Gewichtung besonderes Augenmerk geschenkt werden. Bei öffent-

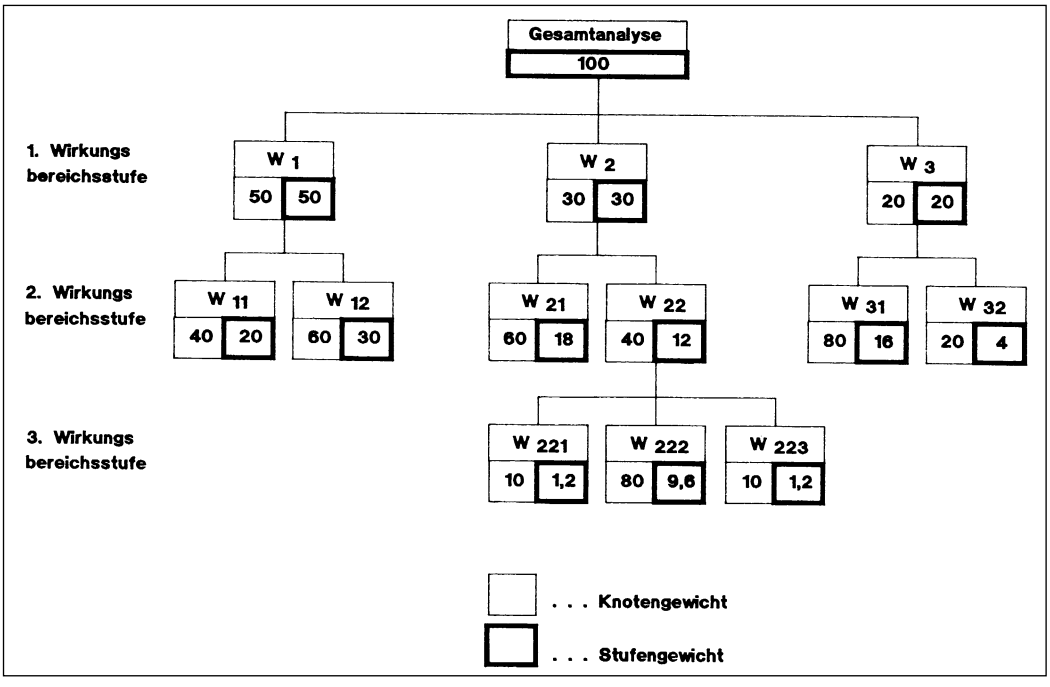


Abb. 8.7 Beispiel für eine Gewichtung von Wirkungen auf mehreren Ebenen (Gewicht in Prozent). (Dorfwirth et al., 1982)

lichen Verkehrsinvestitionen ist die Gesellschaft insgesamt Entscheidungsträger. Die Zielgewichte haben hier die gesamtgesellschaftliche Präferenzstruktur abzubilden.

Für die Ermittlung der Gewichte scheiden isolierte, von der Wirkungsstruktur unabhängige Befragungen bei den am Entscheidungsprozess Beteiligten aus, da eine Gewichtung der einzelnen Wirkungsbereiche ohne Kenntnis der Wirkungen nicht möglich ist.

Bei umfangreichen Ziel-/Wirkungssystemen kommt das Problem der Unübersichtlichkeit hinzu. Voraussetzung für eine Gewichtsvergabe ist hier die Aggregation der Einzelwirkungen zu einer überschaubaren Anzahl von Hauptwirkungsbereichen. Diese Aggregationsaufgabe wird in der Regel Fachgutachtern überlassen. Damit ist zwar ein Teil der Gewichtung bereits antizipiert, die Gewichtungskriterien sind hier aber noch weitgehend fachlich begründbar, und es hieße den Entscheidungsträger überfordern, müsste er für alle Einzelwirkungen Gewichte vergeben. Die Gewichtung der Hauptwirkungsbereiche muss andererseits in voller Kenntnis der Wirkungscharakteristik und der Wirkungsstruktur vorgenommen werden.

Bei komplexen Entscheidungen sollte der Gewichtungsprozess formalisiert, d.h. fachkundig organisiert, moderiert und begleitet werden. Eine derartige formalisierte Gruppenbefragung stellt die Delphi-Methode dar. Sie verläuft iterativ und bezieht die Gruppendiskussion in den Gewichtungsprozess mit ein. In einer ersten Runde werden hier die individuellen Erst-Gewichte für jeden Teilwirkungsbereich erfragt. Nachdem das Ergebnis der Erstgewichtung der Gruppe bekannt gegeben wurde und über die unterschiedlichen Aspekte der Gewichtung diskutiert werden konnte, wird erneut, nunmehr aber in Kenntnis der Gewichtungen der anderen Gruppenmitglieder, individuell gewichtet. Dieses Vorgehen lässt sich so lange wiederholen, bis die individuellen Gewichte eine gewisse Stabilität erreicht haben (Helmer, 1968).

Gruppenbefragungen sind nicht problemlos, da eine Gruppenzusammensetzung gesamtgesellschaftliche Repräsentanz aufweisen sollte, was aber in der Praxis kaum erreichbar ist. Das Verfahren ist ferner auf Konsensbildung ausgelegt; im Falle divergierender Interessen determiniert die jeweils stärkere Interessengruppe die Gewichtung.

8.3 Optimierende Bewertungs- und Entscheidungsverfahren

Charakteristisch für optimierende Bewertungs- und Entscheidungsverfahren ist, dass sie – im Gegensatz zu den folgenden Verfahren – bereits in der Stufe der Maßnahmenfindung ansetzen.

Ein Beispiel hierfür stellt die Optimierung von Liniennetzen im Öffentlichen Personenverkehr dar. Wenn das Streckennetz bekannt ist, kann ein nach vorgegebenen Kriterien „optimales“ Liniennetz ermittelt werden. Auf der Kostenseite stehen die Investitionen für den Fahrweg, für die sonstige Infrastruktur und für die Fahrzeuge sowie die laufenden Kosten für den Betrieb. Auf der Einnahmenseite stehen die Fahrgeldeinnahmen und die erforderlichen Zuschüsse. Wechselwirkungen bestehen zwischen dem Angebot des Verkehrsunternehmens, dem Fahrgastaufkommen bzw. der Zahlungsbereitschaft der Fahrgäste. Ein mögliches Ziel wäre, die Lösung zu suchen, bei der ein vorgegebenes Fahrgastaufkommen mit hinreichender Qualität bedient wird und zugleich der geringste Zuschussbedarf entsteht. Eine alternative Zielsetzung könnte auf die Maximierung der Fahrgeldeinnahmen unter der Neben-

bedingung einer festgelegten Obergrenze für den Zuschussbedarf abheben. So könnten noch weitere Varianten einer Zielfunktion entwickelt werden.

Das Beispiel zeigt, dass sich optimierende Bewertungs- und Entscheidungsverfahren für einen begrenzten Zielkatalog und für räumlich eng begrenzte Fragestellungen innerhalb einer Variantenuntersuchung eignen. Mit dem Finden der optimalen Lösung erübrigt sich eine weiter gehende Bewertung allerdings nicht, vielmehr sind ergänzende Gesichtspunkte zu berücksichtigen, die in die Zielfunktion nicht unmittelbar aufgenommen werden konnten. Das bedeutet, dass die optimierenden Bewertungs- und Entscheidungsverfahren neben der besten Lösung auch die n besten weiteren Lösungen im Sinne einer Rangfolge vorhalten müssen.

Zur Lösung der Optimierungsaufgabe unterscheidet man enumerative und stochastische Simulationsverfahren, Verfahren der heuristischen Programmierung und mathematische Optimierungsverfahren (FGSV, 1986).

Bei *enumerativen Simulationsverfahren* werden alle zulässigen Lösungen im Hinblick auf ihre Wirkungen untersucht. Bei *stochastischen Simulationsverfahren* zur Ermittlung zulässiger Lösungsmengen und zur Selektion günstiger Lösungen wird die Realität als System von Zufallsprozessen dargestellt („Monte-Carlo-Methode“ (Steierwald, 1961)).

Merkmal der *heuristischen Methoden* ist, dass die Suche nach zulässigen Lösungen mit Hilfe geeigneter Strategien eingegrenzt wird. Dies ist insbesondere bei theoretisch sehr großen Lösungsmengen aus Aufwandsgründen notwendig. Dem Nachteil, dass die im Sinne der vorgegebenen Entscheidungsregeln beste Lösung nicht zwingend gefunden wird, steht der Vorteil des geringeren Suchaufwands gegenüber.

Unter dem Begriff *Optimierungsverfahren* werden mathematische Verfahren der linearen und nichtlinearen Optimierung und der Graphentheorie zusammengefasst. Im Verkehrswesen kommt dabei den graphentheoretischen Verfahren und ihrer Anwendung, z.B. zur Optimierung logistischer Abläufe, die größte Bedeutung zu. Gemeinsam ist allen optimierenden Entscheidungsverfahren, dass sie nur bei begrenzten Zielsystemen sinnvoll eingesetzt werden können und dass alle Abhängigkeiten zwischen Einflussgrößen und Zielgrößen von Anfang an bekannt sein müssen.

8.4 Formalisierte Entscheidungsverfahren

8.4.1 Kosten-Nutzen-Analyse

Für Maßnahmen von erheblicher finanzieller Bedeutung im Bereich der Bundesverkehrswege sind nach (§ 6) Haushaltsgrundsätzegesetz bzw. (§ 7) Bundeshaushaltsordnung Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen durchzuführen. Hierzu wurde das Bewertungsinstrument der Bundesverkehrswegeplanung (BMVBW, 2002) entwickelt. Einen verwandten Ansatz, jedoch reduziert auf den Verkehrsträger Straße, stellt das Verfahren EWS (FGSV, 1997) dar.

Im Bereich des Öffentlichen Verkehrs wurde das Verfahren „Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des ÖPNV und Folgekostenrechnung, Version 2000“ entwickelt (BMVBW, 2000).

Kern der Verfahren ist eine Kosten-Nutzen-Analyse, wobei der Nutzen-Kosten-Quotient den wesentlichen Maßstab der Beurteilung darstellt. Die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) setzt voraus, dass die für die einzelnen Wirkungsbereiche definierten Messgrößen in monetären Einheiten vorliegen oder in solche umgerechnet werden können.

Im Rahmen der KNA werden die Kosten den (positiven und negativen) monetisierten Wirkungen, die als Nutzen bezeichnet werden, gegenübergestellt. Dabei muss der Faktor „Zeit“ besonders berücksichtigt werden. Man unterscheidet

- die Bauzeit TB, die für die Erstellung der Maßnahme benötigt wird,
- die wirtschaftliche Nutzungszeit TN, in der die Maßnahme in Betrieb ist und ihren Nutzen entfalten kann und
- den Bewertungszeitraum TW, der für eine Folgenabschätzung festgelegt wird (z.B. 20 Jahre).

Im Rahmen der für diese Problemstellung entwickelten dynamischen Methoden der Investitionsrechnung werden die Kapitalwertmethode mit ihren Untervarianten der Barwert-(Gegenwartswert-) und der Endwertmethode, die Interne-Zinsfuß-Methode und die Annuitätenmethode unterschieden (Plath, 1977; Seicht, 1990).

Bei der *Barwertmethode* werden die prognostisch während der wirtschaftlichen Nutzungszeit TN der Maßnahme anfallenden Zahlungen (Ausgaben des Investors ebenso wie seine Einnahmen) auf den Gegenwartzeitpunkt abgezinst (diskontiert). Dabei wird angenommen, dass Ausgaben und Einnahmen jeweils am Ende der betroffenen Periode anfallen.

Ausgaben-(Kosten-)Vektor:

$$k'_v = (k'_1, k'_2, k'_3, ..., k'_{TN}) \quad (8.12)$$

Einnahmen-(Nutzen-)Vektor:

$$n'_v = (n'_1, n'_2, n'_3, ..., n'_{TN}) \quad (8.13)$$

Vektor der Differenzen (Einnahmen – Ausgaben):

$$r'_v = (n'_1 - k'_1, n'_2 - k'_2, n'_3 - k'_3, ..., n'_{TN} - k'_{TN}) \quad (8.14)$$

Diskontierungsvektor:

$$d_v = 1, \frac{1}{q}, \frac{1}{q^2}, ..., \frac{1}{q^{(TN-1)}} \quad (8.15)$$

$$\text{mit } q = 1 + \frac{p}{100}; \; p \text{ ... Zinssatz in Prozent} \quad (8.16)$$

Die Summe der diskontierten jährlichen Differenzen „Einnahmen (Nutzen) minus Ausgaben“ stellt den Barwert BW dar.

$$BW = \Sigma r'_t \cdot d_t, \quad t = 1, 2, ..., TN \quad (8.17)$$

Der Kapitalwert der Maßnahme (Gegenwartswert) ist gleich dem Barwert zuzüglich diskontiertem Liquidationserlös abzüglich der Investitionssumme:

$$\text{Kapitalwert} = BW + \text{Liquidationserlös} \cdot \frac{1}{q^{TN}} - \text{Investitionssumme} \quad (8.18)$$

Der Kapitalwert ist einer der Maßstäbe, nach denen die Maßnahme beurteilt werden kann. Er entspricht dem auf den Gegenwartszeitpunkt abgezinsten Gewinn, den die Maßnahme im Laufe der wirtschaftlichen Nutzungszeit TN erzielt. Eine Investition ist dann zu befürworten, wenn ihr Kapitalwert (Gegenwartswert) positiv ist.

Nach der *Endwertmethode* werden die Einnahmen und Ausgaben über den wirtschaftlichen Nutzungszeitraum TN der Maßnahme aufgezinst (askontiert).

Askontierungsvektor:

$$a_v = (q^{TN-1}, q^{TN-2}, ..., q, 1) \quad (8.19)$$

Hier stellt die Summe der askontierten Differenzen „Einnahmen minus Ausgaben“ den Endwert EW dar.

$$EW = \Sigma r'_t \cdot a_t, \quad t = 1, 2, ..., TN \quad (8.20)$$

Der Kapitalwert errechnet sich aus dem Endwert zuzüglich Liquidationserlös abzüglich der askontierten Investitionssumme:

$$\text{Kapitalwert} = \text{EW} + \text{Liquidationserlös} - \text{Investitionssumme} \cdot q^{TN} \quad (8.21)$$

Betrachtungszeitpunkt ist das Ende der wirtschaftlichen Nutzungszeit. Der Kapitalwert entspricht hier dem Gewinn, den die Maßnahme im Laufe der wirtschaftlichen Nutzungszeit TN erzielt. Nach der Endwertmethode ist eine Maßnahme dann zu befürworten, wenn ihr Kapitalwert positiv ist.

Bei gegebenem Einnahmen- und Ausgabenvektor wird die Höhe des Gewinns nur noch vom Zinssatz determiniert. Mit steigendem Zinssatz nimmt der Gewinn ab. Einer Begründung der Angemessenheit des Zinssatzes kommt daher eine große Bedeutung zu. Bei einer Finanzierung über das Steueraufkommen wird die Dis- bzw. Askontierungsrate am langfristigen Realzins öffentlicher Anleihen orientiert (3,0-3,5 Prozent (Rothengatter et al., 1984; FGSV, 1997)).

Bei der *Interne-Zinsfuß-Methode* wird die interne Verzinsung für die betrachtete Maßnahme ermittelt, indem der Kapitalwert (Gegenwartsmethode) gleich Null gesetzt wird:

$$\text{Kapitalwert} = 0 = \Sigma\, r'_t \cdot d_t + \text{Liquidationserlös} \cdot \frac{1}{q^{TN}} - \text{Investitionssumme}$$

$$t = 1, 2, ..., TN \quad (8.22)$$

Er gibt die Rentabilität (Durchschnittsverzinsung) des in den einzelnen Jahren noch gebundenen Kapitals an. Hier ist die Maßnahme dann zu befürworten, wenn die interne Verzinsung größer ist als der Zinssatz, den der Investor für eine geliehene Investitionssumme bezahlen muss bzw. den er bei Anlage der Investitionssumme auf dem Kapitalmarkt erhielte.

Problematisch ist die Barwertmethode, wenn die zu vergleichenden Maßnahmen unterschiedlich lange Nutzungszeiten aufweisen. Diesen Nachteil vermeidet die *Annuitätenmethode*, bei der die einmaligen Ausgaben (Investitionen) gleichmäßig auf die wirtschaftliche Nutzungszeit TN umgelegt werden. Zunächst werden – um Maßnahmen mit unterschiedlichen Erstellungszeiten vergleichen zu können – die in den einzelnen Jahren zu erbringenden Teilinvestitionen auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Maßnahme („Bezugszeitpunkt“) aufgezinst (Annahme: Die jährlichen Kosten fallen am Jahresende an). Die derart aufgezinsten Teilinvestitionen werden nun – differenziert nach Anlagenteilen – gleichmäßig auf die jeweilige wirtschaftliche Nutzungszeit umgelegt (FGSV, 1997).

Die durchschnittlichen Jahreskosten aus Investitionen betragen:

$$ka = \Sigma\, kb_i \cdot af_i \quad (8.23)$$

mit af_i... Annuitätenfaktor der Teilinvestition i
kb_i... Ausgaben der Teilinvestition i
i ... Nr. der Teilinvestition

$$af = \frac{p \cdot q^{TN}}{100 \cdot (q^{TN} - 1)} \quad (8.24)$$

TN... wirtschaftliche Nutzungszeit des Anlagenteils i

Unter der Annahme einer Konstanz der jährlichen Ausgaben für den Unterhalt ku können diese den Jahreskosten aus Investitionen hinzugefügt werden. Die Jahres-Gesamtausgaben betragen dann:

$$\text{Jährliche Gesamtausgaben } K = ka + ku \quad (8.25)$$

und der Barwert der Ausgaben errechnet sich über den Bewertungszeitraum TW zu

$$\text{Barwert der Ausgaben } BWK = K \cdot b_f \quad (8.26)$$

mit

$$b_f, b_g ... \text{ Barwertfaktor} = \frac{(q^{TW}-1)}{\frac{p}{100} \cdot q^{TW}} \quad (8.27)$$

Bei der Einnahmenschätzung wird ebenfalls häufig eine Konstanz über den Bewertungszeitraum unterstellt. Die Einnahmen N werden dann nur für ein Referenzjahr ermittelt. In diesem Fall ergibt sich für den Barwert der Einnahmen

$$\text{Barwert der Einnahmen BWN} = N \cdot b_f \quad (8.28)$$

Der Barwertfaktor ist in beiden Fällen – Ausgaben wie Einnahmen – gleich groß, so dass er sich bei der Berechnung einer Einnahmen-Ausgaben-Relation („Nutzen-Kosten-Quotient“) herauskürzt.

Im Rahmen der Wertsynthese wird als Entscheidungskriterium für Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in der Regel das Verhältnis aus dem Barwert der Einnahmen und dem Barwert der Ausgaben („Quotientenkriterium“) gebildet (FGSV, 1997), das einen Maßstab für den relativen Nutzenüberschuss einer Maßnahme darstellt:

$$Q = \frac{BWN}{BWK} \quad (8.29)$$

Von Interesse kann auch das Differenzenkriterium sein, das den Kapitalwert der Maßnahme darstellt:

$$D = BWN - BWK \quad (8.30)$$

Der Nachteil des Differenzenkriteriums besteht darin, dass große Maßnahmen gegenüber kleinen Maßnahmen begünstigt werden. Das Quotientenkriterium liefert demgegenüber auch bei Maßnahmen mit unterschiedlich großem Investitionsvolumen vergleichbare Aussagen.

Das Schema für den Ablauf einer Kosten-Nutzen-Analyse zeigt Abbildung 8.8. Das gewählte Entscheidungskriterium kann einmal als Effizienzkriterium (Beurteilung einer einzelnen Maßnahme) benutzt werden. Es dient ferner als Selektionskriterium (Auswahl einer zu realisierenden Variante aus mehreren zur Diskussion stehenden Varianten). Schließlich kann das gewählte Entscheidungskriterium auch als Dringlichkeitskriterium (Ermittlung der Reihenfolge mehrerer zu realisierender Maßnahmen) eingesetzt werden.

Die Notwendigkeit, alle Wirkungen in Geldeinheiten ausdrücken zu müssen, schränkt die in eine Entscheidung einbeziehbaren Wirkungen auf Messgrößen ein, für die Marktpreise existieren, die sich in einer Volkswirtschaft real gebildet haben. Hier endet jedoch die Aussagekraft einer Kosten-Nutzen-Analyse. Der Einbezug weiterer, nicht mehr mit Marktpreisen bewertbarer Wirkungen erfordert eine Erweiterung des Verfahrens, wie sie z.B. mit der Kosten-Wirksamkeits-Analyse und der Nutzwertanalyse gegeben ist.

8.4.2 Kostenwirksamkeits-Analyse

Die zweite Variante formalisierter, ökonomisch orientierter Bewertungs- und Entscheidungsverfahren, die Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA), erweitert die KNA, indem auch nicht monetär bewertbare Wirkungen erfasst und den Kosten der Maßnahme gegenübergestellt werden. Bei der KWA wird damit – ebenso wie bei der KNA – den Maßnahmekosten ein erheblicher Stellenwert eingeräumt (siehe Abb. 8.9).

Der Ablauf entspricht in Teilen dem der KNA, jedoch sind aus den für jedes Jahr t ermittelten Zielertragsmatrizen – mittels Transformation – t Zielerreichungsgradmatrizen (Punkte) und – mittels Gewichtung – t Teil-

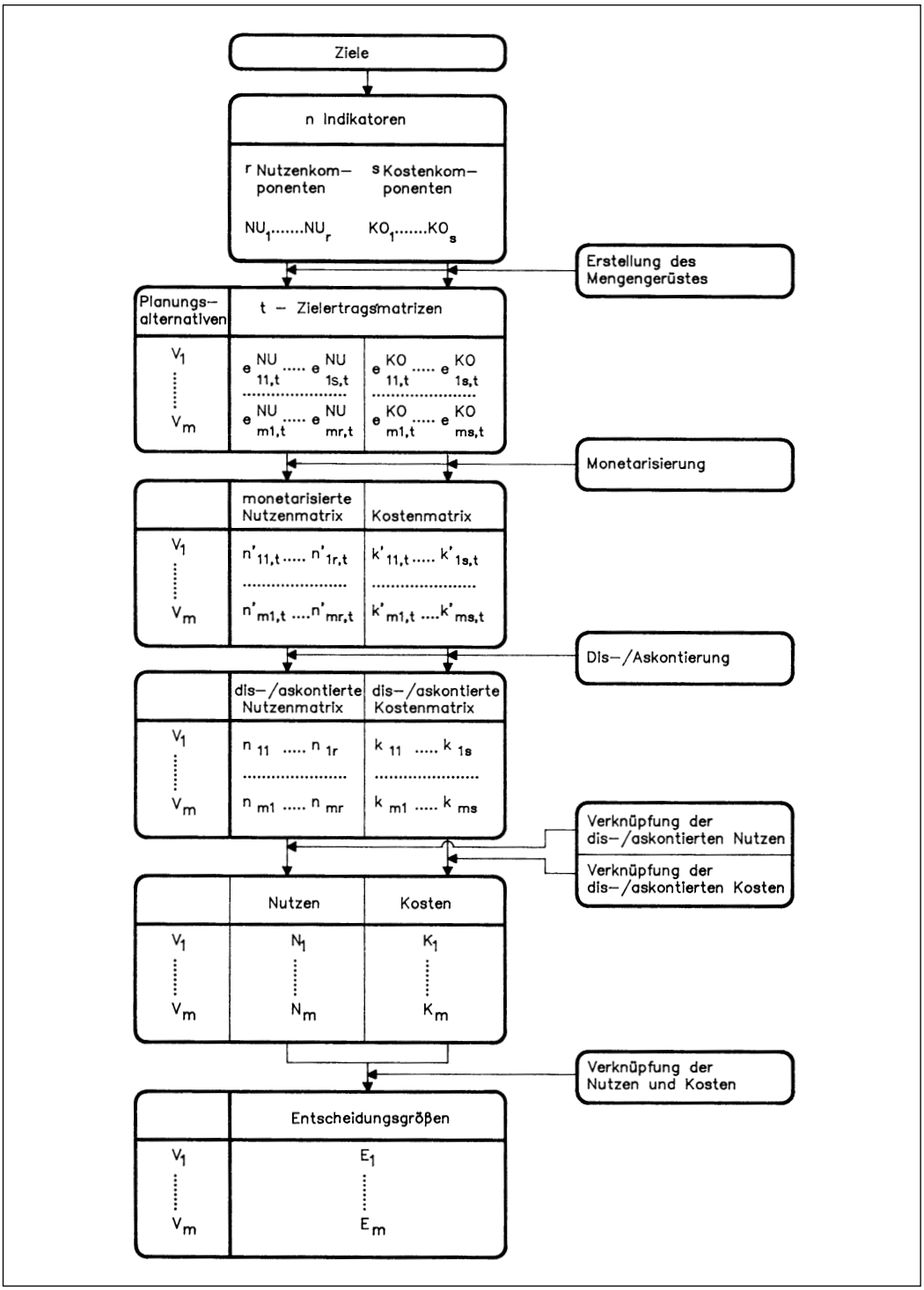


Abb. 8.8 Ablauf einer Kosten-Nutzen-Analyse. (Dorfwirth et al., 1982)

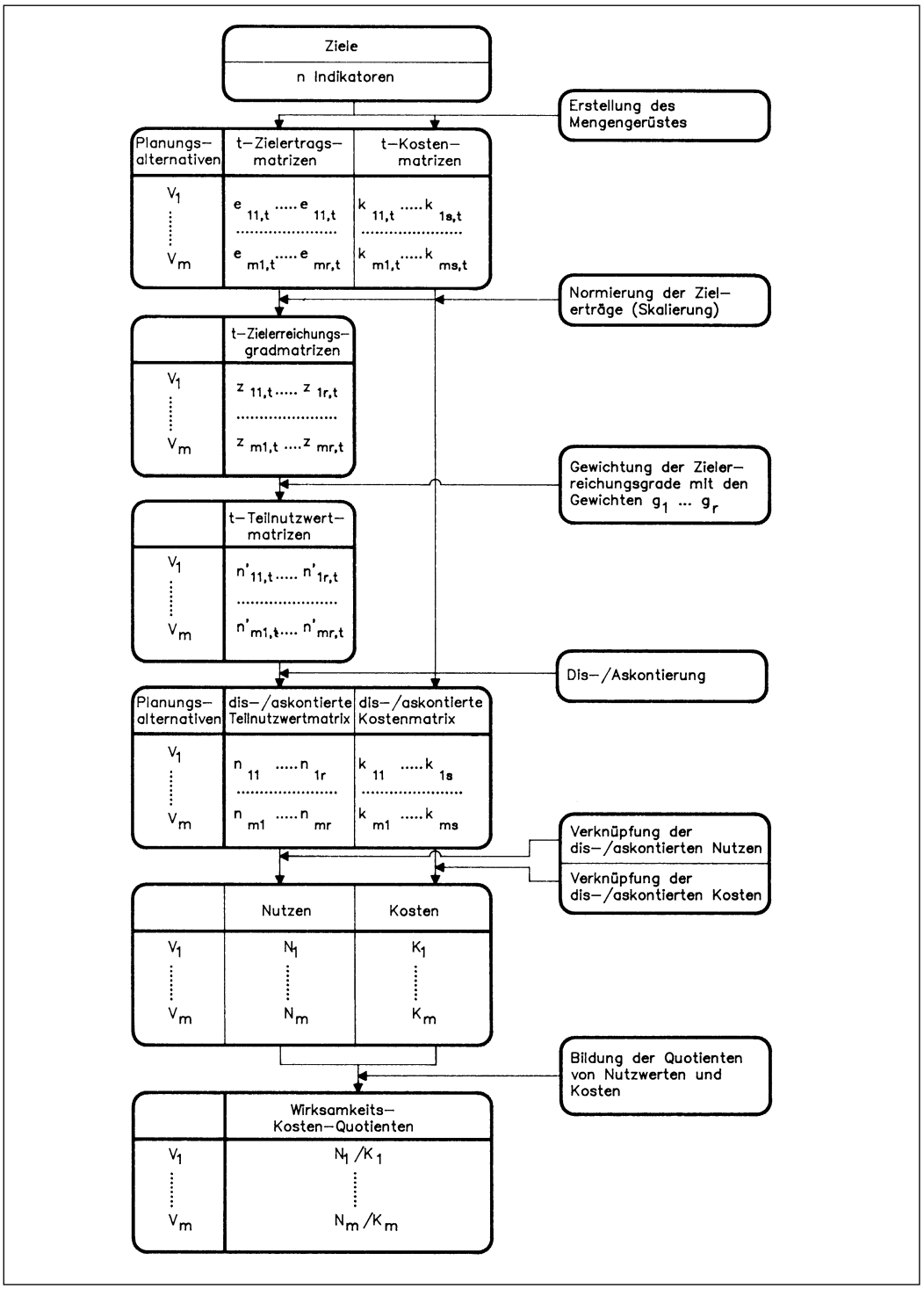


Abb. 8.9 Ablauf einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse. (Dorfwirth et al., 1982)

nutzwertmatrizen zu berechnen. Die Teilnutzwertmatrizen werden – wie die monetisierte Nutzenmatrix bei der KNA – und ebenso wie die Kostenmatrix entsprechend dem zeitlichen Verlauf diskontiert (Barwertmethode) bzw. askontiert (Endwertmethode). Die dis-/askontierten Teilnutzwerte werden nun im nächsten Schritt zu den Nutzen N (Wirksamkeiten in Punkten), die dis-/askontierten Teilkosten zu den Kosten K je Variante addiert.

Als Entscheidungskriterium wird der Quotient aus Wirksamkeiten und Kosten

$$Q = \frac{N}{K}, \qquad (8.31)$$

sowohl zur Selektion einer Variante aus mehreren zur Diskussion stehenden Varianten als auch zur Ermittlung einer Dringlichkeitsreihung herangezogen. Wegen der besonderen Problematik der Wirkungsbewertung sollten ferner bei einer KWA Sensitivitätsbetrachtungen nicht fehlen (Fischer, 1976; Kirchhoff u. Littger, 1979).

8.4.3 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse stellt die verallgemeinerte Form der KWA dar, wobei im Gegensatz zur KWA alle Wirkungen (einschließlich der Kosten der Maßnahme) gleichwertig behandelt werden (Zangemeister, 1970; Bechmann, 1978) (siehe Abb. 8.10).

Das bedeutet, dass für die definierten Nutzen- und Kostenkomponenten – wie bei der KWA – zunächst die Zielertragsmatrizen für jedes Jahr des Berechnungszeitraums zu ermitteln sind. Mittels Transformation werden die Zielerträge in Zielerreichungsgrade (Punkte) umgerechnet. Nach Gewichtung der Zielerreichungsgrade entstehen t Teilnutzwert-Matrizen, die zu den Nutzwerten der Varianten – in der Regel additiv – zusammengeführt werden. Die Nutzwerte (Punkte) stellen das Entscheidungskriterium dar, das sowohl bei der Selektion von Maßnahmen als auch zur Dringlichkeitsreihung mehrerer zu realisierender Maßnahmen herangezogen wird. Kritisch ist anzumerken, dass die Komplexität des Verfahrensablaufs bei der NWA nicht gerade die Begründung von Gewichtungen erleichtert (Witte, 1979; Eckhoff et al., 1981; Marburger, 1983). Deshalb sollten auch hier ergänzende Sensitivitätsbetrachtungen zur Transformation und Gewichtung der Wirkungen angestellt werden.

8.4.4 Sensitivitätsanalysen

Um die Stabilität einer Entscheidung im Hinblick auf die Effizienz, die Auswahl oder die Dringlichkeitsreihung von Maßnahmen überprüfen zu können, empfehlen sich Sensitivitätsanalysen. Im Rahmen von Sensitivitätsuntersuchungen werden die Unsicherheiten in den Modellrechnungen zur Folgenabschätzung und in der Bewertung (Zinssätze, Transformationsvorschriften, Gewichtsfestlegungen) berücksichtigt, indem durch systematische Variation von Annahmen geprüft wird, inwieweit die Entscheidungsgrößen von diesen Annahmen unabhängig und somit „stabil“ sind. Ausgeprägte Instabilitäten (geringfügige Veränderungen von Annahmen und Bewertungen führen zu einer wesentlichen Veränderung der Entscheidungsgrößen), d.h. Abhängigkeiten der Entscheidungsgrößen von alternativen, plausiblen Annahmen oder alternativen, begründbaren Transformationsvorschriften und Gewichtsfestsetzungen müssen bei der Entscheidung berücksichtigt werden.

Sensitivitätsanalysen können sich auf die funktionalen Ansätze zur Ermittlung des „Mengengerüstes“ (Zielerträge), auf das Mengengerüst selbst, auf die Transformationsvorschriften und auf die Gewichtung beziehen

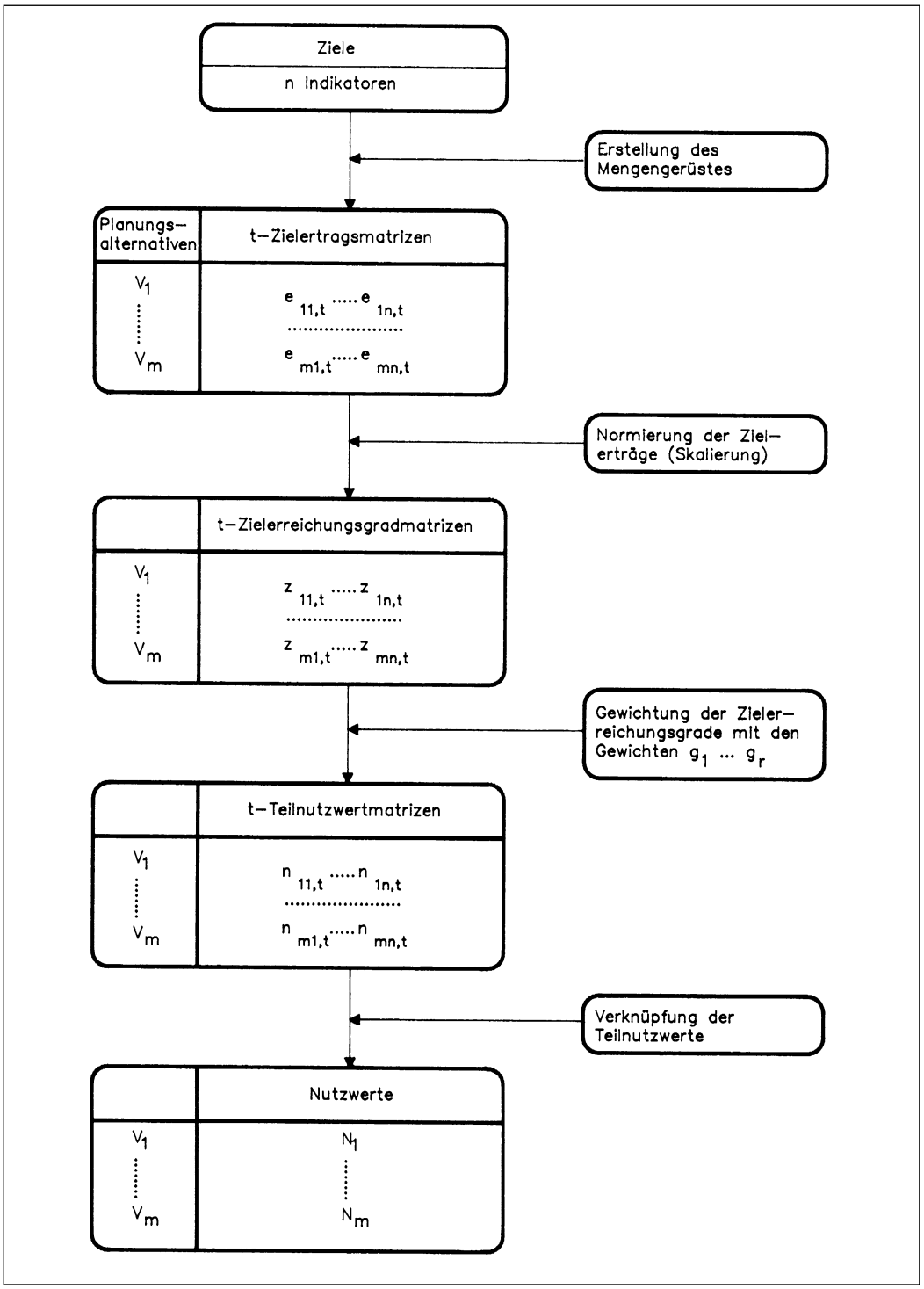


Abb. 8.10 Ablauf einer Nutzwertanalyse. (Dorfwirth et al., 1982)

(Dorfwirth et al., 1982). In konkreten Untersuchungen reduziert man aus Aufwandsgründen die systematische Variation meist auf die Gewichtung, obwohl die größeren Unsicherheiten eher bei der Folgenabschätzung zu suchen sein dürften. Ziel der Gewichtungsvariation ist es zu prüfen, inwieweit eine mittels Entscheidungsgrößen definierte Rangfolge von Maßnahmen auch bei Variation der Gewichtung erhalten bleibt bzw. ab welcher Gewichtung die Reihenfolge „umkippt“ (Cerwenka, 1982).

Für eine systematische Variation der Gewichtung können statistische, auf der zufälligen Erzeugung von Gewichtungssätzen basierende Verfahren, die – bei vorgegebenen Mittelwerten und Standardabweichungen für jedes Zielgewicht – den Randbedingungen (7) und (8) genügen (Dorfwirth et al., 1982) oder vorgegebene Strategien der Gewichtsvariation (Heimerl u. Meier, 1985) Verwendung finden.

8.5 Paarweiser Vergleich von Varianten

Ein wesentliches Problem der KWA und NWA besteht in der je Kriterium einheitlichen Transformations- und Gewichtungsvorschrift. Auch wird der öffentliche Entscheidungsträger dem Abwägungsgebot nur unzureichend gerecht, wenn das Ergebnis der Bewertung quasi automatisch produziert wird, ohne ergänzende Reflexion der Besonderheiten, die jeder Alternative innewohnt. Ergänzende Aspekte der Gewichtung (z.B. ist ein Flächenverbrauch von 4 ha zwar das Doppelte von 2 ha, dennoch kann ein Verlust von 2 ha schwerer wiegen, wenn es sich um die letzte Flächenreserve einer Kommune handelt) können nur schwer in den Entscheidungsprozess einer KWA oder NWA eingebracht werden.

Diesem Problem begegnet das Verfahren des paarweisen Vergleichs und der schrittweisen Rangfolgenermittlung von Lösungsalternativen. Es eignet sich vor allem für Entscheidungen unter Varianten. Für eine Entscheidung unter Alternativen ist das Verfahren nicht geeignet.

Ein solches Verfahren stellt das formalisierte Abwägungs- und Rangordnungsverfahren (FAR) dar, das im Gegensatz zu anderen Vorgehensweisen die originären Merkmalsausprägungen als Grundlage des Abwägungsverfahrens nutzt (FGSV, 2001). Das FAR stellt das für öffentliche Entscheidungsträger geltende Gebot einer transparenten Abwägung in den Mittelpunkt der Überlegungen. Dies wird erreicht, indem jede Alternative mit jeder anderen Alternative verglichen und gereiht wird. Der verbalen Erläuterung, warum Alternative a der Alternative b vorzuziehen ist, kommt dabei die entscheidende Bedeutung zu.

Bei n Alternativen existieren n (n-1)/2 paarweise Vergleiche. Dabei muss die Transitivitätsbedingung erfüllt sein, die besagt, dass für je drei Alternativen a, b, c gelten muss:

Wenn Alternative a besser als Alternative b und Alternative b besser als Alternative c beurteilt wird, muss Alternative a besser als Alternative c sein. Die Vergleiche führen zu einer einzigen Rangordnung aus n! möglichen Rangordnungen. Dazu sind minimal n-1, maximal $n \cdot (n-1)/2$ Vergleiche erforderlich.

Beim paarweisen Vergleich werden zweckmäßigerweise in einem ersten Schritt solche Lösungen ausgeschieden, die in allen Wirkungsbereichen von alternativen Lösungen übertroffen werden. Das weitere Vorgehen umfasst auf der methodischen Grundlage des FAR 8 Schritte:

(1) Gruppierung der Wirkungen aus Gründen der besseren Übersicht in Wirkungsbereiche.
(2) Erstellung einer Datentabelle mit Lösungs-

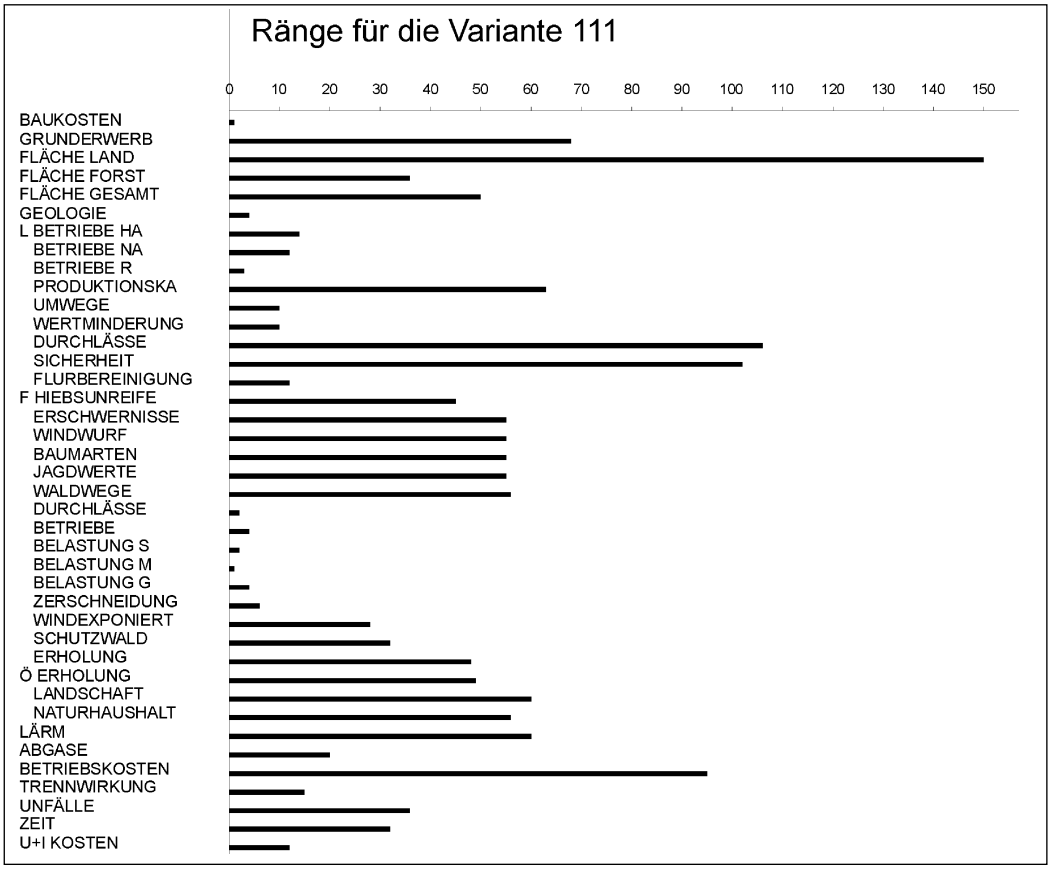


Abb. 8.11a Ränge der Einzelwirkungen in Bezug auf das jeweilige Optimum als Grundlage für die Einführung von Standards (Grenzränge). (Schaechterle et al., 1982)

varianten und Wirkungsausprägungen in Originaldimension.

(3) Generierung einer Vorteile-Nachteile-Tabelle für alle Vergleichspaare.

(4) Darstellung der Häufigkeitsverteilungen der Wirkungs- und Wirkungsdifferenzenausprägungen, um deren Bandbreite kennen zu lernen (Beispiel siehe Abb. 8.11a und b).

(5) Definition bedeutender Unterschiede zwischen Lösungsvarianten, (z.B.: ein bedeutender Unterschied ist größer als 30 Prozent).

(6) Erzeugung der $n \cdot (n-1)/2$ Datentabellen für die paarweisen Vergleiche mit Kennzeichnung der bedeutenden Unterschiede.

(7) Festlegung der Reihenfolge, in der die paarweisen Vergleiche abgearbeitet werden sollen. Die Abarbeitungsreihenfolge ergibt sich durch aufsteigende Sortierung der Anzahl bedeutender Vorteile der ers-ten Variante eines Lösungspaars. Mit diesem Schritt soll erreicht werden, dass die Anzahl der Abwägungsvorgänge minimiert wird.

(8) Durchführung der quantitativ/qualitativen Abwägungen zur Ermittlung der Rangfolge innerhalb des betrachteten Paars. Aufgrund der Abarbeitungsreihenfolge aus Schritt 7 kann die endgültige Rangfolge nach weni-

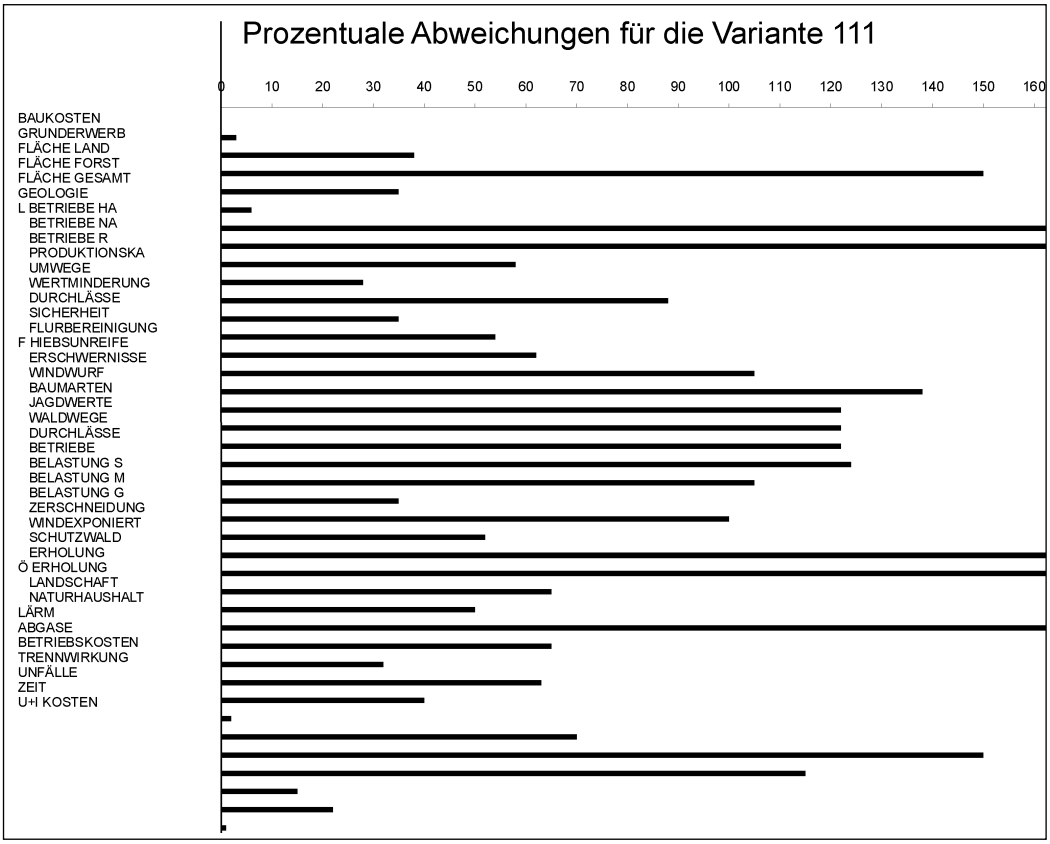


Abb. 8.11b Prozentuale Abweichungen der Einzelwirkungen in Bezug auf das jeweilige Optimum als Grundlage für die Einführung von Standards. (Schaechterle et al., 1982)

gen Schritten festgelegt werden. Das Ergebnis der übrigen paarweisen Vergleiche liegt damit bereits fest.

Der Vorteil des formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahrens FAR liegt im Zwang zur sorgfältigen Analyse der Wirkungen und der ausführlichen verbalen Erörterung maßgebender Vor- und Nachteile. Kritisch zu sehen ist jedoch die implizite, weitgehend freie und damit willkürliche Festlegung von Wertigkeiten für sehr unterschiedliche Wirkungsbereiche. Dieses Problem wird verschärft, wenn eine große Anzahl von Wirkungsindikatoren in den Entscheidungsprozess einzubeziehen ist. Diese Nachteile vermeiden Verfahren der Aggregation von Wirkungsausprägungen zu Wirkungsbereichsausprägungen und zur Monetarisierung der Einzelwirkungen entsprechend der Ausführungen in den vorausgegangenen Abschnitten. Der Wert des formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahrens kann durch den Einbezug dieser Gesichtspunkte erhöht werden.

Die Verfahren des paarweisen Vergleichs erfordern die Interaktion des Entscheidungsträgers und lassen ihn am Lernprozess teilhaben. Für eine große Anzahl von Varianten und Wirkungsindikatoren sind rechnergerstützte Interaktivsysteme entwickelt worden, die eine übersichtliche Darstellung von Einzelwirkungen ermöglichen und den gesamten Rangordnungsprozess unterstützen.

Ein auf dieser methodischen Grundlage entwickeltes interaktives Lern- und Auswahlverfahren muss zwei grundsätzliche Funktionen erfüllen (Beckmann, 1989):

(1) Abruf variantenbezogener Informationen, selektiv für Variantenklassen oder für einzelne Varianten und
(2) Möglichkeit der Überprüfung und Änderung der Auswahlregeln, die bei der schrittweisen Rangordnungsbildung von Varianten zur Anwendung gelangten, im Sinne eines Lernprozesses.

In aller Regel verlaufen diese Selektionsschritte diskursiv unter Beteiligung von Experten und Entscheidungsträgern. Dem Lernprozess und der Korrektur von Entscheidungen im Lichte neuer Sachverhalte und Einschätzungen kommt dabei besondere Bedeutung zu. Als weitere zu berücksichtigende Komponente gilt es, die Sicherheit von Wirkungsabschätzungen mit der Wirkung selbst zu kombinieren und insbesondere Wirkungen von großer Tragweite, wenn nicht quantitativ, so mindestens verbal in den Entscheidungsprozess einzubeziehen.

Tabelle 8.1 Wirkungen von drei Varianten einer Straßenbaumaßnahme. (Eigene Darstellung)

			Variante		
Zielbereich	**Kriterium**	**Dimension**	**1**	**2**	**3**
Umwelt	Verkehrssicherheit	Mio. €/a	2,0	1,85	1,25
	Verkehrslärm	LEG	0,19	0,18	0,18
	CO-Emissionen	t/a	531	474	420
	NOx-Emissionen	t/a	13	5	21
	Beeinträchtigung von Biotopen	ha	-3,90	-0,30	-0,01
Städtebau	Funktionale Aspekte	Rangfolge	1	3	1
	Räumliche Aspekte	Rangfolge	2	3	1
Wirtschaftlichkeit	Erreichbarkeit	Mio. €/a	20,05	17,35	16,95
	Treibstoffverbrauch	1000 t/a	2,8	2,0	2,3
	Betriebskosten MIV	Mio. €/a	5,75	4,7	4,85
	Baukosten	Mio. €	-41,0	-63,5	-67,0
	Unterhaltungskosten	Mio. €/a	-0,050	-0,050	-0,055
Summe ökon.	Nutzen (mit Zeitkosten)	Mio. €/a	27,80	23,90	23,05
Summe ökon.	Nutzen (ohne Zeitkosten)	Mio. €/a	7,75	6,55	6,10

„+“ Verbesserung gegenüber dem Bezugsfall (ohne Maßnahme)
„-“Verschlechterung gegenüber dem Bezugsfall (ohne Maßnahme)

8.6 Demonstration der Verfahren an einem Beispiel

Für drei sich gegenseitig ausschließende Varianten eines städtischen Straßenprojekts wurden die Wirkungen in den Zielbereichen
- Umwelt
- Städtebau und
- Wirtschaftlichkeit

entsprechend Tabelle 8.1 ermittelt.

Die Varianten unterscheiden sich in ihrer räumlichen Lage wesentlich: So verläuft Variante 1 am Rande eines Gewerbeparks auf einem Freihaltekorridor in bisher wenig berührter Natur. Die Varianten 2 und 3 sind Ausbauvarianten einer bestehenden hochbelasteten Straße, die durch den Gewerbepark hindurchführt. Variante 2 stellt eine Lösung in offener Tieflage dar, wohingegen Variante 3 plangleiche Knotenpunkte mit entsprechend hoher Anzahl von Fahrstreifen vorsieht. Im Zuge der bestehenden Straße befindet sich ferner der Trassenkorridor einer Stadtbahnlinie, die den Gewerbepark zentral erschließt.

Mit Variante 1 wird eine Umgehungsstraßensituation geschaffen, die eine wesentliche Beruhigung innerhalb des Gewerbeparks mit angenehmen Arbeitsbedingungen ermöglicht. Umgekehrt wird ein bisher weitgehend unberührter naturräumlich strukturierter Bereich, der auch für die Naherholung genutzt wird, in Anspruch genommen. Die Varianten 2 und 3 belassen den Verkehr im Zentrum des Gewerbeparks. Die naturräumlich strukturierte Randzone des Gewerbeparks bleibt bei diesen Lösungen erhalten.

Entsprechend sind die mit den jeweiligen Straßenlösungen verbundenen städtebaulichen Konzepte äußerst unterschiedlich: Bei Variante 1 konzentriert sich die Bebauung um die Haltepunkte der Stadtbahn mit abnehmender Bebauungsdichte, je weiter die Bebauung von der Haltestelle entfernt ist. Die Grundstücke werden mit einer Reihe von ökologischen Auflagen versehen. Bei den Varianten 2 und 3 wird die durch den Gewerbepark verlaufende stark befahrene Straße als städtisches Einfallstor mit Erlebniswert ausgebildet: Bei diesen Lösungen wird eine mehrgeschossige repräsentative Bebauung längs der Straßenachse vorgesehen. Damit stellen alle drei Varianten äußerst unterschiedliche Lösungen dar.

Im Rahmen der Beurteilung der Vor- und Nachteile werden die Varianten zunächst im Hinblick auf vorgegebene Grenzwerte oder gesetzliche Regelungen geprüft (Lärmgrenzwerte, Grenzwerte der Schadstoffimmissionskonzentrationen, verkehrliche Funktionsfähigkeit). Die Prüfung möge ergeben haben, dass alle Varianten für zulässig befunden wurden. Ein weiterer Aspekt betrifft Budgetrestriktionen. Die Prüfung ergibt, dass alle Varianten, auch die Varianten 2 und 3, grundsätzlich aus vorhandenen Budgets finanziert werden können.

Damit wird die Frage evident, ob mindestens eine der Varianten realisierungswürdig ist und – wenn mehrere als realisierungswürdig angesehen werden – welche der Varianten zu präferieren sein wird.

Grundsätzlich nicht realisierungswürdig soll eine Maßnahme dann sein, wenn ihre ökonomischen Nutzen die Kosten nicht deutlich überschreiten.

Um die ökonomische Effizienz prüfen zu können, werden auf der Nutzenseite die Wirkungskomponenten
- Verkehrssicherheit
- Erreichbarkeit (gemessen in Reisezeitaufwand)
- Betriebskosten

und auf der Kostenseite die
- Baukosten- sowie die
- Unterhaltungskosten

der Maßnahme betrachtet. Nutzen und Kosten

Tabelle 8.2 Aufteilung der Baukosten (Mio. €) auf die Bauzeiten. (Eigene Darstellung)

	Variante		
Jahr	**1**	**2**	**3**
1		6,35	
2		10,15	10,05
3		15,25	20,10
4	8,20	16,50	16,75
5	24,60	10,15	13,40
6	8,20	5,10	6,70
Summe	41,00	63,50	67,00

Tabelle 8.3 Auf den Bezugszeitpunkt aufgezinste Baukosten (Mio. €) (p = 3,5%). (Eigene Darstellung)

	Variante		
Jahr	**1**	**2**	**3**
1		7,542	
2		11,647	11,533
3		16,908	22,285
4	8,784	17,675	17,943
5	25,461	10,506	13,869
6	8,200	5,100	6,700
Summe	42,445	69,378	72,330

werden nach der Methode der Kosten- Nutzen-Analyse zusammengeführt (siehe Kapitel 8.4.1).

Die Bauzeiten TB_i der Maßnahmen sind unterschiedlich, sie betragen:

TB_1 = 3 Jahre

TB_2 = 6 Jahre

TB_3 = 5 Jahre

Die Baukosten teilen sich auf die Bauzeiten laut Tabelle 8.2 auf.

Als Bewertungszeitraum TW wird von 20 Jahren ausgegangen. Die wirtschaftliche Nutzungszeit TN betrage im Mittel 60 Jahre.

Der Zinssatz q wird zu 3,5% angenommen. Ferner wird unterstellt, dass die für einen maßgebenden (mittleren) Zeithorizont berechneten Nutzen gleichmäßig über den gesamten Bewertungszeitraum anfallen.

Die Varianten sollen nun nach der Annuitätenmethode beurteilt werden. Dazu sind die Baukosten zunächst auf den jeweiligen Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme der Maßnahme) aufzuzinsen, das Ergebnis zeigt Tabelle 8.3.

Die Umrechnung der aufgezinsten Baukosten in jährliche Investitionskosten erfolgt mit Hilfe von Annuitätenfaktoren. Mit einer durchschnittlichen wirtschaftlichen Nutzungszeit von 60 Jahren errechnet sich der Annuitätenfaktor zu af_q = 0,0401.

Tabelle 8.4 Jahreskosten der Varianten (Mio. €/a). (Eigene Darstellung)

		Variante		
	Dimension	**1**	**2**	**3**
Investitionskosten	Mio. €/a	1,702	2,782	2,900
Unterhaltungskosten	Mio. €/a	0,050	0,050	0,055
Summe Jahreskosten	Mio. €/a	1,752	2,832	2,955

Tabelle 8.5 Barwerte der Kosten und der Nutzen sowie Nutzen-Kosten-Quotienten der Varianten. (Eigene Darstellung)

		Variante		
	Dimension	**1**	**2**	**3**
Barwert Kosten	Mio. €	24,901	40,250	42,004
Barwert Nutzen[1)]	Mio. €	395,105	339,676	327,596
Barwert Nutzen[2)]	Mio. €	110,146	93,091	86,696
Nutzen/Kosten[1)]		15,867	8,439	7,799
Nutzen/Kosten[2)]	-	4,423	2,313	2,064

1) mit Einbezug der Zeitkosten

2) ohne Einbezug der Zeitkosten

Die Summen aus jährlichen Investitionskosten und laufenden Kosten sind aus Tabelle 8.4 zu entnehmen.

Im nächsten Schritt werden die Barwerte der Jahreskosten und Jahresnutzen ermittelt. Der Barwertfaktor ist aufgrund der getroffenen Vereinfachungen für Kosten und für Nutzen gleich, er beträgt bei einem Bewertungszeitraum von 20 Jahren $b_f = 14{,}2124$.
Daraus ermitteln sich die Barwerte der Kosten und der Nutzen sowie der Nutzen-Kosten-Quotient gemäß Tabelle 8.5.

In dieser Tabelle wurde einmal mit den Nutzen aus Zeitvorteilen und einmal ohne Berücksichtigung dieser Nutzen gerechnet. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass der Einbezug kleiner Zeitvorteile (weniger als 5 Minuten) in eine Nutzen-Kosten-Analyse umstritten ist. Für den Einbezug spricht, dass sich kleine Zeitvorteile einzelner Maßnahmen bei Komplementarität addieren lassen und dann ökonomisch nutzbare Zeitvorteile durchaus entstehen können.

Die Nutzen-Kosten-Quotienten liegen bei allen Varianten mit Berücksichtigung der Zeitkosten weit über 1, ohne Berücksichtigung der Zeitkosten immer noch deutlich über 1, so dass eine Realisierung der jeweiligen Maßnahme unter wirtschaftlichen Aspekten zu befürworten ist. Im internen Vergleich zeigt Variante 1 deutliche Vorteile gegenüber den Varianten 2 und 3. Erfolgte die Beurteilung ausschließlich nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten, so wäre der Variante 1 eindeutig der Vorzug zu geben. Die Beurteilung in anderen Wirkungsfeldern zeigt aber auf, dass die unter

ökonomischen Gesichtspunkten schlechter beurteilten Varianten Vorzüge in städtebaulicher und/oder ökologischer Hinsicht aufweisen. Der Einbezug dieser weiteren, langfristig durchaus auch ökonomische Dimensionen implizierenden Wirkungsfelder kann somit – abhängig von der subjektiven Bewertung dieser Wirkungen – zu einer Veränderung der Reihung führen.

Die Notwendigkeit, nicht monetär bewertbare Wirkungen in den Entscheidungsprozess einzubeziehen, führt zur Frage nach dem problemadäquaten Verfahren. Formalisierte zweistufige Bewertungsverfahren (Kostenwirksamkeits-Analyse, Nutzwertanalyse) oder interaktive multikriterielle Verfahren sind vor dem Hintergrund der kleinen, überschaubaren Anzahl von Varianten und Kriterien hier unzweckmäßig. Umso mehr Wert kann auf die sorgfältige Auseinandersetzung mit den jeweiligen Wirkungsprofilen und auf die ergänzende Interpretation der Wirkungen gelegt werden. Dazu eignet sich das Verfahren des „paarweisen Vergleichs". Es ermöglicht den direkten „Wettbewerb" der Varianten untereinander.

Vergleicht man Variante 1 mit den Varianten 2 und 3, so stellt man – wie erwähnt – fest, dass den wirtschaftlichen Vorteilen von Variante 1 vor allem städtebauliche (bei Variante 3) und ökologische Vorteile (bei beiden Varianten) gegenüberstehen. Variante 1 ist somit eine echte Alternative zum Variantenpaar 2 und 3.

Im internen Vergleich der Varianten 2 und 3 zeigt sich, dass Variante 2 städtebaulich am schlechtesten von allen Varianten und somit auch schlechter als Variante 3 abschneidet. Ebenfalls schlechter bewertet wird Variante 2 im Bereich „Umwelt" bei NO_x-Emissionen und bei der Beeinträchtigung von Biotopen. Vorteile zeigen sich bei CO-Emissionen und bei der Verkehrssicherheit (Variante 2 verläuft in Tieflage mit richtungsgetrennten Fahrbahnen). Berücksichtigt man den Stellenwert der NO_x-Emissionen im betrachteten Gebiet, das durch hohe Ausgangsbelastungen bei dieser Schadstoffkomponente gekennzeichnet ist, berücksichtigt man ferner das Gewicht, das dem Artenschutz in den Stadtrandlagen von Ballungskernen zukommt, so muss Variante 2 auch im Bereich „Umwelt" im direkten Vergleich mit Variante 3 schlechter bewertet werden.

Dies führt nun zum paarweisen Vergleich der verbleibenden Varianten 1 und 3. Und hier zeigen sich nun die unterschiedlichen Wirkungscharakteristika in aller Deutlichkeit: Erheblichen Vorteilen im Bereich Wirtschaftlichkeit von Variante 1 steht eine schlechtere Beurteilung im Bereich Städtebau sowie eine deutlich schlechtere Bilanz im Bereich Artenschutz (Beeinträchtigung von Biotopen) gegenüber. Aufgrund der im Durchschnitt höheren Geschwindigkeiten bei Variante 1 fallen auch die NO_x-Emissionsreduktionen bei dieser Variante geringer aus.

Für den Entscheidungsträger stellt sich nun die Frage nach der Gewichtung der nichtmonetär bewertbaren Aspekte. Ein Anhalt kann dabei der Kostenvorteil der Variante 1 sein, der sich – bei gleichem Nutzen-Kosten-Quotienten – mit etwa 23 Mio. €/a (ohne Berücksichtigung der Zeitkosten) veranschlagen lässt. Eine solche Rechnung dient dazu, den „Wert" der nichtmonetär bewertbaren Aspekte mit einer monetären Skala in Beziehung zu bringen. Geht man in einem ersten Ansatz von einer Gleichwertigkeit der Biotopbeeinträchtigung mit den räumlichen Aspekten im Bereich Städtebau aus, so müssten die städtebaulichen Vorteile der Variante 3 mit 11,5 Mio. €/a und die ökologischen Vorteile ebenfalls mit 11,5 Mio. €/a bewertet werden, um einen Gleichstand zu erzielen. Umgekehrt könnte Variante 1 um den gleichen Betrag pro Jahr „teurer" werden, indem der genannte Betrag zur zusätzlichen, über den unmittelbaren Ausgleichsanspruch hinausgehenden Verbesserung z.B.

der Biotopbildung und -vernetzung eingesetzt wird.

Diskutiert werden müsste auch, ob die räumlich bessere Lösung von Variante 3 im Bereich Städtebau, die überwiegend ästhetische Aspekte der stadträumlichen Gliederung umfasst, pro Jahr 11,5 Mio. € „wert“ ist. (Bei Realisierung von Variante 1 könnte theoretisch jährlich die genannte Summe zur Verbesserung der stadträumlichen Situation eingesetzt werden).

Welche Entscheidung letztlich getroffen wird, hängt somit von der Bewertung dieser Gesichtspunkte ab. Zu hoffen ist, dass in einem Fall wie dem geschilderten wegen der nicht über alle Wirkungsbereiche eindeutigen Vorteile einer Variante eine Entscheidung zustande kommt und nicht etwa alles beim Alten bleibt.

Literatur

Albert, H. (1971): Theorie und Praxis, Max Weber und das Problem der Wertfreiheit und der Rationalität. In: Albert, H. u. Topitsch, E. (Hrsg.): Werturteilsstreit. Darmstadt

Bechmann, A. (1978): Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, Paul-Haupt-Verlag, Bonn

Beckmann, K. (1989): Vergleich und Kritik methodischer Ansätze der Beurteilung, Abwägung und Auswahl von Infrastruktur-Großprojekten. In: Köhl (Hrsg.), Bewertung, Abwägung und Auswahl von Infrastruktur-Großprojekten, Karls-ruhe

Boerner, D.; Gee, C.; Neumann, L. (1987): Entwicklung eines Verfahrens zur Berücksichtigung von Netzabhängigkeiten bei der Bewertung von Bundesfernstraßen. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bonn (n.v.)

Bundeshaushaltsordnung (BHO)

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) Bonn/Berlin

– BMVBW (2000): Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personenverkehrs, Version 2000
– BMVBW (2002): Bundesverkehrswegeplan 2003 (BVWP); Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmethoden

Cerwenka, P. (1982): Ein Verfahren zur Beurteilung von Rangstabilitäten in der Nutzwertanalyse. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 53 , S. 29ff.

Dorfwirth, J. R.; Cerwenka, P.; Gobiet, W.; Herry, M.; Hönig, M.; Metelka, M.; Sammer, G. (1982): Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen-Entscheidungshilfen in der Verkehrsplanung: Schriftenreihe Straßenforschung des Bundesministeriums für Bauten und Technik: Heft 202, Wien

Eckhoff, J.; Heidemann, C.; Strassert, G. (1981): Kritik der Nutzwertanalyse, Karlsruhe

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln

– FGSV (1985): Leitfaden für Verkehrsplanungen
– FGSV (1986): Hinweise für die Anwendung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehrswesen
– FGSV (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Straßen (EWS 97)
– FGSV (2001): Beurteilung und Abwägung in der Verkehrsplanung mit Hilfe des formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahrens FAR

Fischer, L. (1976): Die kombinierte Anwendung von Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) und Kosten-Wirksamkeitsanalyse (KWA) als Instrument zur Beurteilung von Investitionsmaßnahmen nach § 7 Abs.2 Bundeshaushaltsordnung. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 47, S. 78ff.

Glück, K. u. Krasser, G. (1979): Ein mehrstufiges Verfahren zur monetären Bewertung des Straßenverkehrslärms: Straße und Autobahn, Heft 3

Haushaltsgrundsätzegesetz (HHGG)

Heimerl, G. u. Meier, W. (1985): Multikriterielle Beurteilung von Verkehrswegeinvestitionen; Problematik und Lösungsansätze einer sozioökonomischen Bewertung: Zeitschrift Schienen der Welt, Juli 1985, S. 41

Helmer, O. (1968): The Delphi Method – An Illustration. In: Bright (Hrsg.): Technological Procasting for Industry and Government: Englewood Cliffs, N.Y.

Hicks, J. R. (1939): The Foundation of Welfare Economic. In: The Economic Journal 49, S. 696ff.

Kaldor, N. (1939): Welfare Propositions of Economics and Inter-Personal Comparisons of Utility. In: The Economic Journal 49, S. 549ff.

Kirchhoff, P. u. Littger, W. (1979): Sensitivitätsuntersuchung des Nutzens bei Kosten-Wirksamkeitsuntersuchungen, dargestellt am Beispiel der

Durchführbarkeitsstudie C-Bahn Hamburg. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 50, S. 98ff.
Marburger, E. A. (1983): Nutzen-Kosten-Analyse – Nutzwertanalyse – Zur Frage ihrer Anwendung. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 54, S.101ff.
Pareto, V. (1971): Manual of Political Economy: A.M.Kelly: New York
Rothengatter, W.; Müller, P.; Kotz, R. (1984): Ermittlung eines kalkulierbaren Zinssatzes in einer Ökonomie mit erschöpfbaren Ressourcen: Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bonn
Ruske, W. (1991): Quantitative und qualitative Wirkungsanalysen. In: Maßnahmenbewertung in der Verkehrsplanung: Hrsg. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1991
Schaechterle, K. H.; Holdschwer, G.; Steierwald, G.; Schönharting, I.; Fauser, A.; Siebrand, H.; Kittelberger, K.; Thäsler, H. U.; Wagner, H. G.; Wundt, W. (1982): Bundesfernstraße Freiburg- Donaueschingen, Gutachten zur Gesamtbewertung, Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg (n.v.)
Steierwald, G. (1961): Die Anwendung der Monte Carlo-Methode in der Straßenverkehrsforschung, Habilitationsschrift: Aachen
Steierwald, G. u. Treuner, P. (1976): Volkswirtschaftliche Zinssätze -Untersuchung zum Regionalverkehrsplan Stuttgart: Gutachten im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bonn n.v.
Steierwald, G. u. Schönharting, I. (1986): Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Ortsdurchfahrten im Hinblick auf die Notwendigkeit des Baues von Umfahrungsstraßen. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verkehr, Heft 479, Bonn
Weber, W. u. Topitsch, E. (1952): Das Wertfreiheitsproblem seit Max Weber. In: Zeitschrift für Nationalökonomie 13, S.158
Weinberger, M. (1991): Zur Ermittlung der Kosten des Straßenverkehrslärms mit Hilfe von Zahlungsbereitschaftsanalysen. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 62, S. 62ff.
Willeke, R. (1991): Bewertungsverfahren aus ökonomischer Sicht. In: Maßnahmenbewertung in der Verkehrsplanung. Hrsg. v. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
Witte, H. (1979): Das Problem der Auswahl einer adäquaten Wertsyntheseregel bei Nutzwertanalysen im Verkehrswesen. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 50, S. 44ff.
Zangemeister C. (1970): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, München

Weiterführende Literatur

Aschenbrenner, M. (1979): Komplexes Wahlverhalten als Problem der Informationsverarbeitung. In: Ueckert, H., Rhenius, D. (Hrsg.): Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Bern, Stuttgart, Wien
Bandemer, H. (1990): Einführung in die FUZZY-Methoden. Harry Deutsch Verlag
Becker, D. (o.J.): Analyse der Delphi-Methode und Ansätze zu ihrer optimalen Gestaltung. Harry Deutsch Verlag
Faller, P. (1990): Methodik der Bewertung und Auswahl von Investitionen im Bereich der Verkehrsinfrastruktur: Österreichische Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Heft 2, 1990
Gesetz über Finanzhilfen des Bundes zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden (Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz) (GVFG)
Moosmayer, E. (1983): Gibt es eine objektiv richtige Diskontierungsrate? – Ein Beitrag zur Theorie der Investitionsrentabilität von Verkehrswegebauten. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 54, S. 98
Müller-Merbach, H. (1976): Morphologie heuristischer Verfahren: Zeitschrift für Operations Research Bd.20, S.69-88
Obermeyer; Krebs und Kiefer; Spiekermann; Vössing (Auftragnehmer) (2002): Machbarkeitsstudie für Magnetschnellbahnen in Bayern und Nordrhein-Westfalen, Erläuterungsbericht, Düsseldorf, n.v.
Plath, F. (1977): Nutzen-Kosten-Analyse für städtische Verkehrsprojekte: J.C.B.Mohr-Verlag, Tübingen
Rommelfanger, H.J. u. Eickemeier, S. (2002): Entscheidungstheorie, Springer-Verlag
Seeger, Th. (o.J.): Die Delphi-Methode. Hochschul-Verlag
Seicht, G. (1990): Investition und Finanzierung: 6. Auflage, Wien, S. 41ff.
Steierwald, G. u. Schönharting, J. (1991): Systematisierung der Bewertungsmethoden und Wirkungsanalysen aus der Sicht der Praxis. In: Maßnahmenbewertung in der Verkehrsplanung: Hrsg. v. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
Umweltbundesamt (1986): Die Kosten der Umweltverschmutzung: Berichte des Umweltbundesamtes, Berlin

9 Beitrag der Technikfolgenabschätzung für die Stadtverkehrsplanung

9.1 Bedeutung von Technikfolgenabschätzung im Verkehrswesen

9.1.1 TA-Theorie und Politikberatung

Unter Technikfolgenabschätzung versteht man die systematische wissenschaftliche Untersuchung von Bedingungen und Folgen von Technik und Technisierung und deren gesellschaftliche Bewertung (Grunwald, 2002). Sie etablierte sich in den sechziger Jahren in den USA und die dort gebräuchliche Abkürzung „TA“ für „technology assessment“ wurde auch in den deutschen Sprachgebrauch als Abkürzung für Technikfolgenabschätzung übernommen. Mit Hilfe der TA sollen die Transparenz über die Folgen von Entscheidungen verbessert und mögliche Handlungsalternativen aufgezeigt werden.

Als Geburtsstunde der modernen TA kann die Gründung des OTA (Office of Technology Assessment) in den USA gesehen werden. Es wurde 1972 mit dem Ziel gegründet, dem amerikanischen Kongress regierungsunabhängig forschungs- und technikrelevante Informationen bereitzustellen. 1996 wurde das OTA auf politisches Drängen hin jedoch wieder geschlossen.

Ihren Ursprung hat die TA also in der Politikberatung, auch heute ist die Beratung staatlicher Institutionen neben der politikfelderübergreifenden interdisziplinären Analyse und Bewertung von Technik eine wichtige Aufgabe.

Nach dem Vorbild des OTA entstanden auch in Europa zahlreiche parlamentarische TA-Einrichtungen. Das STOA (Scientific and Technological Options Assessment) ist die TA-Einrichtung des Europaparlaments. In einigen europäischen Ländern, z.B. in den Niederlanden (Rathenau Institut) und in England (Parliamentary Office of Science and Technology), existieren ebenfalls Einrichtungen mit dem Ziel, die Entscheidungsgrundlagen des Parlaments zu verbessern. Im so genannten EPTA-Netzwerk (European Parliamentary Technology Assessment) haben sich die TA-Institutionen verschiedener europäischer Länder zusammengeschlossen.

In Deutschland wurde die Notwendigkeit einer TA zwar schon Anfang der siebziger Jahre erkannt, jedoch wurde das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) erst 1989 mit dem Ziel eingerichtet, Beiträge zur Verbesserung der Informationsgrundlagen forschungs- und technologiebezogener Beratungs- und Entscheidungsprozesse im Deutschen Bundestag zu leisten.

Im Bereich der wissenschaftlichen TA-Forschung sind in Deutschland als Institutionen beispielsweise das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) und die Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg (1992-2003) zu nennen.

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI, 2000) hat zur TA eine eigene Richtlinie herausgegeben und somit die Bedeutung von TA im Ingenieurshandeln unterstrichen (VDI 3780), insbesondere wird hier die Einbeziehung von außertechnischen Werten in die Technikentwicklung betont.

Die TA bedient sich verschiedenster Methoden, um die Folgen der Technikentwicklung zu analysieren und zu bewerten (sog. technikin-

duzierte TA). Die Bandbreite der eingesetzten Verfahren ist außerordentlich groß und verlangt den Anwendern die Bereitschaft zum trans- und interdisziplinären Arbeiten ab. Es kommen beispielsweise Szenario-Techniken, Partizipationsverfahren und Prozessdarstellungen zum Einsatz. Innerhalb eines TA-Projekts können mehrere Methoden parallel angewendet werden.

Auch in der Verkehrsplanung tragen TA-Methoden zur Entscheidungsfindung bei. Durch sie werden vor allem qualitative Elemente in den Prozess eingebracht und die Nutzer in die Verkehrsplanung einbezogen. Handlungsalternativen und -empfehlungen für die Planungsverantwortlichen sind das Ergebnis.

9.1.2 TA in der Planung: Denkmodelle und Methodik

Planung als gedankliche Vorwegnahme der Entwicklung eines zukünftigen Zustandes fußt auf der Fähigkeit, diesem Zustand Wirkungen zuzuschreiben, die anhand von Zielvorstellungen bewertet werden können; die Bewertung entscheidet über die Ausführung der Planung bzw. über die Erforderlichkeit einer Plankorrektur. Die Technikfolgenabschätzung spiegelt diesen Entscheidungsweg, indem sie Zustandsbeschreibungen ermöglicht und Bewertungen fundiert. Dabei umfasst „Technik“ nicht nur das physische System von Elementen, die einen Prozess ermöglichen, sondern auch das Procedere, also z.B. auch die Planung, das im Gesamtsystem die gewünschten Ergebnisse zeitigt. Die klassische, technikinduzierte TA prognostiziert die Folgen einer Technik und sucht nach Möglichkeiten, diese positiv zu gestalten. Dem Planungsbegriff steht die probleminduzierte TA näher, die die Anforderungen an eine Technik formuliert, von der ein hohes Maß an Problemlösung erwartet werden kann.

Der Nachteil der tradierten, insbesondere der ingenieurwissenschaftlichen Planungen ist bekanntermaßen die starke Fokussierung auf einen bestimmten Kriteriensatz, dessen zumeist quantitativ-monetäre Einzelkriterien eine Anpassung auf örtliche Gegebenheiten nur selten zulassen. In zahlreichen Fällen – als prominentes Beispiel sei hier nur die Bewertung von Dringlichkeiten in der Verkehrswegeplanung genannt – ist das situativ nicht veränderbare Planungs- und Bewertungsprocedere Anlass harscher Kritik von Betroffenen und Beteiligten. Hier wäre ein Ansatz hilfreich, der situativ angepasst werden kann, gleichzeitig aber gewisse Vorgaben der Zuverlässigkeit und Nachvollziehbarkeit erfüllt, ohne die innerhalb der technisch-juristischen Wirklichkeit die Planung nicht realisierungsfähig wäre. Ein solcher Ansatz wird in der TA verwendet, die als ersten Schritt ihrer Bewertung für die einzelne Aufgabe einen Kriteriensatz erstellt, der die örtlichen (situativen) Systembedingungen abzubilden vermag. Diese Betrachtungsweise ist nicht an bestimmte Vorhabengrößen gebunden, sie kann auch in dieser Hinsicht situativ angepasst werden.

Das Denkmodell der TA fasst den Systembegriff also deutlich weiter, als von der Betrachtung physisch-technischer Systeme her bekannt ist, und bezieht auch solche Phänomene in die Betrachtung ein, die der zentralen (Planungs-)Aufgabe über Wirkungsmechanismen verbunden sind. Eine wesentliche Aufgabe der TA bei der Vorbereitung von Entscheidungen ist es, diese Wirkungsmechanismen nach Relevanz zu ordnen und nur solche Phänomene in die Entscheidung einzubeziehen, die einem gewissen Relevanzniveau entsprechen. Die Einbeziehung einer solchen Vielzahl von Mechanismen und Phänomenen setzt aber den Übergang auf eine andere Kriterienebene voraus: Kriterien werden nicht mehr über den Weg der Monetarisierung in Vergleichsgrößen umgerechnet, sondern es werden monetäre

Größen über den Weg der Bewertung zu Qualitäten umgewandelt. Bei richtiger Anwendung haben solche Kriterienkataloge den großen Vorteil, die Komplexität der Entscheidung stark zu vereinfachen, ohne den Erkenntnisgewinn der Komplexität zu reduzieren.

Die methodischen Ansätze der TA lassen sich mit den folgenden Leistungen beschreiben (Bonnet, 1994): Die TA-Methode muss historische Analogien bilden, den State-of-the-art des Projektgegenstandes präsentieren, mögliche Alternativen in die Betrachtung einbeziehen, Folgen weiterschreiben oder projizieren, Ergebnisse fokussieren und zu allen Zeitpunkten den Betroffenen eine Beteiligung ermöglichen. Man kann sich vorstellen, dass sich aus diesen umfassenden Ansätzen eine schier unübersehbare Methodenvielfalt entwickelt hat und dass der damit zweifellos verbundene höhere Verfahrensaufwand nicht immer gerechtfertigt sein kann. Die Verkehrsplanung mit ihren vielfältigen Planungsgegenständen wird nur dort auf TA-basierte Methoden zurückgreifen, wo der Gesamtaufwand des Projekts eine solche Methodenerweiterung rechtfertigt oder wo durch die TA-Methode eine deutlich verbesserte Darstellbarkeit und Vermittlungsfähigkeit erzielt werden kann.

Die erprobten und hier vorzustellenden TA-basierten Methoden in der (Stadt-) Verkehrsplanung können folgendermaßen eingeordnet werden:

1. *Konzeptionelle Methoden* zur verbesserten Auswertung und Darstellung der Planungsgrundlagen, zur Verdeutlichung der zu optimierenden Prozesse und der weiteren Entwicklung:
   – *Räumliches Modell*
   z.B. Variation der Systemgrenzen, räumliche Funktionsanalysen, Kartierungen.
   – *Zeitliches Modell*
   z.B. Analyse historischer Entwicklungen, Slow-Motion-Analysen.
   – *Prozess-Modell*
   v.a. Entscheidungs-und-Aktions-Analysen.
2. *Diskursive Methoden* der direkten Entscheidungsfindung, -fundierung und -vermittlung:
   – *Multikriterielle Prognosen*
   z.B. Szenariotechnik, interdisziplinäre Voten.
   – *Diskurse*
   z.B. Gruppenbewertung, Partizipation, Workshops.

TA-Methoden haben wie alle anderen Methoden in der Planung den Status eines Werkzeuges, das bestimmten Anforderungen genügen muss, um dauerhaft eingesetzt und weiterentwickelt werden zu können. Zu diesen Anforderungen zählen nicht nur Stringenz und Nachvollziehbarkeit, sondern auch die Kompatibilität mit den bewährten Methoden, insbesondere aber die Markteignung – die Anwender der Methoden dürfen nicht gezwungen sein, größere Lerninhalte zu bewältigen oder neue Sprachregelungen anzuwenden.

Nach TFL (2002) ist gegenwärtig eine aus der Sicht der Planenden bedauerliche Konzentration der Methodenentwicklung auf die ganzheitliche Bewertung von infrastrukturellen Großprojekten zu erkennen; die in den nachfolgenden Teilkapiteln dargestellten Verfahren zeigen folglich nur einen kleinen Teil der bei der Technikfolgenabschätzung zu Infrastruktursystemen verwendeten. Es sind Verfahren, die im Rahmen größerer Planungen bereits eingesetzt und bewährt sind und die sich teilweise so weit von ihren TA-Wurzeln entfernt haben, dass sie inzwischen wie selbstverständlich angewandt werden.

9.2 Konzeptionelle Methoden

9.2.1 Räumliches Modell: Funktionsanalyse

Während sich die technische Bauausführung eines Verkehrsweges auf die Bedingungen zu konzentrieren hat, die die physische Verbindung von Fahrweg und Untergrund zur Voraussetzung hat, ist die Summe der Eingangsgrößen im Planungsprozess ungleich größer und umfasst auch die inneren Zusammenhänge des Umfeldes eines Planungsgegenstandes. Zur Sicherung der Planungsumsetzung werden in modernen Projekten auch die örtlichen Ansprüche von Nutzern und Beteiligten einbezogen: Die Umgestaltung z.B. einer Wohnstraße ist ohne die Einbeziehung der Anwohner und Anlieger nicht mehr vorstellbar. Erhebung und Verwendung der spezifischen Informationen und der artikulierten Bedürfnisse der genannten Nutzergruppen ist außerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Bürgerbeteiligung nicht geregelt. Die vorherrschende Methode ist heute die moderierte Planungszelle (siehe Kap. B 9.3.2), zu der zahlreiche Erfahrungsberichte vorliegen. Sollen die Zusammenhänge des Planungsumfeldes aber in einen Fachbeitrag münden, beispielsweise in den Textteil des Planes, so müssen die berücksichtigten Phänomene nachvollziehbar dargestellt werden (siehe Abb. 9.1).

Die TA verwendet hier die so genannte Funktionsanalyse, das heißt die Phänomene der Planungsumgebung werden auf Funktionen zurückgeführt und mit bestimmten Orten im Plan verbunden. Die örtlich wichtigen Problemlösungen und die weiteren Anforderungen an die Planung können aus der Kartierung der Funktionen an sich und ihren Konflikten zu anderen Funktionen herausgelesen und formuliert werden. Anzahl und Bezeichnung der Funktionen sind dabei nicht reglementiert und können so den spezifischen Bedingungen des

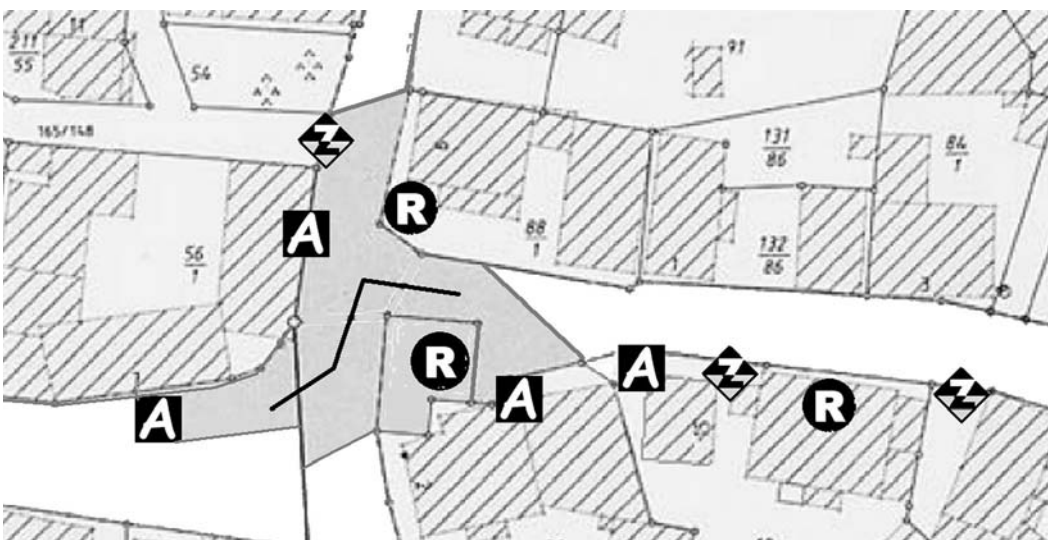


Abb. 9.1 Einfaches Beispiel für eine Funktionsanalyse mit Kartierung der Funktionen „Andienung“, „Zugang“ und „Ruhe“ auf der Basis eines Katasterplans mit eingezeichneter Fußgängerverbindung; wichtige Konfliktbereiche sind grau unterlegt. In der Praxis würde die Darstellung durch Farbakzente verdeutlicht und mit einer erläuternden Legende versehen. (Eigene Darstellung)

Einzelfalles angepasst werden. Es wird aber nur dann die Lesbarkeit des Planes durch die Funktionsanalyse verbessert werden, wenn die Funktionen auf die örtlich wichtigen beschränkt werden. Beispiele für solche räumlich wichtigen und verortbaren Funktionen sind

- Schutz
  z.B. örtlich/historisch wichtige Identifikationsorte (Baudenkmal, traditionelle Wege).
- Ruhe
  z.B. Grünstandorte, Friedhöfe, Krankenhäuser, reine Wohnbauten.
- Andienung
  z.B. Zufahrten zu Produktionsstätten, Notfallpraxen.
- Zugang
  z.B. Schaufenster, Büros mit regem Kundenverkehr, Kirchen, Kindergärten.
- Gefährdung und Entwicklung
  z.B. Sanierungen, soziales Konfliktpotential, Hochwassereinflussbereiche, Kontaminationen.

Diese Funktionen und die Bewertung von Funktionskonflikten in Bezug auf deren Relevanz wird man in der Regel aus der Kartierung der örtlichen Nutzungen ableiten können, die im Bedarfsfall durch eine Mikroanalyse, z.B. eine Anwohnerbefragung, ergänzt wird.

Als Vorbereitung von Partizipationsverfahren (siehe Kap. B 9.3) kann ebenfalls eine Funktionsanalyse erfolgen, die als eine gute Illustration verschiedener Standpunkte dient: Personen, die eine bestimmte Problemsicht betonen oder eine bestimmte Lösung befürworten, tragen die sie begründenden Funktionen in eine Karte ein. Dieses Vorgehen wird nahezu standardmäßig bei Aufgaben der Wohnumfeldgestaltung und bei Partizipationsverfahren in der Linienführung eingesetzt.

9.2.2 Zeitliches Modell: Slow-Motion-Analyse

Planungsrelevante Vorgänge, die einen engen Zeitbezug oder eine hohe zeitliche Dynamik aufweisen, sind in der Regel schwer darstellbar. Das gilt auch für die Erfassung von Kriterien während eines Vorgangs, der relativ rasch oder innerhalb einer Folge von Bewegungen bzw. an mehreren Orten gleichzeitig geschieht. In der Stadtverkehrsplanung ist die Beurteilung der Nutzungsqualität von Bauten und Einbauten eine Standardaufgabe solchen Typs. Das Handling von Parkierungseinrichtungen, die Bedienbarkeit von Ticketautomaten oder die Nutzerfreundlichkeit von Bauten des Fußgängerverkehrs für Menschen mit verringerter körperlicher Fitness sind hier Beispiele.

Eine Lösung dieses Darstellungsproblems bietet die Slow-Motion-Analyse, bei der ein gedanklich rezipierter oder tatsächlich mit der Kamera aufgenommener Vorgang in einzelne Aktionen zerlegt wird: Im Zeitlupentempo erschließen sich Abweichungen vom geplanten idealen Weg oder vom erwarteten Zeit- und Bewegungsaufwand.

Eine typische Anwendung ergibt sich zum Beispiel bei der Beurteilung des Renovierungsbedarfs von Parkbauten. Probanden der typischen Nutzergruppen werden auf Testgängen oder Testfahrten begleitet und ihre Bewegungen mit der Kamera aufgezeichnet, um anschließend die einzelnen Vorgänge anhand des Videos zu betrachten. Mit gutem Ertrag erprobt wurden Aufzeichnungen aus dem Fond des Testfahrzeugs unter anschließender Betrachtung der Kopfbewegungen des Fahrenden und des Lenkradeinschlagswinkels; zitierfähige Referenzuntersuchungen, anhand derer man einen Renovierungsbedarf direkt begründen könnte, sind bisher nicht erbracht, doch ist diese Methode für die Auffindung kritischer bzw. voraussichtlich unfallträchtiger Stellen und nicht zuletzt als Illustration sehr brauchbar.

Die Beurteilung von Anlagen des Fußgängerverkehrs kann als weiteres Beispiel für eine Slow-Motion-Analyse dienen, wobei sich hier auch Methoden des Prozess-Modells (siehe Folgekapitel) anbieten. Fußgängerunterführungen, Querungsanlagen und andere, von einer Vielzahl von Nutzern mit spezifischen Ansprüchen begangene Anlagen sind selten für Menschen verringerter Fitness gebaut – von „Behinderten" zu sprechen, greift hier zu kurz, es sei denn, man bezöge in diesen Begriff alle Arten verringerter körperlicher Leistung, passiver oder aktiver Ursache mit ein: schweres Gepäck, die Begleitung neugieriger Kinder, das Angewiesensein auf eine starke Brille, eine Muskelzerrung oder schlicht das Fremdsein mit Situationen oder an einem Ort sind lediglich Abstufungen einer Behinderung, wie sie fälschlicherweise mit dem Rollstuhl oder einer völligen Blindheit gleichgesetzt wird (siehe Abb. 9.2).

Dies wird offenkundig bei der Nutzung von Fahrkartenautomaten des ÖPNV in einer fremden Stadt: Begreifen und Anwenden eines unbekannten Systems erhöht die erforderliche Nutzungszeit derart, dass sich beispielsweise die Vorteile geringer Übergangszeiten in ihr Gegenteil verkehren. Die Beurteilung der Begreifbarkeit von mechanisch-elektronischen Anlagen wird durch eine weitere, aus der Slow-Motion-Analyse abgeleitete Methode möglich: Die Bedienungsanleitung spiegelt die Komplexität oder Einfachheit der Bedienung wider. Im Studium der TA spielt das Anfertigen von Bedienungsanleitungen eine große Rolle bei der Vermittlung der Komplexität von scheinbar gewohnten Verrichtungen. Studierende lernen zum Beispiel anhand der

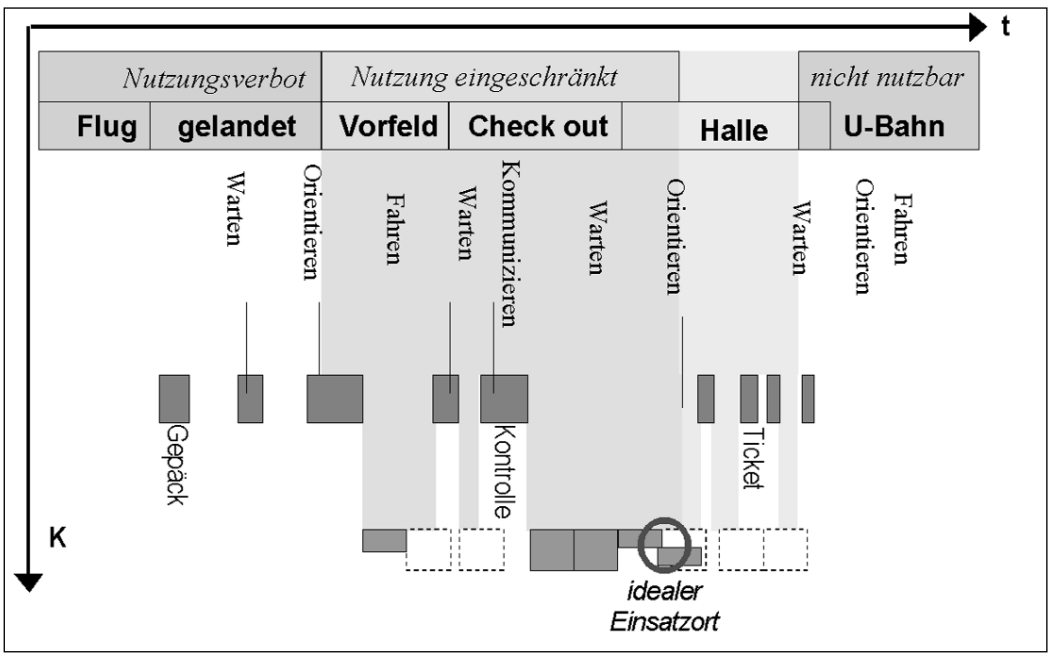


Abb. 9.2 Slow-Motion-Analyse im Sachsystem Flughafen. Auswertung für die Anwendung eines kommunikationsfähigen Palmtops bei der Fahrplanabfrage im Fern-Geschäftsreiseverkehr auf dem alten Stuttgarter Flughafen: Die idealerweise durchgängige Nutzung auf dem Weg vom gelandeten Flugzeug bis zum öffentlichen Verkehrsmittel wird durch verschiedene konkurrenzierende Aktionen K stark eingeschränkt. (Eigene Darstellung)

Anfertigung von Bedienungsanleitungen für das Öffnen einer Tür die damit für zahlreiche Menschen verbundenen Barrieren kennen. Solche Versuche verdeutlichen die Bedingungen, die sich für Menschen mit starken Sehbehinderungen ergeben, wenn die Taste, mit der die S-Bahn-Tür geöffnet wird, nicht mehr mechanisch hörbar ausrastet, sondern nur noch eine Reaktion durch Farbwechsel zeigt. Dieses Vorgehen erleichtert die Beurteilung der Tauglichkeit eines neuen Designs oder des Übergangs von mechanischen zu elektronischen Lösungen.

Durch die Anwendung einer Kombination von originaler Slow-Motion-Analyse und Bedienungsanleitung konnte in einer Expertise die Brauchbarkeit einer Handy-Palmtop-Kombination für den internationalen Geschäftsverkehr beurteilt werden, von der sich die Hersteller eine intensive Nutzung in der Abfrage von Fahrplanauskünften am Geschäftsort erhofft hatten. Abbildung 9.2 zeigt, welch geringe reale Einsatzzeiten sich für dieses Gerät ergeben, wenn die Kriterien Handling und Mindestbetriebszeit angewandt werden.

9.2.3 Prozess-Modell: Entscheidungs- und Aktions-(E-A)-Analysen

Die Slow-Motion-Analyse als Betrachtung der Abfolge verschieden lange dauernder Vorgänge stößt an ihre Grenzen, wenn es gilt, zeitlich nicht bedeutsame Vorgänge abzubilden, deren wichtigster Aspekt eine Entscheidung ist. Bei solchen Vorgängen verwendet die Verkehrs-TA die so genannte Entscheidungs- und Aktionsanalyse (E-A-Analyse), die den zu betrachtenden Vorgang in eine Abfolge von Entscheidungen und Aktionen zerlegt.

Während die übliche Interpretation den Verkehrswiderstand als Weg-, Zeit- oder Kostenentfernung misst, wertet die E-A-Analyse den Aufwand als Verkehrswiderstand, der zur Bewältigung der Entscheidungen und zum Durchführen der Aktionen benötigt wird (siehe Tab. 9.1).

Ein anschauliches Beispiel ist der Umgang von Verkehrsteilnehmern mit Wegweisungen: Eine Fahrt kann in Abschnitte der Aktion „Fahren“ zwischen den Entscheidungspunkten der „Orientierung“ zerlegt werden. Eine Zerlegung im mikroskopischen Maßstab zeigt als weiteres Beispiel die Betrachtung der Aktivitätenfolgelogistik, also jener geplanten (im Sinne des Alltagsplanens) Aufeinanderfolge von Entscheidungen und Aktionen, die die individuelle Tagesplanung aushäusiger Aktivitäten bestimmt und den Aufwand hierfür minimiert bzw. den Ertrag maximiert. Die Realisierung einer „Stadt der kurzen Wege“ ist nicht nur an die räumliche Verteilung von Aktivitätsorten, sondern auch an die Zugänglichkeit dieser Orte gebunden, die wiederum als Auffinden und Zugang – kompliziert oder einfach – wahrgenommen wird.

Die E-A-Analyse wird für die Planung von Wegweisungen vor allem an Orten hoher Nutzungsfrequenz mit hohem Anteil ortsfremder

Tabelle 9.1 Beispiel für eine Entscheidungs- und Aktionsabfolge beim Umstieg im ÖPNV mit Gepäck in der Sichtweise der E-A-Analyse gegenüber der üblichen Abbildung als Fahren und Warten. (Eigene Darstellung)

Fahren	Aussteigen	Orientieren	Gehen	---Steigen---	Orientieren	Warten	Einsteigen	Fahren
„Fahren“		„Warten“					„Fahren“	

Nutzer eingesetzt. In Flughäfen oder Krankenhäusern, bei Ausstellungen und Messen oder im Ferienverkehr wird die Optimierungsmöglichkeit stark von der Anpassung der Informationsgehalte für die Entscheidung an den Kenntnisstand und das Erkenntnisvermögen der Nutzer abhängen. Die Wegweisung kann mit Hilfe der E-A-Analysen stringent als Entscheidungsbaum gestaltet werden. Wenn es zusätzlich darum geht, für Notfälle (Panik) durch eine unbewusste Wegweisung mittels Farbgebung und Lichtführung vorzusorgen, sind die Erkenntnisse der Wahrnehmungspsychologie von hohem Interesse.

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung von E-A-Analysen liefert die Beurteilung der Gendergerechtigkeit von Verkehrsbauten im Stadtverkehr. Um die spezifischen Ansprüche von typischen Gendergruppen abzuprüfen, werden typische Wege im Stadtverkehr in Entscheidungen und Aktionen zerlegt. Tabelle 9.2 zeigt die genderrelevanten Merkmale von Verkehrsteilnehmern, die in den aufgeführten verkehrlichen Situationen zur Bestimmung von Ansprüchen und Anforderungen verwendet wurden. Dieses Vorgehen ist für die Entwicklung von Anforderungsprofilen und Lastenheften von hohem Interesse, nachdem die gewandelten und in Teilen auch erhöhten Ansprüche an eine Verkehrsplanung, die die Mobilitätsteilhabe umfassend sichert, durch die herkömmlichen Verfahren nicht mehr abgedeckt werden können.

Das Wort „gender“ wird wie das Wort „sex“ aus dem Englischen mit „Geschlecht“ übersetzt. In der Bedeutung besteht jedoch ein wichtiger Unterschied. Während „sex“ das biologische Geschlecht meint, wird unter „gender“ das sozial konstruierte Geschlecht verstanden. Dies ist in verschiedenen Kulturen unterschiedlich definiert und kann sich im Laufe der Zeit verändern. Mit der Unterscheidung von „sex“ und „gender“ soll verdeutlicht werden, dass es zum einen die biologisch bestimmten Geschlechtsunterschiede gibt, zum anderen solche, die von der Gesellschaft bestimmt werden. Es handelt sich dabei um „typische“ Rollen und zugehörige Verhaltensmuster von Personen.

Die Ansprüche an die Verkehrsplanung aus dem Gender-Aspekt erfolgen in einer gesamtgesellschaftlichen Sichtweise, bezogen auf die

Tabelle 9.2 Kombinationen „gender“-relevanter Faktoren im öffentlichen Verkehrsraum: Kriterien der sozialen Rolle und der Teilnahme im Verkehr. (Martens, 2002)

Lebensraum	Verkehrsteilnehmer- - Merkmale -	Eigenschaften endogen	Eigenschaften exogen	Verkehrliche Situation	Anforderungen und Ansprüche
Stadt Land	Versorgungssituation Alter Bewegungssituation Berufstätigkeit	Physis Psyche Sprachkenntnis Computerkenntnis kulturelle Identität	persönliche Zeitverfügbarkeit nicht persönliche Zeitverfügbarkeit Pkw-Verfügbarkeit ÖV-Zugang Einkommen Internetzugang	Zugang Fahren Übergang Warten	Handling Zielführung Begehbarkeit Sicherheit Sichtbarkeit Wohlfühlen Komfort Preis Schnelligkeit Orientierung Barrierefreiheit

Lebenssituation aller Menschen und nicht auf die Belange von Frauen allein. Dies bringt auch zum Ausdruck, dass die Ansprüche an die Verkehrsplanung von Frauen und Männern nicht verallgemeinerbar, sondern eine Folge der jeweiligen individuellen Lebenssituation sind. So können Männer als auch Frauen – wenn sie sich in einer ähnlichen Lebenssituation befinden – auch dieselben Ansprüche, räumlich wie zeitlich, an die Verkehrsplanung haben.

Zu diesem neuen Denkansatz haben das veränderte Rollenverständnis in Zusammenhang mit der zunehmenden Erwerbsarbeit von Frauen und der Wegfall der traditionellen Rollenverteilung beigetragen. Die Differenzen zwischen den bisher typischen Rollenverteilungen nehmen zunehmend ab. Auch Männer gehen z.B. vermehrt „frauentypischen" Aufgaben nach und haben ähnliche Anforderungen an die Verkehrsinfrastruktur wie Frauen. Eine „gender"-gerechte Verkehrsplanung ist also eine beide Geschlechter betreffende und gleichberechtigende Planung, die auf unterschiedliche Lebenssituationen und auf die hieraus resultierenden Ansprüchen eingeht. Sie ist ein umfassender Ansatz, der sich nicht auf die ausschließliche Berücksichtigung der Frauenbelange einengt.

In der Verkehrsplanung ist dieser Ansatz bisher nur wenig bekannt. Zu den Ansprüchen, die sich aus verschiedenen sozialen Rollen ergeben, gehören beispielsweise die Bildung von komplexen Wegeketten oder die Benutzung des ÖPNV außerhalb der Taktzeiten des Berufsverkehrs. Nur im Idealfall ergibt sich eine Wahlfreiheit bezüglich der Verkehrsteilnahme, unabhängig von der sozialen Rolle, die eine Person einnimmt (siehe Tab. 9.2).

Die Merkmale „Versorgungssituation, Alter, Bewegungssituation und Berufstätigkeit" sind diejenigen Merkmale, die für die Mobilitätssituation eines Menschen fundamental sind. Erhöhte Ansprüche ergeben sich aus der Kombination von Merkmalen. Berufstätigkeit und Familienversorgung erfordert beispielsweise die Bildung von Wegeketten und die verkehrliche Anbindung entsprechender Einrichtungen wie Kindergärten, Krankenhäuser oder Seniorenwohnheime.

Aufgrund der Förderung des so genannten „Gender-Mainstreaming" durch die EU und ihre Mitgliedsstaaten, wodurch Gender-Aspekte in alle Entscheidungsprozesse integriert werden sollen, wird sich dieser Denkansatz und seine Umsetzung auch zunehmend in der Verkehrsplanung durchsetzen, zunächst sicherlich durch die Ausschreibung von Projekten, in denen die Berücksichtigung von „gender" nachgewiesen werden muss.

9.3 Diskursive Methoden

9.3.1 Multikriterielle, diskursive Bewertung

Unter Diskurs wird eine ideale, strukturierte Kommunikation verstanden, die der kooperativen Wahrheitssuche und der Verständigung dient. Er ist eine prinzipiell uneingeschränkte zwanglose Kommunikation. Diskursive Methoden kommen zum Einsatz, wenn über die technischen Fakten hinaus eine Bewertung – basierend auf den Maßstäben und Präferenzen von Betroffenen – der Wirkungen einer neuen Technik von politischen oder grundsätzlichen Planungsentscheidungen erforderlich ist. Es findet ein Diskussionsprozess zwischen Experten und Betroffenen statt, der auf bestimmten Regeln basiert wie Offenheit im Ergebnis, gleiche Rechte und Pflichten für alle Teilnehmer und Rückkopplung der Diskursergebnisse an die Öffentlichkeit. Ein diskursiver Prozess kann die Akzeptanz der Entscheidungsergebnisse fördern und die Nachvollziehbarkeit der

Argumente erhöhen (siehe Tyroller/Kastenholz, 2003). Durch diskursive Verfahren wird die Entscheidungsfindung strukturierter, nachvollziehbarer und transparenter. Unterschiedliche Verfahren wurden entwickelt und in der Praxis erprobt (siehe Kap. B 9.3.2).

Eine Bewertung dient dem Zweck der Entscheidungsvorbereitung. In der Praxis wird jedoch oft die Entscheidungshilfe mit der Entscheidung selbst verwechselt. Das Ergebnis einer Bewertung kann ein Vergleich oder eine Rangfolge verschiedener Prozesse, Projekte oder Handlungen sein. Eine Bewertung wird anhand von Kriterien durchgeführt, die für eine Entscheidung maßgeblich sind und anhand deren Erfüllung eine Maßnahme gemessen wird. Bei einem diskursiven Bewertungsverfahren diskutieren die Beteiligten in einem offenen Dialog die Kriterienauswahl, deren Rangfolge und Gewichtung. Anhand der Gewichtung und der Bestimmung des jeweiligen Erfüllungsgrades der ausgewählten Kriterien bezüglich der zu bewertenden Maßnahme kann eine Rangfolge und somit ein Vergleich ermittelt werden. Die Auseinandersetzung um die Kriterien ist eine ertragreiche Form der Kommunikation, die für die Beteiligten neue Blickwinkel und Aspekte eröffnen kann.

Für eine Bewertung werden unterschiedliche Kriterienarten herangezogen. Es wird zwischen quantitativen und qualitativen Kriterien unterschieden, wobei die quantitativen Kriterien messbare Größen enthalten und sich die qualitativen Kriterien dem Gemessen-Werden insoweit entziehen, als sie nicht ohne die Bestimmung einer gemeinsamen Bewertungsbasis verglichen werden können. Außerdem können Kriterien unter dem Aspekt, ob sie in geldwerte Größen umgerechnet werden können bzw. ob dieses nicht möglich ist, noch weiter differenziert werden (monetarisierbare und nicht monetarisierbare Kriterien, siehe Tab. 9.3).

Bewertungsverfahren werden im Verkehrswesen durchgeführt, um den Bedarf und die Notwendigkeit von Maßnahmen zu prüfen und festzustellen. Der Nachweis des sinnvollen Umgangs nicht nur mit Finanzmitteln der öffentlichen Hand, sondern auch mit den natürlichen Ressourcen und dem künstlichen Kapital wird laufend bedeutender.

Bewertungen beruhen in der Verkehrsplanung im Wesentlichen auf quantitativen Kriterien, die einfach handhabbar und vermeintlich eindeutig sind. Um der Komplexität von Grundsatzentscheidungen in der Verkehrsplanung gerecht zu werden, sind zusätzliche qualitative Kriterien heranzuziehen, da das Verfahren damit flexibler und realitätsnäher wird. Anliegen der TA ist es hierbei, auch solche qualitativen Kriterien in die Entscheidungsfindung einzubeziehen, die sich einer Umwandlung in quantitative Größen über den Umweg der Monetarisierung entziehen. Der Streit zwi-

Tabelle 9.3 Kriterienarten und Beispiele

Kriterienart	Beispiel
monetarisierbar-quantitativ	Streckenlänge, Arbeitsleistung
nicht-monetarisierbar-quantitativ	Menschenleben, Kulturschätze, religiöse Stätten, Farben und Formen
monetarisierbar-qualitativ	Wirkung auf Erlöse, Konsumneigung
nicht-monetarisierbar-qualitativ	Landschaftsstörwirkung, Akzeptanz

schen verschiedenen Disziplinen über die Monetarisierungsfähigkeit von höher rangigen Gütern oder emotionalen Bezügen (vgl. Steierwald u. Nehring, 2000) kann hier nicht erörtert werden, es sollte aber darauf hingewiesen werden, dass eine Beschränkung auf die scheinbar leicht handhabbaren, monetären Kriterien das Qualitätsniveau eines Expertenvotums in der Regel nicht erreicht und die Planung angreifbar macht.

9.3.2 Partizipative Verfahren

Für die Durchführung von Partizipationsverfahren wurden unterschiedliche Formen erarbeitet und weiterentwickelt. Sie entstanden aus der Unzufriedenheit mit den gesetzlich normierten Beteiligungsformen, die insbesondere bei umweltrelevanten Entscheidungen, z.B. der Energie-, Verkehrs- und Abfallpolitik zunehmend als ungenügend empfunden wurden (siehe Beckmann u. Keck, 1999). Der Teilhabe von Bürgern an Entwicklungen und Entscheidungsprozessen wird ein immer höherer Stellenwert beigemessen. Es besteht die Chance, im Voraus Konflikte zu identifizieren und die vorgeschlagenen Maßnahmen entsprechend zu modifizieren. Zunehmend werden Kenntnisse dieser partizipatorischen Verfahren seitens der öffentlichen Auftraggeber von den Planenden erwartet; außerdem setzen inzwischen alle bekannten Auftraggeber von Großprojekten der Forschung in Deutschland und die Rahmenprogrammforschung der EU die Einbeziehung von diskursiven und partizipativen Elementen voraus.

In den Planungsgesetzen werden Beteiligungsverfahren zwar formal vorgeschrieben (z.B. nach § 3 Abs. 1 BauGB), jedoch wird der genaue Verfahrensablauf nicht konkretisiert. Sie finden zu einem Zeitpunkt statt, an dem die Planungen schon weit vorangeschritten und eine Einflussnahme auf Entscheidungen kaum mehr möglich ist. Außerdem werden die Bürger nicht in die Zielfindung einbezogen, da sie laut Gesetzestext nur über die Ziele und Zwecke und voraussichtliche Auswirkungen der Planung zu unterrichten sind. Die von den Kommunen durchgeführten Verfahren gleichen oft eher einer Öffentlichkeitsarbeit und Informationsbereitstellung und stoßen auf wenig Resonanz. Von vielen Planungsverantwortlichen werden sie wegen des zusätzlichen Zeitaufwandes eher kritisch gesehen, da eine Verzögerung von Planungsvorhaben befürchtet wird. Vorteile wie die Erhöhung der Akzeptanz von Planungen und Maßnahmen, eine Hilfestellung für das Aufzeigen von langfristigen Planungsfolgen und die Optimierung von Planungsergebnissen sind oft zu wenig bekannt. In den letzten Jahren ist in den Kommunen jedoch eine zunehmende Bereitschaft zur Initiierung solcher Verfahren erkennbar, die über den gesetzlich vorgeschriebenen Rahmen hinausgehen. Es wird erkannt, dass die betroffenen Bürger den Planungsvorgang um noch nicht geführte Argumentationen und neue Sichtweisen ergänzen und Fehlplanungen somit vermieden werden können. Der finanzielle Mehraufwand eines Beteiligungsverfahrens kann so wieder ausgeglichen werden (zu den Kosten siehe Langer u. Oppermann, 2003).

Der Öffnung von Planungsprozessen gegenüber den betroffenen und beteiligten Bürgerinnen und Bürgern kommt in der kommunalen Verkehrsplanung ein hoher Stellenwert zu, da sie stark mit Emotionen verknüpft ist und oftmals im Zentrum gesellschaftlicher Konflikte steht. Wichtig ist die Durchführung der Verfahren nach dem Prinzip der Repräsentativität, nach dem alle Betroffenen gleichberechtigt beteiligt sein sollen. Theoretische Basis sind die Arbeiten von Jürgen Habermas, der seit den sechziger Jahren die Grundlagen für einen „herrschaftsfreien Diskurs“ als Mittel der demokratischen Sach-Auseinanderset-

zung gelegt hatte. Die Wuppertaler Schule um Peter Dienel und Elmar Wienhöfer brachte dieses Mittel in Planungsprozessen zur Anwendungsreife. Die stark soziologisch geprägte Debatte hat bedauerlicherweise ohne die Beteiligung von Verkehrsplanern stattgefunden, so dass die Nutzung in der Verkehrsplanung noch nicht die angemessene Breitenwirkung entfaltet hat. Es ist jedoch abzusehen, dass zukünftig Planungsprojekte und Projekte der Technikentwicklung ohne Diskurs und Partizipation keine öffentliche Förderung mehr erfahren werden.

Die Wahl des geeigneten Partizipationsverfahrens richtet sich nach der Fragestellung und dem Ziel eines Projektes sowie auch nach dem finanziellen und zeitlichen Spielraum. Im Folgenden werden unterschiedliche Verfahren, die alle über den gesetzlichen Rahmen hinausgehen, mit ihren wesentlichen Merkmalen vorgestellt, die die Erfahrungen der Praxisarbeit widerspiegeln.

In einem *Bürgerforum* finden sich Gruppen von ca. 25 Bürgern zusammen, die vorher per Zufallsverfahren ausgewählt wurden. Sie müssen sich für zwei bis fünf Tage von ihren Verpflichtungen freistellen lassen und werden dafür entsprechend entschädigt. Es werden Empfehlungen zu Bewertungs- oder Planungssystemen erarbeitet. Kleingruppenarbeit (ca. fünf Personen je Gruppe) und Plenumsphasen wechseln sich nach einem vorher festgelegten Ablaufplan ab, der auch die Aufgabenstellungen enthält. Ein Informations-Input erfolgt durch entsprechende Experten. Die Ergebnisse mit Handlungsvorschlägen und Entscheidungsanregungen werden in einem „Bürgergutachten“ zusammengefasst und der Öffentlichkeit vorgestellt. Dem Bürgerforum eng verwandt ist der so genannte *Nutzerbeirat*, dessen Besonderheit in der Aufgabenstellung liegt: Votum des Forums ist nicht ein möglichst umfassender Bericht über ein weit greifendes Problem, sondern die Beurteilung der Nutzbarkeit eines bestimmten Gegenstandes oder Prozesses (vgl. Wienhöfer et al., 2002), z.B. die Ansprüche eines Fahrgastbeirats an die Beförderungsqualität oder die Einsatzfähigkeit von verkehrstelematischen Diensten.

Das Verfahren der *Fokusgruppe* eignet sich, wenn Einstellungen zu bestimmten Themen erhoben werden sollen. In einer moderierten und auf einen bestimmten Inhalt hin fokussierten Gruppendiskussion (ca. sechs bis acht Teilnehmer) werden diese erarbeitet. Auch hier erfolgt entsprechend der Thematik ein Input durch Experten. Das Stimmungsbild wird von etwa sechs Gruppen parallel erhoben.

Um die Einschätzung von Problemen und die Entwicklung von Zukunftswünschen geht es bei der *Konsensuskonferenz*, deren Hauptmerkmal das Laien- oder Bürgerpanel (12-30 Teilnehmer) ist. Zur Vorbereitung dienen zwei Wochenenden, auf denen neben der Einarbeitung in die Thematik auch 10 bis 25 Referenten ausgewählt werden. Diese werden dann auf einer öffentlichen Konferenz angehört und befragt. Schlussfolgerungen werden in einem Bericht zusammengefasst und dem Konferenzpublikum und den Medien vorgestellt.

Seit den ersten deutschen Anwendungen in Hagen und Solingen zu Ende der siebziger Jahre gehört die *Planungszelle* zu den Standardverfahren (vgl. Dienel, 2003). Sie unterscheidet sich von der offenen Planungswerkstatt durch ihren definierten Arbeitsauftrag und die kontinuierlichen Beiträge eines konstanten Teilnehmerkreises: Zusammen mit den beteiligten Fachleuten und unter Betreuung durch einen Moderator erarbeiten die anwohnenden Bürgerinnen und Bürger einen Vorschlag für die Gestaltung ihrer Umgebung. Plätze, Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung und Quartierbegrünungen sind typische Anwendungsfälle (siehe Tab. 9.4).

Bei Konfliktsituationen kann ein so genanntes *Mediationsverfahren* eingesetzt werden. Auf dem Verhandlungsweg wird mit Hilfe

eines neutralen Dritten eine möglichst einvernehmliche Lösung seitens der Konfliktparteien angestrebt bzw. mindestens der Dissens präzisiert. Die Teilnehmerzahl ist auf 25 bis maximal 30 Personen beschränkt.

Der *Runde Tisch* kommt oftmals bei konkreten Planungsverfahren zum Einsatz, denen ein latenter Konflikt zugrunde liegt. Vertreter der vom Konflikt betroffenen Interessengruppen sowie Experten setzen sich zusammen, um gleichberechtigt Lösungen zu diskutieren. Das Verfahren wird von einem Moderator begleitet. Wichtig ist, dass jede Interessengruppe durch eine gleiche Anzahl von Teilnehmern vertreten wird.

Die *Gruppen-Kurzbewertung* ist ein einfaches, formalisiertes Verfahren, das als eine Art Miniatur-Szenario (zu Szenarien siehe Kap. B 4) gehandhabt wird. Die Gruppen-Kurzbewertung formuliert in Teilgruppen die mit den Alternativen zu einem Vorhaben bzw. Votum verbundenen Zielvorstellungen, bildet zu diesen Zielen geeignete, rein qualitativ zu handhabende Kriterien, ordnet diesen Kriterien Wertigkeiten zu und bewertet schließlich die einzelnen Alternativen anhand ihres Kriterienwertes (siehe Tabelle 9.5). Charme dieser Methode ist es, dass die Arbeit in Kleingruppen unter Zeitdruck und der anschließende Vergleich der Ergebnisse aller Kleingruppen rasch

Tabelle 9.4 Übersicht über die in der Stadtverkehrsplanung wichtigsten partizipativen/diskursiven Verfahren. *Nach Langer und Oppermann (2003) ist von einer Laufzeit des Gesamtprojekts von mindestens 4 Monaten auszugehen.

	Bürgerforum und Nutzerbeirat	**Planungszelle**	**Runder Tisch**	**Gruppenkurzbewertung**
Einsatz	Votum zu einem komplexen Problem	Umsetzung einer Gestaltung vor Ort	Konfliktlösung	Votum in einem einfachen Fall
Teilnehmer	Zufallsauswahl	Beteiligte	Betroffene	spontane Zusammensetzung
Experten	Anhörung	Begleitung	ggf.Teilnehmer	keine oder zufällig anwesend
Moderator	unabhängige Institution	Fachleute	Institution / Fachleute	„unbeteiligte Autorität“
Kosten	hoch	mittel bis hoch	niedrig bis mittel	sehr gering
Zeitbedarf	5 Tage zzgl. Vor- und Nachbereitung*	Planungszeitraum*	1 Tag möglich	sehr gering, 1-2 Stunden möglich
Beispiele	Leitlinien Verkehrsentwicklung, Votum Nutzerbedingungen	Gestaltung einer Fußgängerzone / eines Innenhofs	Streit über Anlagenstandort / um Lärmbelastung	Trassenvorauswahl, Farbgebungen, Orientierungsvotum
Nachteile	sehr anspruchsvolles Verfahren, hohe Anforderungen an Experten.	hohe Anforderungen an Experten.	juristischer Aufwand evtl. hoch, geringe Flexibilität.	nur sehr unscharfe Kriterienbildung möglich, geringe Bindungswirkung
Vorteile	hohe Aussagekraft	sehr guter Ertrag, identifikationsstiftend	rasche Einigung möglich, hohe Bindungswirkung	sehr flexibel, als Orientierungsvotum nutzbar

Klarheit über die mit einem Vorhaben oder Votum verbundenen Zielvorstellungen ermöglicht.

Als zentrales Problem des Bürgerforums, des Nutzerbeirats und teilweise auch anderer Verfahren wurde die Umsetzung der Fachprobleme in diskursfähige und vermittelbare Themen und Fragestellungen erkannt. Die Erfahrungen von Experten im Zusammenhang mit Diskursen aus den Aktionen der Lokalen Agenden sowie mit formellen Bürgerbeteiligungen sind teilweise unbefriedigend und haben in vielen Fällen eine Art Aversion und „Civophobie“ hinterlassen. Während das Problem, dass sich Fachleute bei Bürgerbeteiligungen quasi vorgeführt und stellvertretend für Mängel in der Planung stark emotional angegangen fühlen, noch durch eine gute Moderation und eine stringente Anwendung von Spielregeln behoben werden kann, setzt die fachgerechte Übersetzung von Fragestellungen und Voten die Bereitschaft der Moderatoren zu einer inhaltlichen Auseinandersetzung mit den für sie meist fachfremden Disziplinen der Verkehrsplanung voraus. Hierfür sind selten Zeit und Mittel in ausreichendem Umfang vorhanden; dies hat zur Folge, dass die erzielten Voten Gefahr laufen, in Beliebigkeit zu enden. Zur Vermeidung solcher Fehlleistungen ist die Einschaltung eines erfahrenen Mentors zu empfehlen, der zwei wichtige Aufgaben erfüllt: die Durchführung eines dem eigentlichen Verfahren vorgeschalteten Expertenworkshops und die Beratung des Plenums während des Verfahrens und der abschließenden Votenformulierung. Der Mentor sollte aus dem Kreis der Fachleute gewonnen werden, die über Erfahrungen mit qualitativ hochwertigen Partizipationsverfahren verfügen und im Verfahren selbst eine unabhängige Position einnehmen können. Diese Methode des Mentor-gestützten Forums (Beirats) ist erprobt und hat einen sehr guten Ertrag, auch und gerade für die beteiligten Experten.

Tabelle 9.5 Gruppen-Kurzbewertung: Beispiel für eine Bewertungstabelle beim Vergleich zweier Trassen

				Trasse „Feld“		***Trasse „Wald“***	
Ziel	**Rang**	**Kriterium**	**Wert**	**Kriterien-wert**	**Bewertung**	**Kriterien-wert**	**Bewertung**
Landschafts-qualität	2	Verträglich-keit	4	2	8	5	20
Finanz-ressourcen	3	Kosten	2	5	10	1	2
Wohnqualität	1	Lärm	5	1	5	4	20
				Summe	23	**Summe**	42

9.4 Ausblick und Anforderungen

Mit der Befreiung von der Mühe des Rechnens infolge der elektronischen Revolution konnte sich der Verkehrsplaner neu positionieren. Seine Aufgaben wandelten sich von der Sicherung des technischen Systems Verkehr hin zu einer umfassenden Betrachtung des Systems und seiner Bezüge. Diese Kompetenzen gehören zum selbstverständlichen Know-how der Verkehrsplanung. Es ist aber absehbar, dass in Zukunft weitere Aufgaben auf die Planer zukommen: Die integrierten Konzepte werden zu multikriteriellen Strategien erweitert, die auch die Umsetzung und Vermittlung der gewonnenen Lösungen enthalten werden müssen. Um diese Erweiterung zu meistern, bedarf es nicht nur einer fundierten Kenntnis der anerkannten Werkzeuge des Planenden, sondern auch der Methoden, die zur Transparenz der planerischen Ergebnisse beitragen. Von den Planern verlangen öffentliche Auftraggeber zudem zunehmend die Kenntnis partizipativer Planungsmethoden. Allgemein geht der Trend zu mehr „Kommunikation“, d.h. es wird die Anwendung von Methoden gefordert, die die Lösungsentwicklung diskursiv und strukturiert erschließen und die Anschaulichkeit der Ergebnisse verbessern.

In diesem Zusammenhang ist auch von den Planenden selbst eine neue Offenheit gegenüber den zunehmend komplexen Aufgabenstellungen zu fordern. Der große Vorteil der tradierten Methoden besteht darin, die Komplexität zu reduzieren, indem die wichtigen Einflussgrößen identifiziert werden und aus diesen Kriterien in einem *formalisierten* Prozess eine Lösung generiert wird. Die in diesem Kapitel beschriebenen TA-basierten Methoden der Stadtverkehrsplanung sollen dazu beitragen, das geforderte Mehr an Komplexität in die Planung aufnehmen zu können, ohne die notwendige fachliche Stringenz einzubüßen. Inwieweit derartige Erkenntnisse in Zukunft Eingang in den Planungs*alltag* finden werden, ist derzeit noch offen (siehe Martens u. Pauls, 2001). Mit Sicherheit wird die Stadtverkehrsplanung solche Aspekte unter dem Druck der politischen Vorgaben und Erwartungen vermehrt berücksichtigen müssen.

Die Befassung mit solchen Verfahren ist nicht zuletzt eine Frage der Marktbehauptung. Wer sie nicht beherrscht, wird sich der Zuarbeit externer Experten nicht nur dort versichern müssen, wo dies z.B. die hochwertige unabhängige Moderation erfordert. In den letzten Jahren ist zudem das Bewusstsein für die Bedeutung interdisziplinärer Projektansätze auch und gerade in der Stadtverkehrsplanung gewachsen. In der Konkurrenz um öffentliche Aufträge werden solche Arbeitsgruppen erfolgreich sein, die Interdisziplinarität und Nachhaltigkeitsprüfungen nicht nur als „Beiwerk“ betrachten, sondern eine ernsthafte Auseinandersetzung mit diesen Themen erkennen lassen.

Last but not least stellen die TA-basierten Methoden eine gute Ausgangsbasis dar, das Methodenbewusstsein der Verkehrsplanung zu schärfen. Man wird von Forschung *und* Lehre eine weiter gehende und praxisgerechte Methodenentwicklung erwarten.

Literatur

Beckmann, Jens u. Keck, Gerhard (1999): Beteiligungsverfahren in Theorie und Anwendung. Leitfaden der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg. Stuttgart*

Bonnet, Petra (1994): Methoden und Verfahren der Technikfolgenabschätzung: Exotische Hausmannskost? In: Bullinger, 1994

Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.) (1994): Technikfolgenabschätzung. Stuttgart (Teubner)

Grunwald, Armin (2002): Technikfolgenabschätzung – eine Einführung. Berlin

Langer, Kerstin u. Oppermann, Bettina (2003): Verfahren und Methoden der Bürgerbeteiligung in kommunalen Konfliktfeldern. Stuttgart*

Steierwald, Marcus u. Nehring, Marita (2000): Bewertung – ein vernachlässigter Aspekt nachhaltiger Mobilität. In: TAD-Nachrichten, Heft 4, Karlsruhe

TFL, Mitarbeiter Technik-Funktionalität-Lebensqualität (2002): Technikfolgenabschätzung zu Infrastruktursystemen. In: TA-Kontexte, Erfahrungsberichte zur Technikfolgenabschätzung. Festschrift für Diethard Schade. S.119ff. Stuttgart

Tyroller, Alexandra u. Kastenholz, Hans (2003): Zukunftsplanung durch Diskurs. Partizipation in der Technikfolgenabschätzung. In: GAIA 12, Nr. 1

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2000): Richtlinie zur Technikbewertung 3780, Düsseldorf

Wienhöfer, Elmar; Steierwald, Marcus; Geyer, Thomas (2002): Entwicklung von Mobilitätsdienstleistungen, Ergebnisse der Bürgerforen zum Projekt Mobilist. Stuttgart 2002 SchrR Arbeitsberichte der Akademie für Technikfolgenabschätzung Nr. 210*

Weiterführende Literatur

Brenner, Jens; Herrmann, Monika; Nehring, Marita (2000): Alternative Bilder. Stadt- und Verkehrsentwicklung durch diskursive Planung. In: Der Gemeinderat, Heft 6, S. 52-53

Brenner, Jens; Herrmann, Monika; Nehring, Marita (2000): Optimierte Planungen. Partizipation und Szenariotechnik in der Stadt- und Verkehrsplanung. In: Der Gemeinderat, Heft 5, S. 38-39

Bröchler, Stephan: Wissenschaftliche Politikberatung und Technikfolgenabschätzung und Bewertung (TA). In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Online-Version unter http://www.ta-net-nrw.de

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.) (2000): Bürgerfreundliche und behindertengerechte Gestaltung des Straßenraums. Ein Handbuch für Planer und Praktiker, SchrR direkt 54, Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden, Bonn

Detzer, Kurt A.(2002): Technikfolgenabschätzung und Ingenieurberufe. In: TA-Kontexte – Erfahrungsberichte zur Technikfolgenabschätzung, Festschrift für Diethard Schade, Stuttgart*

Dienel, Peter (2003): Die Planungszelle – der Bürger als Chance. Wiesbaden (VS-Verlag)

Flade, Antje u. Limbourg, M. (Hrsg.) (1999): Männer und Frauen in der mobilen Gesellschaft, Opladen (Leske & Budrich)

Grunwald, A. (Hrsg.) (1999): Rationale Technikfolgenbeurteilung. Konzeption und methodische Grundlagen. Berlin, Heidelberg, New York (Springer)

Martens, Sabine [Red.] (2002): Ergebnisse der Studie „Gendergerechte Verkehrsplanung in Baden-Württemberg“ – Auftrag des Sozialministeriums. Stuttgart. SchrR Arbeitsberichte der Akademie für Technikfolgenabschätzung Nr. 220*

Martens, Sabine u. Pauls, Kerstin (Hrsg.) (2001): Gendergerechte Verkehrsplanung. Slogan, Mode, Utopie oder praxistaugliche Planungshilfe? Stuttgart. SchrR Arbeitsberichte der Akademie für Technikfolgenabschätzung Nr. 206*

Nachhaltige Mobilität (2000): Zeitschrift TA-Datenbank-Nachrichten, Nr. 4/9. Jahrgang Karlsruhe

Nehring, Marita u. Steierwald, Marcus (Hrsg.) (1999): Restriktionen versus Soft-Policies – Verhaltensänderungen im Verkehr. Stuttgart. SchrR Arbeitsberichte der Akademie für Technikfolgenabschätzung Nr. 147*

Petermann, Thomas: Einführung: Technikfolgenabschätzung – Konstituierung und Ausdifferenzierung eines Leitbilds(TA). In: Handbuch Technikfolgenabschätzung. Online-Version unter http://www.ta-net-nrw.de

Petermann,Th. u. Coenen, R. (1999): Technikfolgenabschätzung in Deutschland, Bilanz und Perspektiven. Frankfurt am Main (Campus)

Schlag, Bernhard (Hrsg.) (1999): Empirische Verkehrspsychologie. Lengerich (Pabst)

Socher, Martin (2002): Die Rückkehr des OTA. In: Technikfolgenabschätzung, Nr. 1/11. Jahrgang, S. 73-76

*) vergriffen. Als Online-Version beziehbar über das OPUS-System der Universitätsbibliothek Stuttgart http://elib.uni-stuttgart.de

Teil C
Gestaltung, Entwurf und Bemessung

1 Historische Entwicklung von Verkehrsnetzen

Die Auseinandersetzung mit Geschichte, insbesondere gebauter Geschichte, hat in den letzten Jahrzehnten als Antwort auf die ungestüme, bauliche Zeitzeugen vielfach missachtende Wiederaufbauphase nach dem Zweiten Weltkrieg und nach dem Ende der sich anschließenden Periode der Wachstumseuphorie zunehmend an Bedeutung gewonnen. Der Erhalt tradierter Werte zählt heute zu den anerkannten Zielen auch der Stadtverkehrsplanung und findet in den neueren Regelwerken der Verkehrsplanung und des Straßenentwurfs seinen Widerhall. Begriffe wie „Identität“ und „Orientierung“, als wichtige Kategorien immaterieller Ansprüche des Menschen an die bebaute Umwelt verwendet, kennzeichnen diesen Wertewandel und machen historische Bezüge deutlich, wenn es heißt „Identität entwickelt sich, wenn eine unzweifelhafte Vorstellung von ortsspezifischen oder ortstypischen Eigenschaften aufgebaut werden kann ... Die Erhaltung historischer Bausubstanz ist eine wichtige Möglichkeit zur Förderung dieser Erlebnisebene.“ (FGSV, 1996) In Abkehr von den teils überzogen am Kraftfahrzeugverkehr ausgerichteten Regelentwurfsanforderungen früherer Richtliniengenerationen mit der Folge einer häufig stereotypen und wenig differenzierten Ausbildung von Ortsstraßen steht in den neuen Regelwerken die Entwicklung ortsbezogener Lösungen unter Abwägung sämtlicher Anforderungen an einen Straßenraum im bebauten Umfeld im Vordergrund. Die Vorstellungen über Ortsbezogenheit, lokale Eigenart oder den viel beschworenen „genius loci“ knüpfen dabei vielfach an der Entstehungsgeschichte an und entdecken in ihr Ansätze für ein mögliches Leitthema der Straßenraumgestaltung.

Was hier für den einzelnen Straßenraum beschrieben wird, gilt in größerem Maßstab analog für die Form und Gestalt des Straßen- und Wegenetzes einer Stadt. Denn Straßen- und Wegenetze definieren den Stadtgrundriss. Stadtpläne sind seit jeher vornehmlich Straßenpläne, an denen sich der Ortsunkundige informiert und orientiert. Ein einprägsames und reproduzierbares Stadtgefüge erleichtert die Orientierung. Darüber hinaus bestimmen die Form und die Maschenweite der Verkehrsnetze, die Art der Wege und der Bezug ihrer Gestaltung zu Art und Geschwindigkeit der Verkehrsmittel sowie die Größe und Form des „begangenen“ oder „erfahrenen“ Netzausschnitts das Stadtbild in entscheidendem Maße (Sieverts, 1993). Häufig ist die Gestalt des Straßen- und Wegenetzes das älteste und einzige, letzte Zeugnis der Vergangenheit eines Stadtgebiets, die Eingriffe, wenn überhaupt, nur unter sehr sorgfältiger und umfassender Abwägung verträgt. Blieb die Einheit von Bau- und Grundrissstruktur z.B. der mittelalterlichen Stadt weitgehend erhalten, so betrachtet man diese Orte heute als Kulturgut, die unter Denkmal- oder Ensembleschutz stehen.

Die Rückbesinnung auf das historische Erbe legt eine Unterscheidung der Planungs- und Entwurfsgrundsätze in verschiedene städtische Gebietstypen nahe, die neben der Nutzungsstruktur, Größe und Lage der Gebiete vor allem die Entwicklungsgeschichte als Kriterium heranzieht. Gespür und Verständnis für historische Zusammenhänge verlangen dabei nicht nur eine Analyse der Strukturelemente der jeweiligen Epoche, sondern auch die Kenntnis der Regeln, der gesellschaftlichen Zusammenhänge sowie der technischen und sonstigen Rahmenbedingungen, die ihre Entstehung bestimmten.

Bewegt man sich entlang einem gedachten Schnitt durch eine alte mitteleuropäische Großstadt von innen nach außen und betrachtet die berührten Teilgebiete näher, so ist dies in der Regel gleichbedeutend mit einem Gang durch die Geschichte der im jeweiligen Zeitgeist entstandenen Straßen- und Wegenetze. Vom mittelalterlichen Stadtkern, dessen Strukturen aufgrund der Zerstörungen der Kriege und der baulichen Eingriffe der Nachkriegsära oftmals starke Änderungen erfuhren, führt der Weg durch gründerzeitliche Quartiere zu den neuzeitlichen Großsiedlungen am Stadtrand mit teils verdichtetem Geschosswohnungsbau, teils lockerer Einfamilienhausbebauung.

Im Stadtkern beginnend und die Lupe auf den Untergrund fokussierend, zeigen sich in unseren ältesten Städten bruchstückhaft die Spuren des antiken Straßennetzes der decumani und cardines, der rechtwinklig zueinander gelegenen römischen Straßen, in ihrer ursprünglichen Form häufig zunächst aus einem einfachen Straßenkreuz eines römischen Militärlagers bestehend (Abb. 1.1). Sie gründen auf dem im städtischen Maßstab bei der Kolonialisierung angewandten Prinzip, die landwirtschaftlichen Flächen mit Hilfe eines rechtwinklig zueinander verlaufenden Netzes von Straßen aufzuteilen. Zwei Hauptachsen, der decumanus maximus und der cardo maximus, ragen aus diesen Straßen mit einer größeren Breite heraus. Ihr Schnittpunkt galt als der ideelle Mittelpunkt der Kolonie. Fügte es sich, dass die beiden, die ganze Kolonie durchquerenden Hauptachsen ohne Richtungsänderung in die beiden städtischen Hauptstraßen übergingen, so sah man darin eine glückliche Konstellation. In anderen Fällen nahmen Landstraßennetz und städtisches Straßennetz unterschiedliche Richtungen ein: „War das Gelände abschüssig, so verliefen die decumani horizontal am Hang entlang und die cardines steil den Hang hinauf bzw. hinab; an Gewässern wurden die decumani parallel zum Ufer angelegt und die cardines gingen im rechten Winkel davon ab“ (Benevolo, 1990). Innerhalb der Siedlungen umschließen die Straßen quadratische oder nahezu quadratische Häuserblocks (Mietwohnungen, insulae) mit Flächen zwischen 0,5 und 2,5 ha. Zufahrtstraßen zu Brükken, deren Standorte nicht frei wählbar waren, und aus anderen Gründen nicht geradlinig ver-

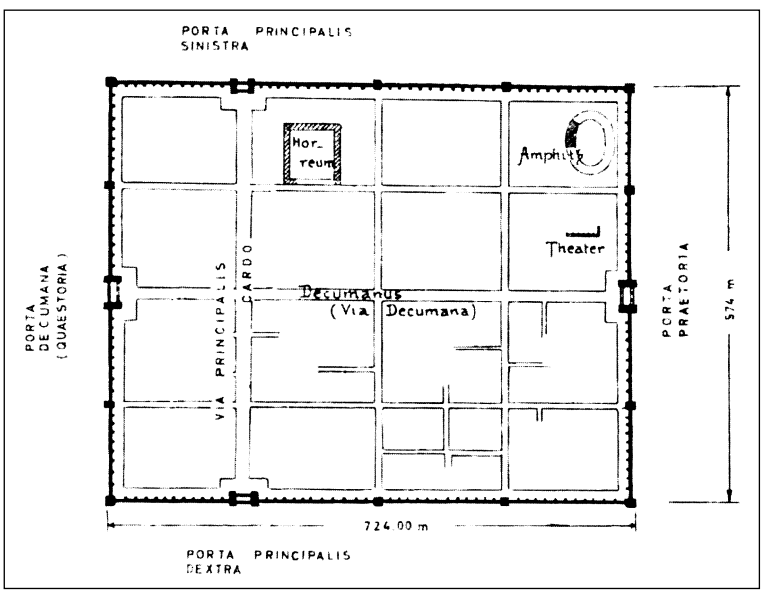


Abb. 1.1 Aosta. Beispiel einer römischen Stadt auf der Grundlage des Lagerschemas. Am Schnittpunkt der beiden Hauptstraßen des Castrums liegen in der Regel die wichtigen öffentlichen Gebäude. (Lehrstuhl für Städtebau und Siedlungswesen, Universität Bonn, 1966)

laufende Straßen unterbrechen die Regelmäßigkeit des Netzes. Hervorgehobene Bauten und der Markt ordnen sich in ihrer Ausdehnung in das Rechtecknetz ein.

Mit dem Prinzip der rechtwinkligen Aufteilung der Siedlungsfläche und dem daraus entstehenden Rasternetz folgen die Römer in einer vereinfachten und standardisierten Form dem in der hellenistischen Welt verbreiteten hippodamischen System. Rechtecksysteme lassen sich zwar bereits in noch wesentlich älteren Siedlungen Mesopotamiens nachweisen, dennoch schreibt man Hippodamos von Milet (5. Jh. v. Chr.) aufgrund der konsequenten und planmäßigen Art, in der die Stadtstruktur bzw. das Wegenetz seinen Vorstellungen nach einem streng geometrischen Prinzip zu folgen hatten, die „Erfindung der gleichartigen Aufteilung der Stadt“ zu. 5 bis 10 m breite Hauptwege werden in Abständen von 50 bis 300 m von kleinen, 3 bis 5 m breiten Nebenwegen mit Seitenlängen bis zu zwei Hausbreiten (30 bis 35 m) im rechten Winkel gekreuzt und formen gleichmäßig bebaute Rechteckflächen (Abb. 1.2). Es entspricht dem Grundgedanken griechischer Stadtanlagen mit ihren vor der „Erfindung“ des Hippodamos meist unregelmäßigen, in die natürliche Landschaft eingefügten Wegen, dass dieses Muster geometrischer Regelmäßigkeit nicht zum starren, unter allen Umständen zu verfolgenden Prinzip erhoben wurde. Durch entsprechende Anpassung des Systems wurde erreicht, dass topographische Erfordernisse berücksichtigt wurden und die nach diesem Prinzip angelegten Städte dennoch ein Stadtbild mit individuellem Charakter und eigener Identität entwickelten.

Im Gegensatz zu einigen südeuropäischen Städten, in deren Zentrum das römische Straßennetz noch heute ablesbar ist, findet man in den Kernbereichen mitteleuropäischer Städte römischen Ursprungs nur noch Andeutungen der römischen Straßenführung (Abb. 1.3). Denn oft laufen die Pfade in den durch die Völkerwanderung zerstörten römischen Siedlungen quer durch die Ruinenfelder, und die mittelalterliche Stadt nimmt die Grundlinien der römischen Gründung nicht wieder auf. Innerhalb der charakteristischen, aus Gründen

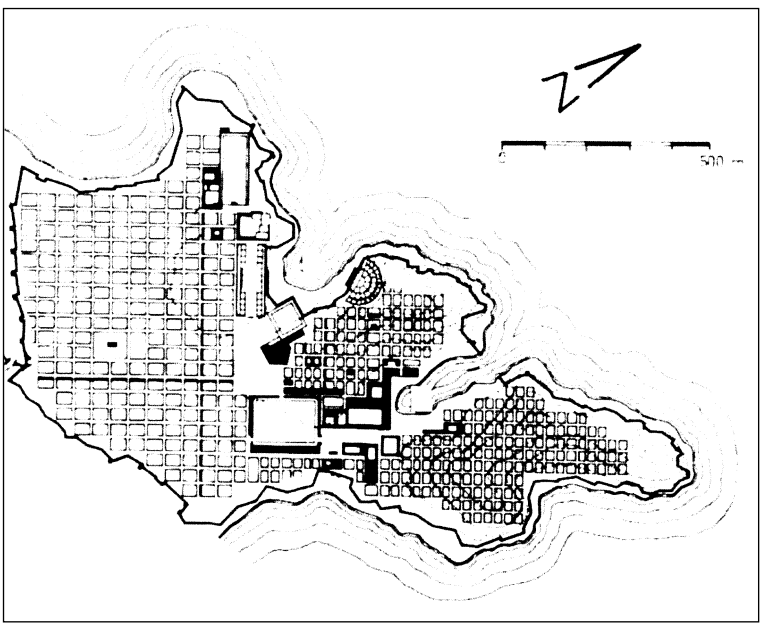


Abb. 1.2 Schachbrettartiges („hippodamisches“) Erschließungssystem. Plan für den Wiederaufbau von Milet nach Hippodamos im 5.Jh.v.Chr.: Im Zentrum Anlagen des Gemeinbedarfs um freigehaltene Flächen; große insulae im Flachland; kleine insulae am Hang mit Höhenstaffelung der Wohnbauten.
(Lehrstuhl für Städtebau und Siedlungswesen, Universität Bonn, 1966)

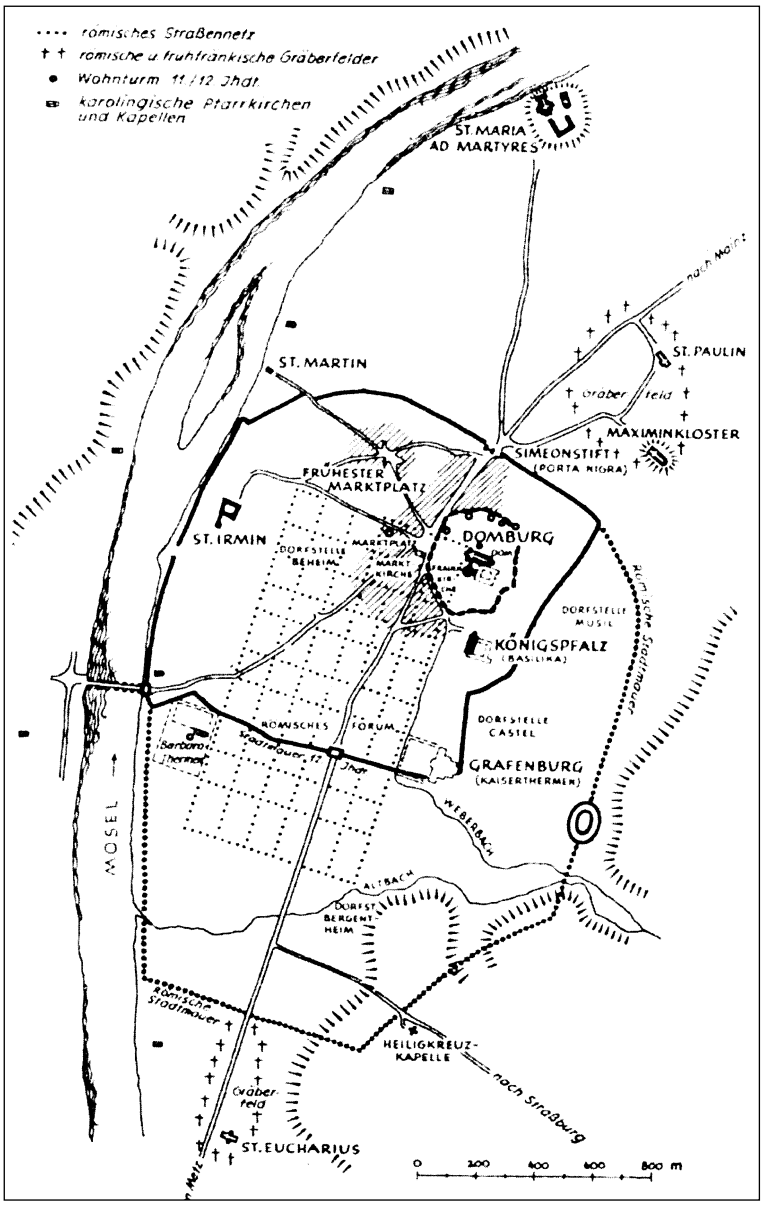


Abb. 1.3 Trier um 1100 über den Ruinen der ehemaligen rasterförmigen römischen Stadtanlage. (Böhme, 1982)

einer besseren Verteidigungsmöglichkeit meist gewählten Ringform der mittelalterlichen Stadt berücksichtigen die Hauptlinien der Erschließung neben der besonderen Ausgangslage jeder Stadt vor allem die Hauptrichtung der Fernhandelswege und die Oberflächengestalt des Stadtgeländes (Abb. 1.4). Die aufgrund ihrer breiteren Abmessungen hervortretenden städtischen Hauptachsen sind an ihren Endpunkten durch die Stadttore verankert. Von dort führt eine Folge ineinander übergehender Straßen- und Platzräume, häufig als Straßenmärkte genutzt, zur Mitte der Stadt mit dem Marktplatz als größtem umbauten Freiraum. Schmale, verwinkelte Gassen und Wege der Zünfte und Gilden, die von den Hauptachsen

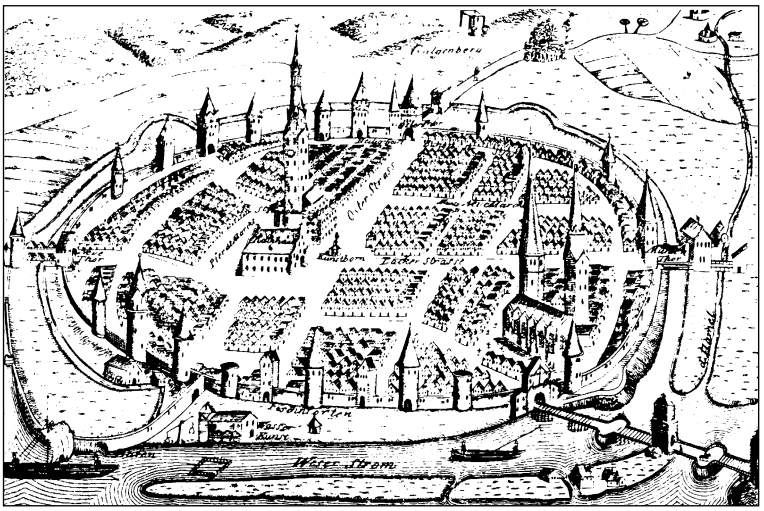


Abb. 1.4 Hameln um 1622. An einem Fernhandelsweg gegründete, ringförmig befestigte mittelalterliche Stadt mit Hauptstraßenkreuz und zentralem Marktplatz. (BMBau, 1983)

abzweigen, bilden das nachrangige Straßennetz. Das oberflächlich betrachtete Bild eines durch Unregelmäßigkeit und Asymmetrie gekennzeichneten Erschließungssystems gewinnt durch den ausgeprägten Unterschied der Abmessungen zwischen den Hauptstraßen und den einmündenden Seitengassen Klarheit und Ordnung, die durch hervorgehobene öffentliche Bauten, oftmals im Zusammenhang mit bedeutenden Freiräumen stehend, eine zusätzliche Steigerung in der dritten Dimension erfährt: „Erhält die Stadt durch dominierende Bauwerke und durchgehende Straßenmarktzüge ihre Eigenart und Übersichtlichkeit, so bringt ihr die Gliederung der Straßenmärkte in räumliche Abschnitte den überzeugenden Maßstab. System und Element werden in der räumlichen Struktur einander so zugeordnet, dass hier Gliederung und Übersichtlichkeit sich nicht ausschließen“ (Gebhard, 1969). Die Bezeichnung Straßenmarkt weist daraufhin, dass die Verkehrsfunktion in den Hauptstraßen der mittelalterlichen Stadt nur eine unter vielen war, die bei den geringen Geschwindigkeitsunterschieden zwischen Fußgängern und den von Tieren gezogenen Wagen noch verträglich abgewickelt werden konnten. Die Hauptachse war Hauptgeschäftsstraße; Hauptstraße wie Seitengassen stellten gleichzeitig aber auch die Fortsetzung des Wohn- und Arbeitsbereichs dar. Eine klare Trennung zwischen Öffentlichkeit und privatem Bereich war unbekannt. Handel und Transport, Aufenthalt und Kommunikation, Versammlungen und Umzüge prägen das Bild der mittelalterlichen Stadtstraße.

Zu den Erschließungsstrukturen der „gewachsenen“ Städte treten am Ausgang des Spätmittelalters zahlreiche neuartige Netzformen von nach völlig anderen Prinzipien gegründeten Städten und Stadtteilen. Mit dem einsetzenden Wandel der gesellschaftlichen Strukturen, der Entstehung und Ausbreitung der Flächenstaaten bei gleichzeitigem Machtverlust der Städte, mit dem aufkommenden Absolutismus in Renaissance, Barock und Klassizismus ändern sich die Rahmenbedingungen grundlegend. Die neuen Leitmotive landesfürstlicher Gründungen sind Macht und Pracht, höfische Präsentation und Repräsentation. Mit der Entdeckung der Perspektive und ihren Regeln verfügt man über ein adäquates Instrument, um der Vorliebe für geometrische Figuren und Proportionen, der Darstellung axialer und symmetrischer Strukturen sowie dem Streben nach baulicher Harmonie aller

Teile zum Ganzen zu entsprechen. Die Erfindung von Schießpulver und Feuerwaffen stellen neue Anforderungen an die äußeren Befestigungen der Städte. Die Veränderungen wirken sich in der inneren und äußeren Struktur der Neugründungen und Erweiterungen aus. Formen des Festungsbaus werden oft zum Ausgangspunkt planmäßiger Stadtanlagen, in denen sich die formale Entwicklung folgerichtig von außen nach innen vollzieht. „Während zunächst alle Aufmerksamkeit dem Festungsstern gilt, der den gesamten Plan optisch dominiert und die charakteristische Gestalt der Anlage bestimmt, wird dem in gleichmäßige Raster aufgeteilten Inneren vergleichsweise wenig Beachtung geschenkt ... eine große Rolle spielen Symmetrieachsen und durch aufeinander bezogene Maße sowie die Anwendung des ‚Goldenen Schnitts' erzielte harmonische Verhältnisse. Deswegen vermitteln diese Pläne den Eindruck von Ausgewogenheit und Ruhe ..." (Jakob, 1990).

Auf Grundlage der geometrischen Grundformen von Kreis und Quadrat entstehen innerhalb der polygonalen Anlage des Festungsbaus Radialstädte mit einem strahlenförmig-konzentrischen Straßensystem oder Vierungsstädte mit einer durch mehrfache Wiederholung des Zentralquadrats streng rechtwinkligen Ausrichtung der Straßen. Häufig wird der fortifikatorische Vorteil des Bastionärssystems der Radialanlage mit dem Vorteil der günstigeren Nutzung rechteckiger statt trapezförmiger Baublockraster kombiniert (Abb. 1.5). Sämtlichen Erschließungssystemen gemeinsam sind geometrisch regelmäßige Stra-

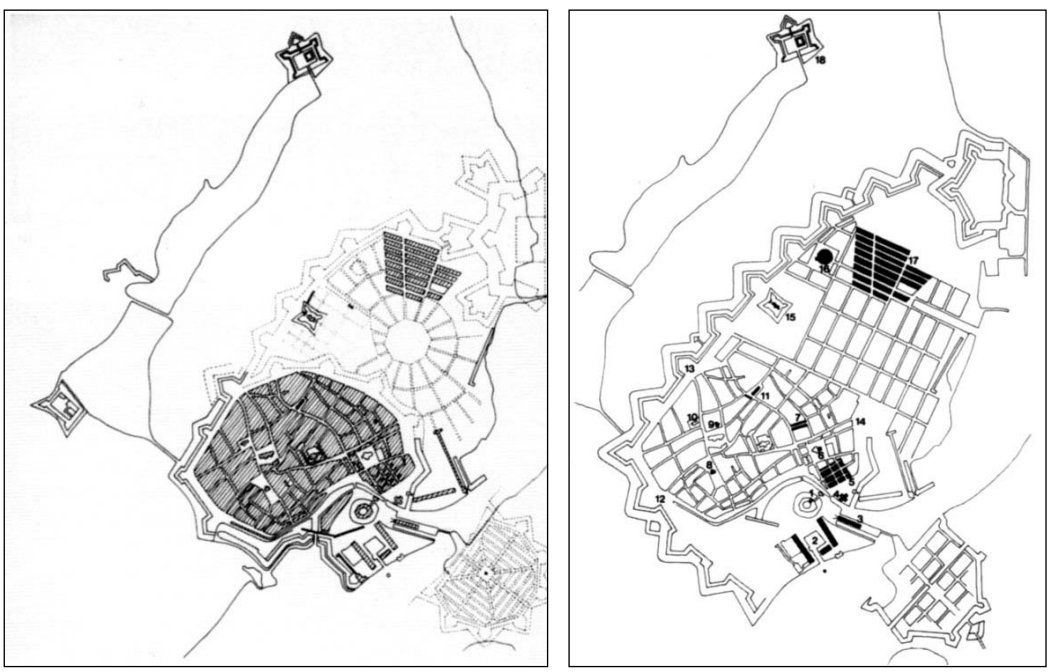


Abb. 1.5 Kopenhagen im 17. Jahrhundert. Deutliche Unterschiede zwischen der eng verwinkelten Netzstruktur der mittelalterlichen Stadt (schraffiert), den projektierten Radialstrukturen (links, punktiert) und dem mit Ausnahme des Radialplanrelikts Nyboder (am nordöstlichen Rand der Stadterweiterung) realisierten rechtwinkligen Straßensystem (rechts) für die nordöstliche Stadterweiterung und die südöstlich gelegene Neugründung Christianshavn. (Jung-Köhler, 1990)

ßennetze; ohne Differenzierung nach Straßenfunktionen sowie die Ausrichtung der Gesamtanlage auf das Zentrum, sei es das Schloss als äußeres Machtsymbol im Mittelpunkt eines radial ausgerichteten Stadtgrundrisses, sei es die Zitadelle, zu der die gesamte Stadtanlage hinweist oder sei es der große Marktplatz, auf dem ursprünglich noch ein Schloss stehen sollte (Abb. 1.6). Wesentlich ist dabei nicht die Individualität der einzelnen Straße, sondern ihre Wirkung als Teil des Ganzen, als einheitliche Linie, die den Blick der Untertanen über lange Straßenachsen von weitem auf den Sitz der Macht hinlenkt. Straßennetzgestaltung und Quartierbildung entspringen rationalen Überlegungen und ordnen sich dem Primat der Einheitlichkeit des Gesamtgefüges unter. Die zentralperspektivisch geordnete Erschließungsstruktur entspricht dem fürstlichen Absolutismus.

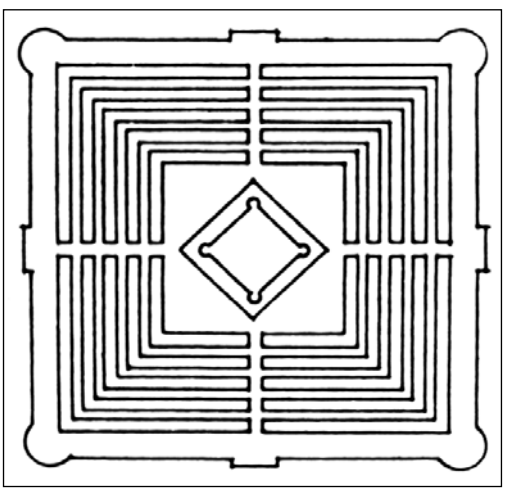


Abb. 1.6 Freudenstadt. Rechtwinkliges Straßennetz in einer durch Wiederholung ineinander geschachtelter Quadrate geplanten Vierungsstadt (Ausführungsplan von Heinrich Schickhardt, 1599). (Böhme, 1982)

Über einen Zeitraum von mehr als siebzehnhundert Jahren verharrt die Entwicklung der mitteleuropäischen Stadt in jenem Bereich, den wir heute als Stadtkern im Sinne der engeren Innenstadt kennen. Entlang der Traverse durch die heutige Stadt befinden wir uns beim Erreichen der Grenzen der Stadt des beginnenden 19.Jahrhunderts in der Regel noch in zu Fuß erledigbarer Entfernung zum Stadtkern. Denn bis in die siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts bestimmt, von einigen Metropolen abgesehen, der Fußgänger die Ausdehnung der städtischen Bebauung und selbst im täglichen Berufsverkehr sind Entfernungen von vier bis sechs Kilometer zu Fuß nicht ungewöhnlich.

Dennoch beginnt mit der Frühindustrialisierung und der zunehmenden Stadtbevölkerung die Erweiterung der Städte in die Fläche, in den ersten Jahrzehnten noch mit kleinen Schritten, da geringer Wohlstand und mangelnde Mobilität die Stadt zusammenhalten, mit der Einrichtung der Eisenbahn ab den vierziger Jahren und, dreißig Jahre später, mit der Ausbreitung der städtischen Nahverkehrsbahnen als neue Massentransportmittel jedoch in immer stärkerem Maße. Die Erweiterungen vollziehen sich in der Regel zunächst eher dispers und ohne einheitlichen Gesamtplan. Sie erfolgen entlang den Ausfallstraßen, sie werden bedingt durch spezielle Standortanforderungen der Industrie oder beeinflusst durch den Bau der Bahnhöfe, die, zunächst meist an der Peripherie der Stadt gelegen, den Ausgangspunkt für das Zentrum und die Entwicklung eines neuen Quartiers bilden (Abb. 1.7), zusammen mit den umfangreichen Bahnanlagen sich bald aber auch als Barriere erweisen. Die Entfestigung, die Schleifung der Befestigungsbauwerke symbolisiert die Aufhebung der scharfen Trennung zwischen Stadt und Land und schafft die Voraussetzungen für die Erweiterung in die Fläche.

Bedeutende Erweiterungs- und Erneuerungsvorhaben in einigen europäischen Metropolen markieren den Beginn des neuzeitlichen Städtebaus und sind mit einer grundlegenden

Abb. 1.7 Bebauungsplan für die Stadt Hameln von Unger und Börgemann aus den Jahren 1890/91. Der Plan stellt die stadträumliche Beziehung zum Bahnhof (am südöstlichen Planeck) her und sieht eine Ausweitung der radial zur Altstadt führenden Straßenräume über die Kernrandzone und die Eisenbahnlinie hinaus vor. Dabei wird vorgeschlagen, die bis dahin noch weitgehend geschlossene Randbebauung der Altstadt am Wall aufzubrechen und die Radialen in die Altstadt hineinzuführen. Charakteristisch für die Planung sind die Ausbildung wichtiger Straßen als Alleen („Boulevards"), die großzügigen, nach geometrischen Regeln entworfenen Grünflächen sowie die Anlage von Schmuckplätzen innerhalb der Grünanlagen. (BMBau, 1983)

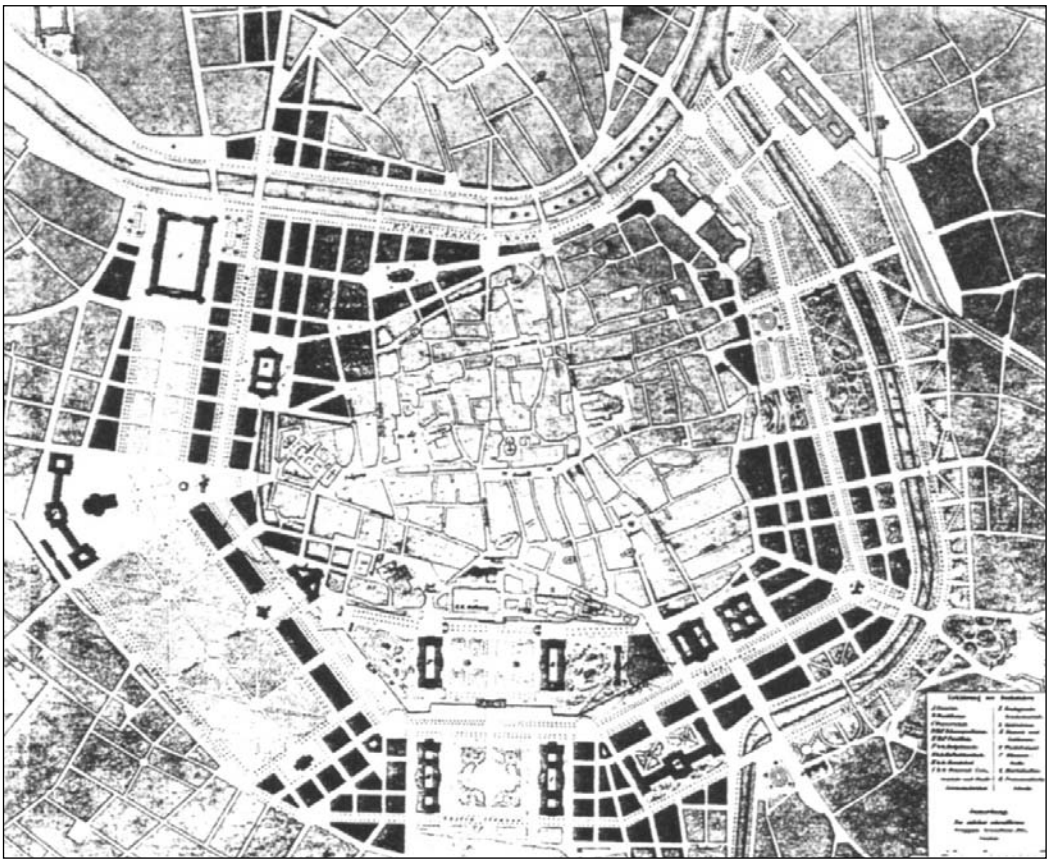


Abb. 1.8 Wien. „Grundplan“ für die Gestaltung der Ringstraßenzone. „Der von Kaiser Franz Joseph I. am 1.9.1859 genehmigte Grundplan bildete den Rahmen für die städtebauliche Entwicklung und die Gestaltung der Ringstraßenzone während eines halben Jahrhunderts und war flexibel genug, um die Integration späterer, teilweise abweichender Lösungen zu ermöglichen.“ (Wurzer, 1974)

Neugestaltung der Straßennetze verknüpft. Der für viele Städte als Vorbild dienende Umbau von Paris (1853-1870) unter Präfekt Haussmann mit großen Durchbrüchen durch die gewachsene Stadt zählt ebenso dazu wie der Wettbewerb für die Wiener Ringstraße (1858-1887) (Abb. 1.8) oder der Bebauungsplan für Berlin (1858-1862) von Hobrecht im Grunde ein reiner Straßenplan, der die überbaubaren Grundstücksflächen im Wesentlichen durch die Ausweisung der Verkehrswege eingrenzt (Abb. 1.9). Die ersten, die Bebauung betreffenden gesetzlichen Regelungen, die Fluchtliniengesetze; der Länder wie das preußische Fluchtliniengesetz vom 2.7.1875, greifen diese Vorgehensweise auf und legen vornehmlich die Baufluchtlinien und damit die Straßenverläufe verbindlich fest. Dies entspricht der ein Jahr zuvor bei den Beratungen der Generalversammlung des deutschen Architekten- und Ingenieurvereins erzielten Übereinkunft, dass bei Stadterweiterungsplänen vor einer Detailbearbeitung zunächst der Rahmen festgelegt werden müsse. Nach der „Feststellung der Grundzüge aller Verkehrsmittel“ soll das Straßennetz „zunächst nur die Hauptlinien enthalten, wobei vorhandene Wege tunlichst zu berücksichtigen sind, sowie

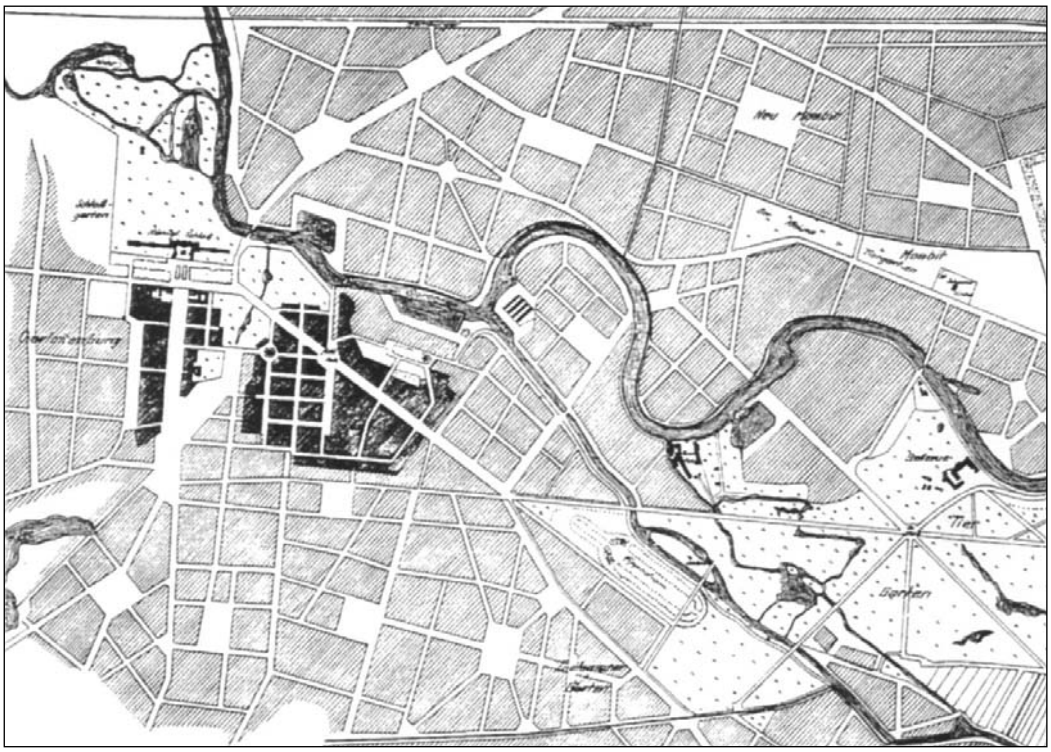


Abb. 1.9 Berlin. James Hobrecht, Ausschnitt aus seinem Bebauungsplan, 1858-1861. (Wurzer, 1974)

solche Nebenlinien, die durch lokale Umstände bestimmt vorgezeichnet sind. Die untergeordnete Teilung ist jeweils nach dem Bedürfnis der näheren Zukunft vorzunehmen oder der Privattätigkeit zu überlassen." (Deutsche Bauzeitung, 1874) Letzteres macht deutlich, dass Netzgestaltung in den Stadterweiterungsgebieten der Gründerzeit mehr im Zusammenhang mit der Bodennutzung und unter dem Aspekt der städtebaulichen Zweckmäßigkeit stattfand, wobei man, den Ausführungen des zeitgenössischen Frankfurter Architekten Gero von Roessler folgend, zwischen „natürlichem" und „künstlichem" System der Stadterweiterung unterscheidet und diese Unterscheidung mit der Art der Anlage der Erschließungsnetze verbindet: „Bei den Stadterweiterungen der neuesten Zeit erkennt man zwei verschiedene Arten ... Die eine Art bestrebt sich, ein System absoluter Regelmäßigkeit des Straßennetzes durchzuführen und damit die vorhandenen Verhältnisse zu vermitteln, die andere lässt aus den vorhandenen Verhältnissen die Form des Straßennetzes gewissermaßen von sich selbst gestalten. Letztere kann man daher als die natürliche im Gegensatz zu der ersteren als der künstlichen bezeichnen." (v. Roessler, 1874)

Reinhard Baumeister, Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe, hat in einem der ersten städtebaulichen Lehrbücher (Baumeister, 1876) die bei Stadterweiterungen verwendeten Prinzipien der Netzgestaltung systematisiert. Drei sich gegenseitig ergänzende Prinzipien lassen sich unterscheiden: das Rechtecksystem, das Dreieck- (oder Diagonal-) System; und das Radial- und Ringstraßensystem. Das Rechtecksystem mit den regelmäßig zugeschnittenen und einfach bebaubaren Einzelparzellen zeichnet sich durch Überschau-

barkeit und beliebige Erweiterbarkeit aus und galt vor allem als das Ordnungsschema für verhältnismäßig kleine Flächen neuer Stadtviertel (Rönnebeck, 1971). Bei großflächigeren Bebauungsplanungen wird versucht, dem Vorwurf der Gleichförmigkeit durch Variation der Blockabmessungen und unterschiedliche Querschnittsausbildung einzelner Straßen zu begegnen. In einigen Fällen wird das Rechtecksystem auch bei Neugründungen angewendet. Mit dem vor allem in den siebziger Jahren propagierten Dreiecksystem sieht man eine Möglichkeit, sich vom herkömmlichen Raster zu lösen und dem zunehmend stärker werdenden Verkehr zu entsprechen, wie aus den Beschreibungen Baumeisters hervorgeht: „Bei Anwendung des Dreiecksystems wird vor allem eine Auswahl von Hauptknotenpunkten des Verkehrs festgelegt ... Hat man eine angemessene Anzahl solcher Haupt-Punkte über das ganze Bau-Gebiet verteilt, so wird jeder derselben mit den zunächst benachbarten durch gerade Linien verbunden. Hierdurch entsteht ein Netz von Hauptstraßen, dessen Figuren im allgemeinen Dreiecke von großen Dimensionen, unter Weglassung einzelner Linien auch wohl Vierecke, sein werden …

Die weitere Unterteilung der Hauptfiguren wird in der Regel nach dem Rechtecksystem vorgenommen, wobei eine Seite des Dreiecks als Basis dient, und somit rechte Winkel mit den Nebenstraßen bildet. ... So kann das System auch definiert werden als ein rechteckiges Netz, in welchem einzelne Diagonalstraßen durchgelegt sind ...“ (Baumeister, 1876)

Offensichtlich wird das Dreiecksystem als das insbesondere für übergeordnete Straßenzüge geeignete Prinzip erachtet, während die Erschließung der Restflächen mit den Nebenstraßen nach dem Rechtecksystem vorgesehen ist. Die Schwierigkeiten bei der Umsetzung des Dreiecksystems in die Praxis, wie beispielsweise dreieckige Bauparzellen oder kompliziertere Straßennetze und Knotenpunkte, werden zwar erkannt und durch entsprechende Vorschläge abzumildern versucht; sie führen jedoch dazu, dass Dreiecksysteme in reiner Form selten realisiert werden, sondern sich häufig Mischformen ausbilden. So wird in vielen Stadterweiterungsplanungen das .Rechtecksystem teilweise durch ein Dreieck- oder Diagonalsystem überlagert. Die Diagonalen verknüpfen wichtige Punkte der Stadt wie etwa öffentliche Gebäude oder bedeutende Plätze auf direktem Wege und weisen, z.B. bei der sternförmigen Anlage der Straßen vor Bahnhofsvorplätzen (vgl. Abb. 1.7), auch ästhetische Reize auf.

Sind Dreieck- und Rechtecksystem die Prinzipien für einzelne Stadterweiterungsgebiete, so ist das Radial- und Ringstraßensystem das für das gesamte Stadtgebiet und seine bauliche Ausdehnung als adäquat angesehene System, das in radialer Richtung den bestehenden, im Allg. strahlenförmig vom Stadtkern ausgehenden Landstraßen- und Feldwegenetz folgt, an welchem vielfach die ersten Bauten vor den Toren der alten Stadt entstanden waren. Diese Art der Entwicklung und dieses System entsprechen den Vorstellungen v. Roesslers (1874) als der „natürlichen“ Art der Stadterweiterung im Gegensatz zu den „in willkürlicher Weise“ entstandenen anderen Systemen. Bei zahlreichen Stadterweiterungen entwickeln sich neue Quartiere denn auch zunächst entlang der Landstraßen und erst in der Folge füllen sich die Zwischenflächen.

Der Gedanke von Querverbindungen zwischen den Radialen lag nahe und eine Fortführung dieser Verbindungen über mehrere Gebiete hinweg musste nahezu zwangsläufig in ein Ringstraßenkonzept münden. Baumeister erkennt im Ringstraßensystem vorausschauend vor allem die Möglichkeit, den anwachsenden Fahrzeugverkehr zu ordnen: „Sowohl der Durchgangsverkehr, als der Verkehr zwischen den einzelnen Vorstädten (wird) ge-

wöhnlich lieber den Umweg einer Ringstraße, als den direkten Weg durch den Kern einschlagen, weil jener angenehmer und freier von Stockungen ist: besonders gilt dieses für Wagen.“ (Baumeister, 1876) Ernst Bruch, ein zeitgenössischer Berliner Statistiker, schreibt dem Ringstraßenkonzept zudem den Vorteil zu, der Stadt wieder ihre geschlossene Form zurückgeben zu können: „Es ist nämlich bei der Aufstellung städtischer Bebauungspläne ein sehr beliebtes Motto geworden, den nach dem voraussichtlichen Bedürfnis der näheren Zukunft nötig werdenden Erweiterungen des Straßennetzes einen harmonischen Abschluss zu geben durch eine große Ring- oder Gürtelstraße;“ (Bruch, 1870). Ringstraßen konnten vielfach auf den aufgelassenen Glacis realisiert werden und so finden wir heute im Verlauf ehemaliger Bastionärsanlagen oft die Hauptverkehrsstraßenzüge des Innenstadtrings oder des inneren Tangentenpolygons. Straßenbezeichnungen in Verbindung mit „Wall“, „Graben“ oder „Gürtel“ erinnern an ihre Entstehungsgeschichte. Ein gewisses Kuriosum bildet die Tatsache, dass die Ringstraßen häufig nicht geschwungen geführt wurden, sondern als polygonförmig zusammengesetzter Straßenzug (z.B. Wien (Abb. 1.8), Köln (Abb. 1.10)).

Eine frühe Form einer Grobkategorisierung des städtischen Straßennetzes nach der Breite und, damit verknüpft, nach der Verkehrsbedeutung einzelner Straßen findet man in den preußischen „Vorschriften für die Aufstellung von Fluchtlinien- und Bebauungsplänen“ vom 25.5.1876, wonach drei Straßentypen unterschieden werden. Neben den Hauptadern mit Breiten nicht unter 30 m gibt es die Nebenverkehrsstraßen von beträchtlicher Länge nicht unter 20 m Breite sowie übrige Straßen mit Breiten nicht unter 12 m (nach Haugarter, 1988). Die Hauptadern werden in Anlehnung an die höfische Promenade des 18. Jahrhunderts vielfach als prachtvoller Boulevard angelegt, der den Bürgern den Rahmen öffentlicher Repräsentation abgibt. Stehen zum Zeitpunkt der Erstellung eher ästhetisch repräsentative Motive im Vordergrund, so weicht dies bei späteren Verkehrsplanungen einer flüssigeren Führung des Verkehrs, was angesichts der breit bemessenen Querschnitte in der Regel keine Schwierigkeiten bereitet. Den Hauptteil der Straßen in den Stadterweiterungsgebieten bilden damals wie heute jedoch die Nebenstraßen. Es war üblich, auch diese Straßen vergleichsweise breit anzulegen, sei es zur Abwehr von Gefahren wie Feuer oder Seuchen, sei es zur Darstellung der Vornehmheit eines Quartiers oder zur „Erleichterung der Communicationen“, d.h. aus verkehrlichen Gründen. Die in den Stadterweiterungsgebieten nach der Jahrhundertmitte noch vorhandene, vielseitige Nutzung der Straßenfläche, die Zurechnung der Straße zum privaten Wohnbereich, weicht erst mit der Industrialisierung und der aufkommenden Mietskasernenbauweise einer Einschätzung der Straße als eher anonyme Fläche, an die der Verkehr im gleichen Zeitraum zunehmend stärkere und neuartige Ansprüche, z.B. hinsichtlich der Geschwindigkeiten, zu stellen beginnt. Dies führt schließlich auch zur baulichen Trennung in Fahrbahn und Gehwege.

Die Maschenweiten der Netze haben mit den Ausdehnungen der insulae der Römerzeit nichts mehr gemein: „Die Stadtverwaltungen bedienten sich bei der Aufschließung neuer Baugebiete häufig einer neutralen Blockgröße, die notfalls alle vorkommenden Arten der Bebauung ermöglichen sollte. Dies führte zur Anlage relativ groß bemessener Baublöcke mit Tiefen von mindestens 100 bis 200 m. ... Mit Hilfe differenzierter Baublockdimensionierung ... versuchte man in zunehmendem Maße, den Nachteilen des großzügig bemessenen Einheitsblocks zu begegnen ... Stadtkernnah gelegene Flächen wurden in der Regel für geschlossene Bebauung vorgesehen. Sie wurden am sparsamsten aufgeteilt, um nicht zu

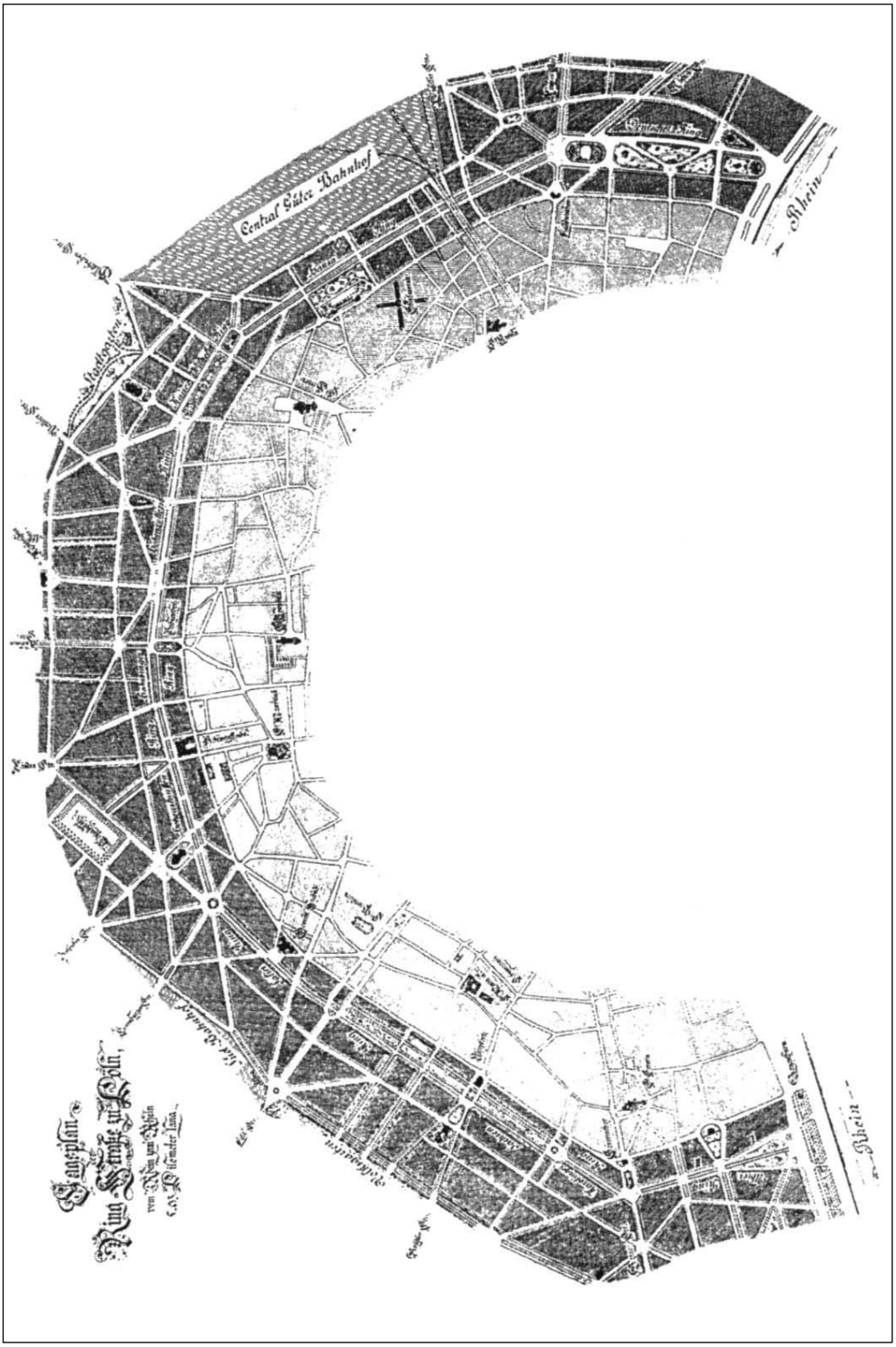


Abb. 1.10 Lageplan der Ringstraße zu Köln. (Stübben, 1881)

umfangreiche Hinter- und Seitenflügelbauten zu begünstigen. Die Blocktiefen bewegen sich hier zwischen 40 und 120 m, im Mittel etwa 60 bis 80 m ...“ (Rönnebeck, 1971)

Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts erscheinen neben den ersten stärker technisch-rechtlich orientierten Werken zum Städtebau (z.B. Baumeister, 1876) Abhandlungen, die sich teils sozialkritisch mit den unerträglichen Verhältnissen in den dicht bebauten Mietskasernenvierteln befassen, teils Gestaltungsfragen der Stadterweiterungen in den Vordergrund stellen. Künstliches oder natürliches System (v. Roessler, 1874), Regelmäßigkeit oder Unregelmäßigkeit, „gerade oder krumme Straßen“ (Stübben, 1893; Rodriguez-Lores, 1983) sind die gegensätzlichen Begriffspaare, mit denen man sich auseinandersetzt.

Insbesondere Camillo Sitte (1889) fordert eine Rückbesinnung auf die historische Stadtbaukunst des Mittelalters und attackiert in seinem Plädoyer für eine Neuorientierung der Gestaltungsgrundsätze die seiner Auffassung nach rein technisch-schematischen Entwürfe für Stadterweiterungen auf das Heftigste: „Moderne Systeme – Jawohl! Streng systematisch alles anzufassen und nicht um Haaresbreite von der einmal aufgestellten Schablone abzuweichen, bis der Genius totgequält und alle lebensfreudige Empfindung im System erstickt ist, ist das Zeichen unserer Zeit. Wir besitzen drei Hauptsysteme des Städtebaues und noch etliche Unterarten. Die Hauptsysteme sind: das Rechtecksystem, das Radialsystem und das Dreiecksystem. Die Unterarten sind meist Bastarde dieser drei. Vom künstlerischen Standpunkt aus geht uns die ganze Sippe gar nichts an, in deren Adern nicht ein einziger Blutstropfen von Kunst mehr enthalten ist. Das Ziel, welches bei allen dreien ausschließlich ins Auge gefasst wird, ist die Regulierung des Straßennetzes. Die Absicht ist daher von vornherein eine technische. Ein Straßennetz dient immer nur der Communication, niemals der Kunst, weil es niemals sinnlich aufgefasst, niemals überschaut werden kann, außer am Plan ...“ (Sitte, 1889)

Die Forderungen Sittes führen zwar zu einer stärkeren Auseinandersetzung mit Gestaltungsfragen, Krümmungen und Biegungen treten an die Stelle des streng geometrischen Straßensystems und geschlossene Platzräume ersetzen die offenen Platzflächen, am Wesen der Bebauung aber ändert sich nichts (Hartog, 1962). Im Übrigen lehnt auch Baumeister später die strenge Geradlinigkeit der Straßenführung ab, ohne allerdings den aufkommenden Funktionswandel städtischer Straßen zu übersehen: „Meines Erachtens verträgt sich zwar jene (alterthümliche) sorglose Unregelmäßigkeit nicht mehr mit unserer Baupolizei und die krumme Linie als Prinzip nicht mehr mit unserem Verkehrswesen, wir sind geradliniger erzogen als unsere Vorfahren, aber auch bei strenger Linienführung lassen sich malerische Bilder erreichen, ähnlich jenen alten Motiven. Vor allem sind gekrümmte und gebrochene Straßen in vielen Fällen geradezu berechtigt, so zum Anschmiegen an wellenförmiges Terrain anstelle der rücksichtslosen geraden Fluchten, wie sie z.B. Stuttgart oder Wiesbaden verunzieren, sodann als Begleitung von gewundenen Wasserläufen, zur landschaftlichen Anlage von Villenbezirken, zur Vermittlung zwischen divergierenden Hauptrichtungen.“ (Baumeister, 1887)

Erste Reaktionen auf die Sozialkritik führen um die Jahrhundertwende zwar zu Ansätzen zur Verbesserung der Wohnbedingungen in den Mietskasernenvierteln der Gründerzeit vor allem durch Regelungen zur Reduzierung der Dichte im Innern der Baublöcke, aber nach wie vor werden die Wohnungen in das durch die Planung vorgegebene Raster der Straßenzüge und Baulinien eingefügt und, während um die Städte herum Landhaus- und Villenkolonien entstehen, plant Otto Wagner noch 1911 für den 22. Wiener Gemeindebezirk ein regel-

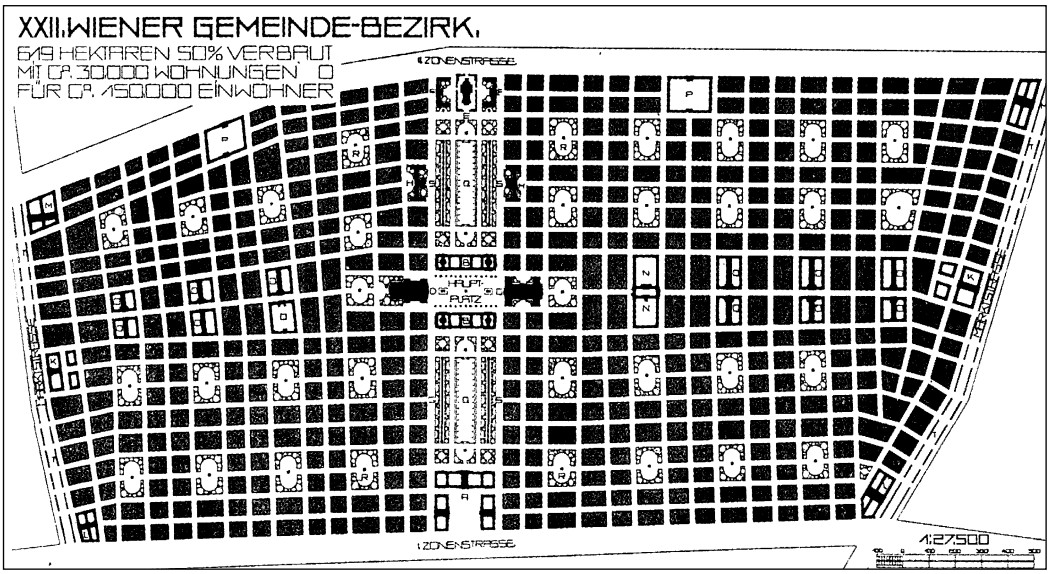


Abb. 1.11 Plan von Otto Wagner für den 22. Wiener Gemeindebezirk. Der Plan gibt die Vorstellung einer modernen Großstadt wieder, bestehend aus regelmäßigen Baublöcken hoher Mietshäuser zwischen einem geometrischen Raster breiter Straßen. (Rainer, 1986)

mäßiges Raster breiter Straßen zwischen geschlossenen Baublöcken aus hohen Mietshäusern (Abb. 1.11).

Dennoch wird zwischen der Jahrhundertwende und dem Ersten Weltkrieg die zunehmende Kritik an der Stadt des ausgehenden 19.Jahrhunderts, an ihrer Dichte, ihrem Freiflächenmangel unüberhörbar, Gartenstadt- und Heimstättenbewegung zeigen erstmalig aufgelockerte, offene Wohnformen, aber erst in den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts werden in stärkerem Maße Überlegungen umgesetzt, die die Reformgedanken der sozialkritischen Betrachtungen der Jahrhundertwende, insbesondere die Gartenstadtgedanken von Howard (1907), aufgreifen.

Auf dem Weg entlang einer Traverse vom Zentrum der Stadt nach außen weicht damit, den Forderungen nach mehr Luft, Licht und Grün entsprechend, die geschlossene Straßenrandbebauung der innenstadtnahen Quartiere der Gründerzeit und der Jahrhundertwende mehr und mehr einer Bebauung, die sich vom Straßenraum löst und eigenständige Formen der Gebäudestellung und – in der Folge – der Gestaltung des Erschließungsstraßen- und wegenetzes entwickelt. Die zur Straße hin offene Zeilenbauweise mit senkrecht zur Straße verlaufenden Wohnwegen beginnt die straßenraumbegrenzende Blockbebauung zu verdrängen (Abb. 1.12). In Radburn/New Jersey wird Ende der zwanziger Jahre ein neuartiges Straßensystem für die Erschließung eines Wohnbezirks vorgestellt, das den Gedanken eines gesunden Wohnumfeldes mit der Einschränkung der Zugänglichkeit durch das Kraftfahrzeug verbindet (Abb. 1.13). Die Grundprinzipien wie Schaffung eines vom Durchgangsverkehr freien Großviertels, die Gestaltung eines Fußwegenetzes, das unabhängig von den Straßen verläuft, sowie das kammförmige Ineinandergreifen beider Erschließungen, wobei Stichstraßen ebenso wie Stichwohnwege von je einem Sammler ausgehen, enthalten Ansätze, die sich heute im Rahmen einer verkehrsberuhigenden Netzgestaltung wiederfinden.

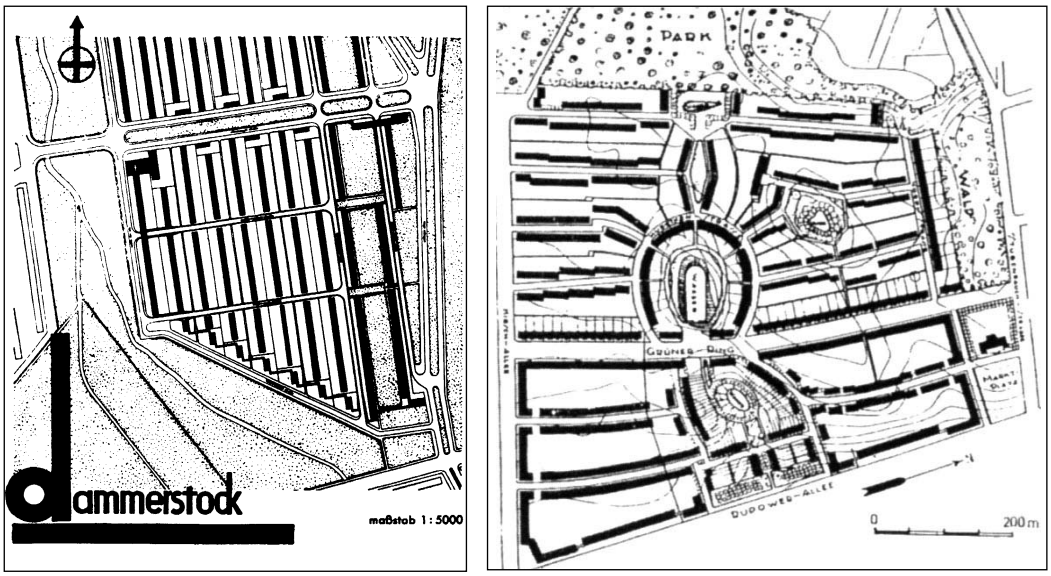


Abb. 1.12 Beispiele für Siedlungsformen und Erschließungsnetze zwischen den Weltkriegen. Dammerstock-Siedlung, Karlsruhe (1929) (links). Quelle: Rainer (1986). Großsiedlung Berlin-Britz, so genannte Hufeisensiedlung (Planung Bruno Taut mit Engelmann und Fangmeyer) (rechts). (Lehrstuhl für Städtebau und Siedlungswesen, Universität Bonn, 1966)

Durch umfangreiche Eingemeindungen vor und nach dem Ersten Weltkrieg wachsen die Städte weiter in die Fläche. Der Ausbau und die steigende Leistungsfähigkeit der öffentlichen und privaten Verkehrsmittel und -infrastrukturen gewährleisten die Erreichbarkeit der Arbeits- und Einkaufsstätten auch von weiter entfernt liegenden Wohnplätzen. Die Ausprägung von Geschäftszentren in den Kernbereichen, von Wohnschwerpunkten in den Vororten und Villenvierteln am Stadtrand, die Ausbildung von Industriebereichen leiten auf eine nach Funktionen gegliederte Stadtstruktur hin. In einem neu entwickelten Planungsverständnis setzt man sich rational mit den Funktionen einer Stadt auseinander und versucht, Flächennutzung und städtische Infrastruktur in geordnete Bahnen zu lenken. Es entsteht eine Reihe von Städtebautheorien und gedanklichen Strukturmodellen, in denen vor allem das Netz der Hauptverkehrsstraßen als strukturprägendes Element hervortritt. Nach Albers (1993) lassen sich drei Grundtypen voneinander unterscheiden: „das an der historischen Stadtentwicklung orientierte, auf ein ausgeprägtes Zentrum bezogene konzentrische Modell mit einem auf dieses Zentrum ausgerichteten System von Radial- und Ringstraßen, das auf einem gleichmäßigen Straßenraster beruhende Modell, das keinen Standort in besonderer Weise begünstigt und daher auf Flexibilität und Austauschbarkeit hin ausgelegt ist, das an Hauptverkehrsträgern (z.B. Straße, Bahn, Kanal) aufgereihte Siedlungsband mit parallel angeordneten Nutzungszonen, die jeweils nahezu beliebig verlängert werden können ..."

Den Hauptverkehrsstraßen gilt angesichts der allmählich zunehmenden Kraftfahrzeugzahlen, insbesondere des wachsenden Lastkraftwagenverkehrs, auch das Augenmerk von Fachvereinigungen, die sich Mitte der zwanziger Jahre bilden, um sich mit den Notwendigkeiten und Problemen des Kraftfahrzeugverkehrs sowohl allgemein, vor allem aber auch

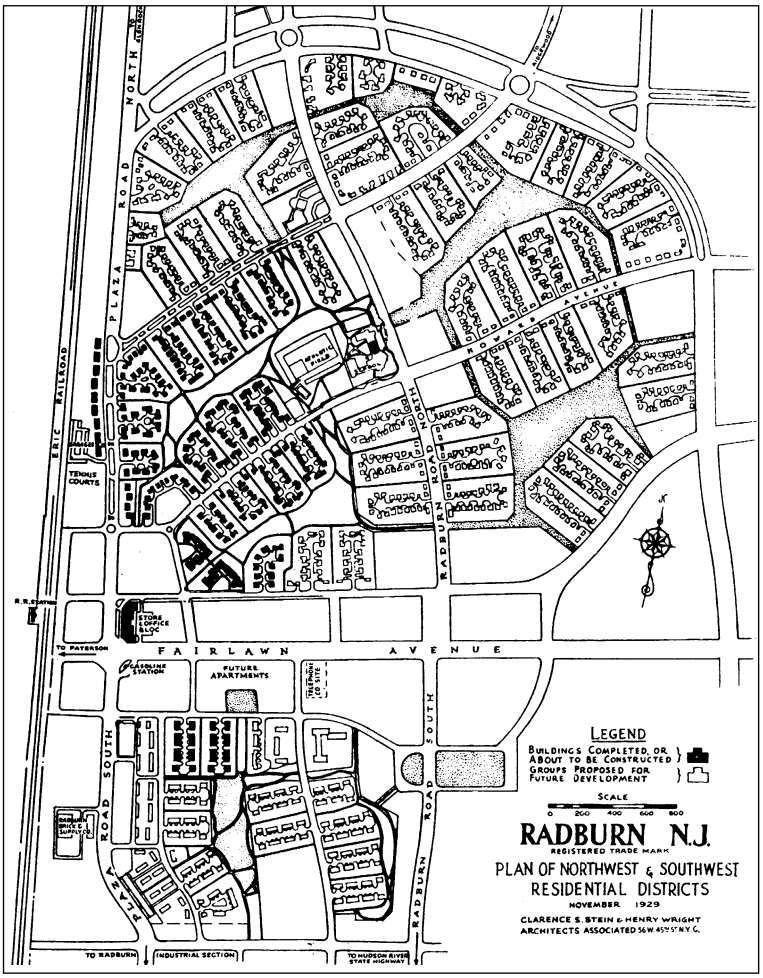


Abb. 1.13 Erschließung für den Wohnbezirk Radburn, New Jersey, nach Clarence S. Stein & Henry Wright, November 1929. (Durth u. Gutschow, 1986)

im städtischen Bereich zu befassen. Als Vergleich dient die Entwicklung des Automobils in den USA. Vorläufige Leitsätze über die Planung von Stadtstraßen (Stufa, 1929) definieren Anforderungen, die der Kraftwagenverkehr bei seiner vorauszusehenden weiteren Entwicklung zu einem allgemeinen Verkehrsmittel an das Netz und an die Einzelausbildung der Stadtstraßen stellt: Betriebswirtschaftlichkeit, Betriebsleichtigkeit, Betriebssicherheit und Abfangung der verkehrspolitischen Gefahren des Kraftwagenverkehrs. Die Fähigkeiten des Automobils für die Erschließung der Fläche werden in der Forderung nach planmäßiger Auswertung der siedlungspolitischen Möglichkeiten des Kraftwagenverkehrs (Dezentralisation) mit dem Gedanken einer verkehrsentlastenden Wirkung für die Stadtkerne verknüpft. Straßenverbreiterungen, die Anlage von Entlastungsstraßen, von großen Verkehrssammlern, von inneren und äußeren Umgehungsstraßen sowie kreuzungsfreie, bahnmäßig betriebene Straßen- und Knotenpunkte sind Maßnahmen, die im Rahmen einer Verstärkung und Umbildung des Straßengerüsts gefordert werden. Es geht um die Anpassung bestehender Bebauungspläne und neu anzulegender Siedlungsgebiete und Straßenverbin-

dungen an die Anforderungen des Kraftwagenverkehrs.

In erster Linie beziehen sich diese Forderungen auf die künftige, maßgeblich vom Verkehrszweck geprägte Gestaltung des Stammgerüsts der Hauptverkehrsstraßen: „Schönheitliche Absichten dürfen nicht zu Schaden des Verkehrszwecks gehen. Betrieb und allgemeine Wirtschaftlichkeit verlangen möglichste Gleichförmigkeit (Normierung) und Klarheit der Netzstruktur und der Straßenformen, jedoch stets im lebendigen Einklang mit Beanspruchung und Wirtschaftszweck. Die Straßen der Geschäftsstadt sind möglichst durchgehend anzulegen, damit der Geschäftsverkehr sich frei bewegen kann." (Stufa, 1929) Verkehrsstraßen sind möglichst leistungsfähig anzulegen und es sollen in größeren Städten bei den wichtigsten Hauptverkehrsstraßen je nach Bedeutung des Durchgangsverkehrs, des örtlichen Verkehrs und des Halteverkehrs grundsätzlich vier oder sechs Spuren vorgesehen werden. Mangelnde Finanzmittel und andere politische Prioritäten verhindern zunächst eine Umsetzung dieser Überlegungen in die Praxis.

Ebenfalls in den zwanziger Jahren stellt Le Corbusier, Architekt und Städtebauer, Überlegungen über eine geordnete „Stadt der Gegenwart" an (Abb. 1.14), die er in der Folge zum Gedankenmodell der „Strahlenden Stadt" (Ville Radieuse) weiterentwickelt. In Plänen entwirft er systematisch alle Elemente des modernen Städtebaus von Wohnhochhäusern bis hin zur Gestaltung der Verkehrsnetze mit planfrei geführten, teilweise aufgeständerten Stadtautobahnen, mit unabhängig von der Straße in Grünanlagen verlaufenden Fußwegen und einem getrennten Netz schienengebundener öffentlicher Nahverkehrsmittel (Metro) (Abb. 1.15). Er wirkt maßgeblich an einem Manifest mit, das wie kein anderes den modernen Städtebau der Nachkriegsära bis in

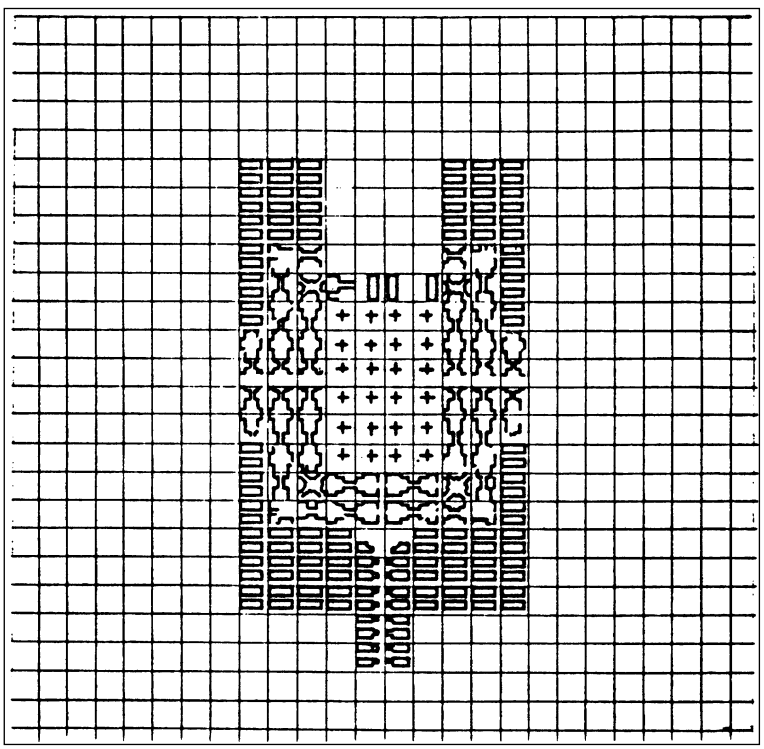


Abb. 1.14 Le Corbusier. Stadt der Gegenwart, 1922. (Raster 400 m · 400 m). (Hilpert, 1984)

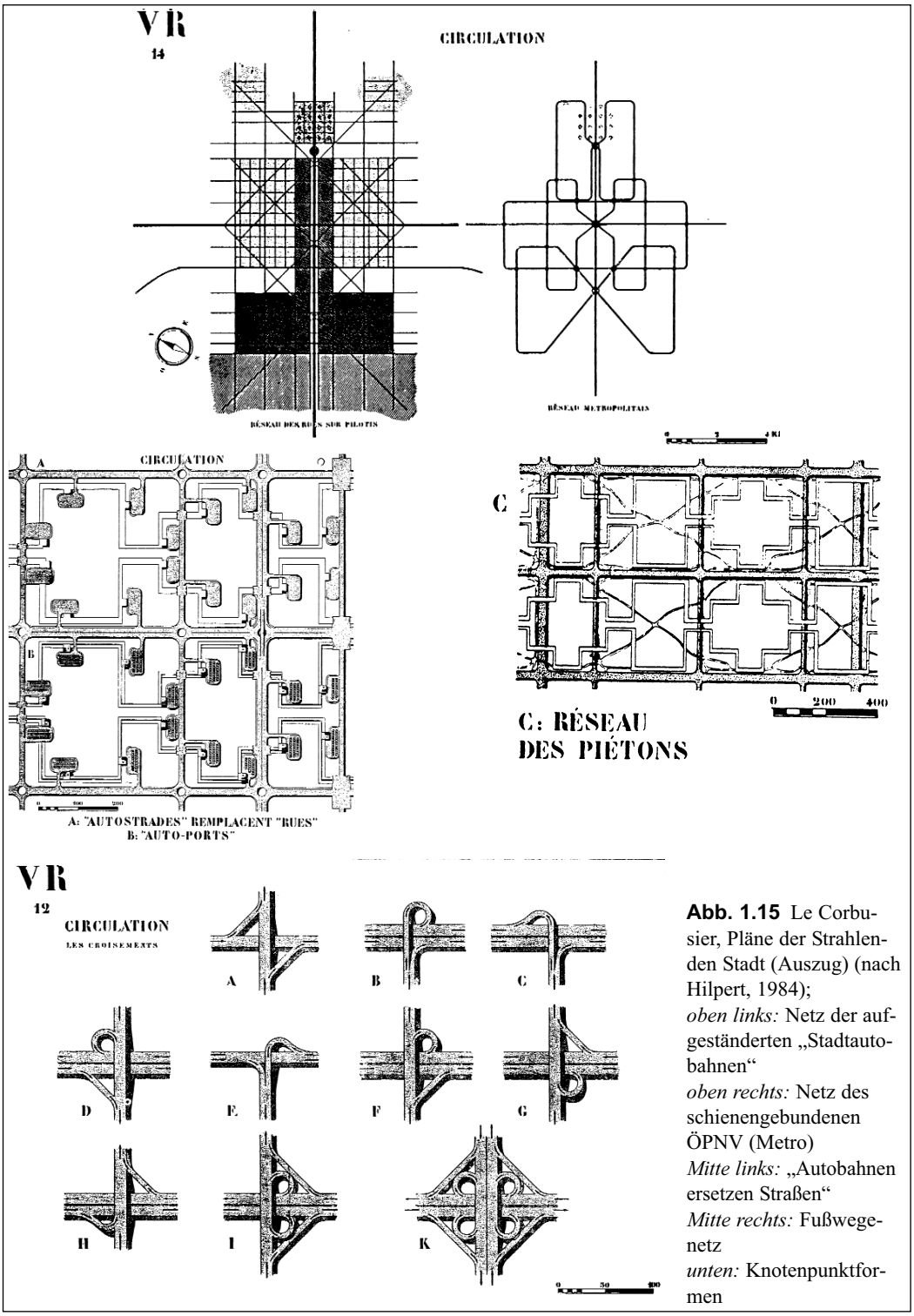


Abb. 1.15 Le Corbusier, Pläne der Strahlenden Stadt (Auszug) (nach Hilpert, 1984);
oben links: Netz der aufgeständerten „Stadtautobahnen“
oben rechts: Netz des schienengebundenen ÖPNV (Metro)
Mitte links: „Autobahnen ersetzen Straßen“
Mitte rechts: Fußwegenetz
unten: Knotenpunktformen

die heutige Zeit beeinflusst hat, die so genannte „Charta von Athen“. Im Jahr 1933 behandelt der vierte Kongress der CIAM (Congrès Internationaux d'Architecture Moderne), ein Zusammenschluss fortschrittlich denkender Architekten, in Athen das Thema „Die funktionelle Stadt“; eine Dekade später veröffentlicht Le Corbusier eine durch seine eigene Philosophie ergänzte Fassung der in Athen erarbeiteten Thesen (Le Corbusier, 1962). Ziel des Manifests ist es, auf einen sozialen und humanen Städtebau zur Verbesserung der Lebensverhältnisse in den großen Industriestädten hinzuwirken. Auf der Grundlage von Untersuchungen in ausgewählten Städten stellt das Manifest Zustandsbeschreibungen und Forderungen gegenüber und weist, zur damaligen Zeit weit vorausschauend, nicht nur auf die Bedeutung des Verkehrs und den damit verbundenen Umbruch hin, sondern leitet darüber hinaus Schlussfolgerungen bis hin zur Gestaltung der städtischen Verkehrswegenetze ab.

Das Thema „Die funktionelle Stadt“ deutet auf einen der Hauptgedanken der Charta hin, nämlich auf die sich aus bereits genannten Gründen (z.B. Vorsorge gegen Lärm und schlechte Luft, mehr Licht und Grünflächen für die Wohnungen, erweiterte Möglichkeiten durch das Automobil) seit der Jahrhundertwende abzeichnende Auflockerung der Stadt und ihre Gliederung nach Funktionen. Die Charta unterscheidet in die vier Hauptfunktionen Wohnen, Arbeiten, Erholen und Bewegen. Der vierten Hauptfunktion kommt die Aufgabe zu, die Verbindungen zwischen den verschiedenen Einrichtungen herzustellen „durch ein Verkehrsnetz, das den Austausch sichert und die Vorrechte einer jeden Einrichtung respektiert.“ (Charta, Kommentierung § 77) Dem zeitgenössischen Städtebau wird vorgeworfen, sich bisher nur an ein einziges Problem gewagt zu haben, „an das Verkehrsproblem. Er hat sich damit begnügt, Ausfallstraßen zu bahnen oder Straßen zu ziehen, und hat damit Häuserinseln geschaffen, deren Bestimmung auf gut Glück der privaten Initiative überlassen worden ist. ... Immer noch gibt es den Häuserblock, unmittelbares Nebenprodukt des Straßensystems. ... Das Verkehrsnetz, das ihn einschnürt, ist ausgedehnt und hat vielfache Kreuzungen. Für eine andere Zeit gedacht, hat dieses Netz mit der neuen Geschwindigkeit der Kraftfahrzeuge nicht in Einklang gebracht werden können.“ (Charta, Kommentierung § 77 bzw. § 52).

Gerade das neue Maß der Geschwindigkeit der technischen Beförderungsmittel ist es, das offenkundig mit den vorhandenen Gegebenheiten in Konflikt steht. Entsprechend betont wird im analytischen Teil der Charta die Unverträglichkeit der neuen Geschwindigkeiten mit den Eigenschaften der anderen Verkehrsteilnehmergruppen, mit der Breite und dem Fassungsvermögen der Straßen, mit den häufig äußerst kurzen Knotenpunktabständen, mit der wenig rationalen und unflexiblen Gestaltung der überkommenen Straßennetze sowie mit den für repräsentative Zwecke gedachten „Prachtstraßen“.

Die Zustandsbeschreibungen und Forderungen der Charta enthalten denn auch eine Reihe von Strategien und Maßnahmen für „die vierte Hauptfunktion, den Verkehr“. Die Forderungen beziehen sich unter anderem auf

- die Minimierung der Entfernung zwischen Arbeitsplatz und Wohngebiet durch eine bandstadtförmige lineare statt einer konzentrischen Entwicklung der Industriestädte sowie durch eine intensive Ausnutzung der dritten Dimension (Höhe) im modernen Städtebau
- die Trennung von Wohnen und Verkehr zum Schutz gegen Verkehrsemissionen (Lärm, Staub, schädliche Abgase)
- den Neu- und Umbau von Straßen („Die gänzlich neue Geschwindigkeit der motorisierten Transportmittel ... macht die Anlage neuer Wege oder den Umbau bereits beste-

hender Wege notwendig ...“ (Charta, Kommentierung § 68)) , den Bau von Entlastungsstraßen („Anstatt das Hindernis dem Verkehr zu opfern, wird man den Verkehr selbst umleiten oder wird ihn, wenn die Verhältnisse es erlauben, durch einen Tunnel schleusen“ (Charta, Kommentierung § 48)) und die planfreie Führung der großen Verkehrsadern mit größeren Knotenpunktabständen

– die Trennung des (schnellen) Fahrzeug- und des (langsamen) Fußgängerverkehrs durch Ausweisung von den Fußgängern vorbehaltenen Flächen („Der Fußgänger muss andere Straßen als das Auto benutzen können .... Das würde eine fundamentale Reform des Verkehrs in den Städten bedeuten – es gäbe keine gescheitere und auch keine, die eine neue und fruchtbarere Ära des Städtebaus einleiten könnte.“ (Charta, § 62 und Kommentierung))
– die Klassifizierung der Straßen unter Beachtung der Funktionen, der Fahrzeuge und Geschwindigkeiten („Je nach ihrer Bestimmung müssen folgende Straßen unterschieden werden: Wohnstraßen, Straßen für Spaziergänger, Durchfahrtsstraßen, Hauptstraßen. ... Die Straßen sollten – anstatt allen und allem überlassen zu sein – je nach ihrer Kategorie verschiedene Verkehrsordnungen kennen. Die Wohnstraßen und die Gelände für den gemeinsamen Gebrauch verlangen eine besondere Atmosphäre. Um den Wohnungen und ihren „Erweiterungen“ die notwendige Ruhe und den notwendigen Frieden zu verschaffen, werden die Kraftfahrzeuge in besondere Umgehungsstraßen geschleust werden. Die Fernverkehrsstraßen werden keine Berührungspunkte mit den Nahverkehrsstraßen haben, es sei denn an den Zufahrtspunkten. Die großen Hauptstraßen, die mit dem gesamten Gebiet in Verbindung stehen, behaupten natürlicherweise ihren Vorrang. Aber Straßen für Spaziergänge werden ebenfalls vorgesehen sein, und da den Fahrzeugen für diese Straßen eine reduzierte Geschwindigkeit strikt vorgeschrieben wird, dürfte das Nebeneinander von Fahrzeugen und Fußgängern dort nicht mehr zu Unzulänglichkeiten führen“ (Charta, § 63 und Kommentierung).

Die Schlussfolgerungen machen die Verknüpfung der Lösung der Verkehrsprobleme mit der Funktionstrennung der städtischen Bezirke deutlich: „Die Reform der Bezirkseinteilung wird – indem sie die Schlüsselfunktionen der Stadt untereinander in Einklang bringt – natürliche Verbindungen zwischen diesen herstellen, zu deren Festigung ein rationelles Netz großer Verkehrsadern vorgesehen sein wird. ... Die Stadt und ihr Gebiet müssen mit einem Verkehrsnetz ausgestattet werden, dem Gebrauch und den Zwecken exakt angeglichen, das die moderne Technik des Verkehrs begründen wird. Man muss die Verkehrsmittel klassifizieren und unterscheiden und für jede Art eine Fahrbahn schaffen, die der Natur des benutzten Fahrzeugs entspricht. Der so geregelte Verkehr wird eine geordnete Funktion, die der Struktur der Wohnung oder derjenigen der Arbeitsstätten keinerlei Gewalt antut“ (Charta, § 81 und Kommentierung).

Geht es vor dem Hintergrund der Kriegsfolgen in den fünfziger Jahren in der städtischen Verkehrsplanung zunächst um die Deckung des unmittelbaren, kurzfristigen Bedarfs und eine entsprechende Anpassung der Verkehrswegesysteme, speziell der Straßennetze, an die erwartete Verkehrsmenge , so bemüht man sich angesichts der einsetzenden Motorisierungsentwicklung in der Folge um eine Bedarfsdeckung trendmäßig abgeleiteter, für einen Planungshorizont prognostizierter Verkehrszustände, und versucht, diesen Bedarf mit entsprechenden Angeboten in der Verkehrsinfrastruktur voll zu befriedigen. Vor der Frage, zerstörte historische Bausubstanz und

ehemals homogene stadträumliche Gegebenheiten unter hohem Finanzaufwand wiederherzustellen oder „moderne, großzügige“ Lösungen zu wählen, entscheidet man sich häufig für die zweite Alternative und legt in diesem Zusammenhang den Grundstein für die Probleme einer städtebaulichen Integration des Automobils auf lange Sicht. Der eingeschlagene Weg, „Straßen nur dort zu bauen, wo der Verkehr sie wünscht“ und eine starke Anlehnung an die Verkehrslösungen amerikanischer Städte führen in den ersten Nachkriegsjahrzehnten zu Straßenbauten und Planungen für den motorisierten Individualverkehr, die man im Nachhinein unter dem Schlagwort der „autogerechten Stadt“ zusammenfasst, ein Begriff, der im übrigen wohl erstmals von Hans Bernhard Reichow in seinem Buch „Die autogerechte Stadt“ – in einem allerdings anderen Sinn – propagiert wurde (Reichow, 1959).

Von besonderer Bedeutung ist die Führung der Hauptverkehrsströme im Stadtgebiet, wo das überkommene Landesstraßennetz, Fernverbindung von Stadtmitte zu Stadtmitte, den gesamten Fernverkehr vielfach zwingt, die Zentren zu durchfahren. Zudem sind die Zubringerstraßen zu den Stadtkernen durch die Überlagerung von überörtlichem Quell-/Zielverkehr, regionalem und lokalem Verkehr häufig völlig überlastet. Als Ergebnis von Verkehrsanalyse und Prognose der Verkehrsbeziehungen erster kommunaler Generalverkehrspläne (z.B. Schlums, 1956) liegen so genannte „Wunschlinien des Verkehrs“ für den Quell-, Ziel-, Binnen- und Durchgangsverkehr der Planungsräume vor. Zur Trennung des Durchgangsverkehrs vom Ziel- und Quellverkehr stehen verschiedene Prinziplösungen zur Verfügung. Neben aufwendigen Konzepten wie Außen- und Innenumfahrungen werden Systeme mit einer Zusammenfassung der Hauptströme als wirtschaftlichere Lösung erörtert (Abb. 1.16). In der Beurteilung der vorgeschlagenen Maßnahmen dominieren die Aussagen zu den verkehrlichen und verkehrswirtschaftlichen Folgen.

„Verbesserung der Wirtschaftlichkeit“, „Förderung der Leistungsfähigkeit“ und „Erhöhung der Sicherheit“ sind die vorrangigen Ziele der ersten Nachkriegsjahrzehnte, die auch die wissenschaftstheoretische Auseinandersetzung um Fragen der städtischen Netzgestaltung prägen. Forschungsarbeiten befassen sich unter anderem mit den ökonomischen Gesichtspunkten bei der Netzgestaltung (Hoffmann, 1961), in Zusammenhang mit Einrichtungsstraßensystemen mit Fragen der Leistungsfähigkeit und Sicherheit (Harder, 1967) oder, im Kontext von Stadtstruktur, Netzform und Netzdichte mit Untersuchungen der Struktur des Verkehrsraumes in städtischen Verkehrsnetzen (Scholz et al., 1972). Erhielten vor der Verbreitung des Automobils Diagonalen bzw. radial geführte Verbindungen städtischer Netze ihre große Bedeutung durch die Verminderung der Weglängen als Hauptkriterium, so gewinnt mit wachsender Bedeutung des Automobils die Verringerung der Fahrzeiten an Bedeutung. Eine amerikanische Untersuchung (Fisher u. Boukidis, 1963) vergleicht die drei wesentlichen Systemtypen innerstädtischer Netze hinsichtlich der Auswirkungen der Netzform auf die Verkehrsbelastungen des Netzes (Abb. 1.17). Als besonders vorteilhaft wird das Rasternetz; hervorgehoben:

- Das Belastungsgleichgewicht ist indifferenter und daher besser geeignet, Ungleichheiten der Belastungszustände auszugleichen, sobald sich Behinderungen oder Stauungen ergeben.
- Das Rasternetz weist die geringste Verkehrskonzentration auf.
- Durch die im Prinzip gleichen Maschengrößen sind alle Felder der Stadt potentiell in gleicher Weise für die Entwicklung offen.

Unter der Maxime einer weitgehenden Bedarfsdeckung des motorisierten Individualverkehrs sehen die Generalverkehrspläne; der

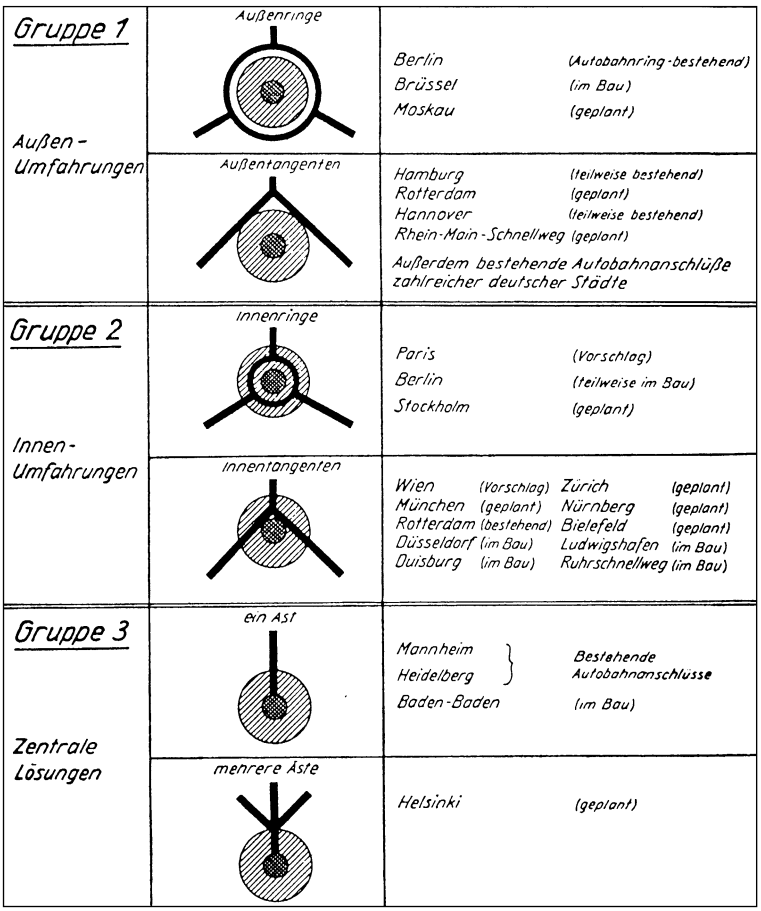


Abb. 1.16 Beispiele für die Netzsysteme städtischer Schnellverkehrsstraßen in Europa. (Feuchtinger, 1956)

sechziger Jahre in großem Stil den Ausbau vielspuriger, zum Teil in mehreren Ebenen verlaufender Stadtautobahnen vor. Tangentenpolygone und (Radial-)Ringlösungen sollen die Verkehrsströme aufnehmen. Vorschläge für Hoch- und Tiefstraßen, Tunnel oder eine Führung in Galerien sind Folge der Erkenntnis, dass die für erforderlich erachtete Leistungsfähigkeit plangleich in den meisten Fällen nicht erreicht werden kann. Unter Orientierung an amerikanischen Vorbildern versucht man, die für den Automobilverkehr ungeeigneten, überkommenen alten Magistralen durch neuzeitliche Hauptverkehrsstraßen zu ergänzen (Abb. 1.18) oder, wie es in einem der ersten Grundlagenwerke der Straßenverkehrsplanung (Korte, 1958) heißt: „Die Meisterung der Motorisierung bedingt aber einen neuen, sicheren und leistungsfähigen Straßentyp, das ist die anbaufreie Hauptverkehrsstraße als Einzweckstraße für den Kraftfahrzeugverkehr. Nach Maßgabe der jeweiligen Raumzeitbeziehungen in den verschiedenen Stadtgrößen wird diese mehr oder weniger zur Stadtschnellstraße, so dass sie in der Regel in der größeren Groß- und Riesenstadt in die Stadtautobahn; übergeht. ... Sie nimmt den Durchgangs- und große Teile des Binnen- und Zwischenortsverkehrs an wenigen, verkehrsgerecht ausgebauten Knoten auf, verteilt die Ziel- und Quellverkehre in der gleichen Weise und führt alle möglichst nahe an die Kernstadt als Hauptma-

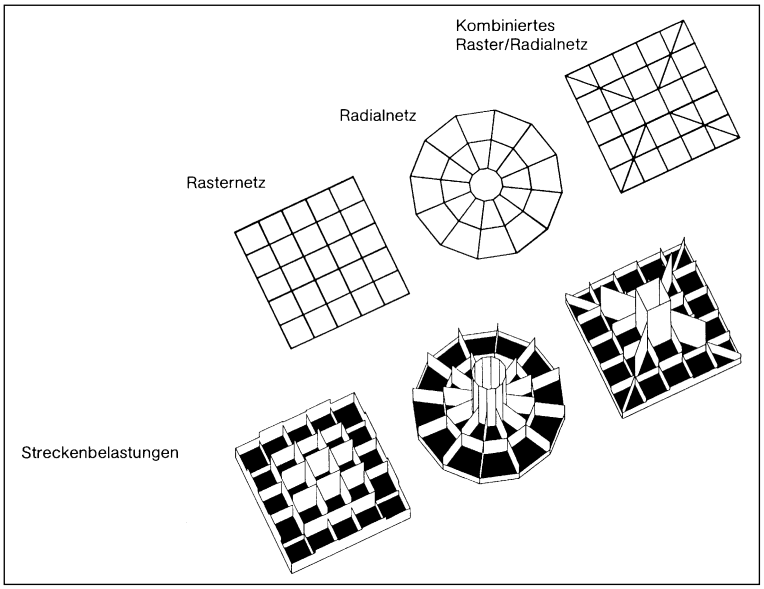


Abb. 1.17 Auswirkungen der Netzform auf die Verkehrsbelastungen des Netzes (nach Fisher u. Boukidis, 1963)

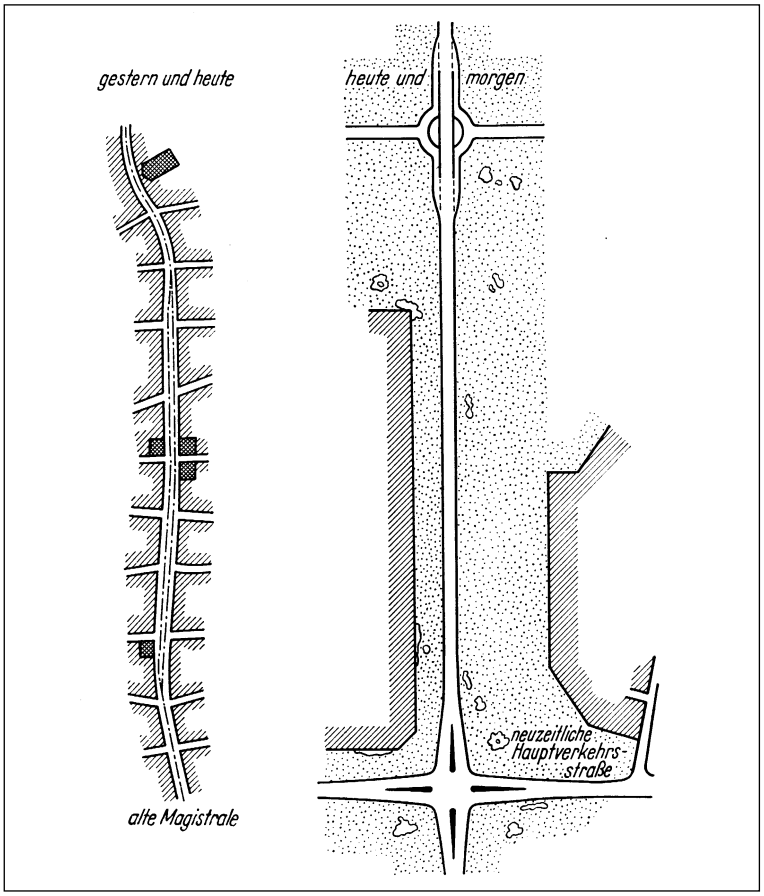


Abb. 1.18 Alte Magistrale und neuzeitliche Hauptverkehrsstraße. (Korte, 1958)

gnet heran. Sie nutzt die Zäsuren in dem integrierten und wirtschaftsgegliederten Stadtkörper von morgen, in dem alles, was im Lebensablauf zusammengehört, zusammengelegt worden ist, für ihre Funktion, leistungsfähiger Vorfluter für alle Hauptverkehre der Gesamtstadt zu sein, in optimaler Weise aus. So liegt sie in der Lebenslinie der Stadt, berührt die wichtigsten Aktionszentren, ohne sie zu durchschneiden und Störungen auszulösen und mündet in die Kernstadttangente als wichtigste Verteilerschiene im Stadtkörper ein.“ Tangentenpolygone oder Ringe um die Kernstadt ermöglichen es, den motorisierten Individualverkehr fernzuhalten und im Stadtkern Flächen für Fußgänger, z.B. in Form von Einkaufsstraßen, einzurichten. In vielen Städten entstehen Ende der fünfziger Jahre erste, dem Fußgänger vorbehaltene Bereiche (Abb. 1.19).

Die wachsende Verkehrsnot der Städte veranlassen anfangs der sechziger Jahre die britische Regierung zu einer grundlegenden Untersuchung über Lösungswege und Zukunftschancen des städtischen Verkehrs, die unter dem Namen Buchanan-Bericht; eine weite Beachtung findet (Buchanan, 1964). Buchanan erarbeitet eine Fülle von Erkenntnissen über das Wesen des neuzeitlichen Verkehrs und die Bewältigung seiner Probleme und entwickelt eine „Verkehrsarchitektur“, die von der Einsicht geprägt ist, Art und Maß der Grundstücksnutzung mit den Verkehrswegen zusam-

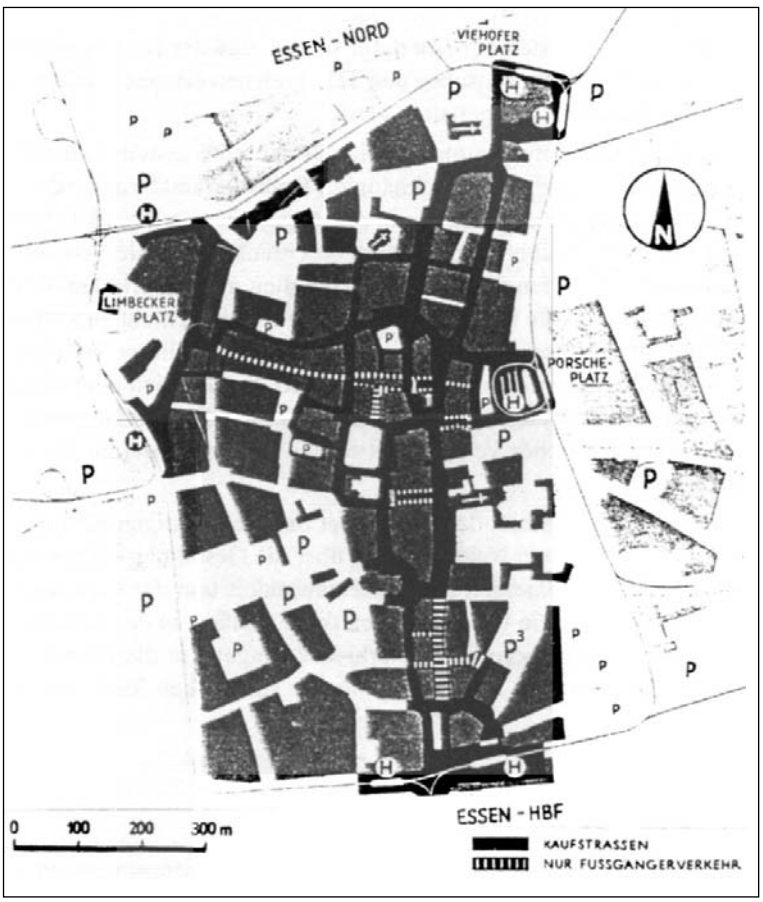


Abb. 1.19 Essen, Fußgängerstraßen der Innenstadt. (Korte, 1958)

men zu betrachten und als Einheit zu planen. Eine Lösung der Verkehrsprobleme für neu gegründete wie bestehende Städte sieht er darin, dass der städtische Raum in „verkehrsberuhigte Umweltbereiche“ (environmental areas) unterteilt wird. „Umweltbereiche“ sind in sich geschlossene, sichere, lärmfreie Gebiete mit sozial und kulturell befriedigendem Leben, die nur jenen Verkehr aufnehmen, der in ihnen Quelle oder Ziel hat, während der gebietsfremde Verkehr auf „Verteilerstraßen höherer Ordnung“ an den Bereichen vorbeigeleitet wird.

Buchanan verbindet seine Vorstellungen über die Gliederung des städtischen Straßennetzes in ein hierarchisch geordnetes Verteilerstraßensystem; (Abb. 1.20) mit der Möglichkeit einer grundlegenden Verbesserung der Lebensbedingungen in innerstädtischen Wohngebieten. Das Grundkonzept von Verteilernetz und Environmentzonen soll „die Leistungsfähigkeit der Straßen und die Fähigkeit der Gebäude, Verkehr zu erzeugen in eine verständliche Beziehung zueinander setzen“ (Buchanan, 1964), die Stadt wieder begreifbar machen.

Mit der Einteilung in „Umweltbereiche“ verbunden ist eine Funktionalisierung des Verkehrsraumes. Ortsverteilerstraßen innerhalb der Environmentzonen münden in Bezirksverteilerstraßen, die die „Umweltbereiche“ umschließen, diese wiederum in ein Netz von Verteilerstraßen 1.Ordnung (Hauptverkehrsstraßen) (Abb. 1.20). Organisatorische Maßnahmen im nachrangigen Netz wie Einbahnstraßensysteme sollen dafür sorgen, dass der Binnenverkehr mit Ausnahme des innerstädtischen Busverkehrs zwischen den Teilbereichen eingeschränkt und der Durchgangsverkehr vom „Umweltbereich“ ferngehalten wird.

Buchanan erkennt die Möglichkeit und Notwendigkeit, jeder Straße eine „environmentale Kapazität“, im heutigen Sprachgebrauch, eine „umfeldabhängige Belastbarkeit“ zuzuordnen, oder, mit anderen Worten, die Verkehrsmenge einer Straße in Abhängigkeit von ihren Umfeldbedingungen, z.B. Anspruch auf Ruhe oder saubere Luft, ggf. zu beschränken. Lokale Verkehrsmengen innerhalb einer Environmentzone dürfen die Ortsverteilerstraßen nicht überlasten, d.h., die Bereiche sind in ihrer Ausdehnung durch die Notwendigkeit begrenzt, einen nicht zu großen Verkehr zu erzeugen, der wiederum eine Unterteilung durch die Einfügung weiterer Verteilerstraßen zur Folge hätte. Das Zentrum des „Umweltbe-

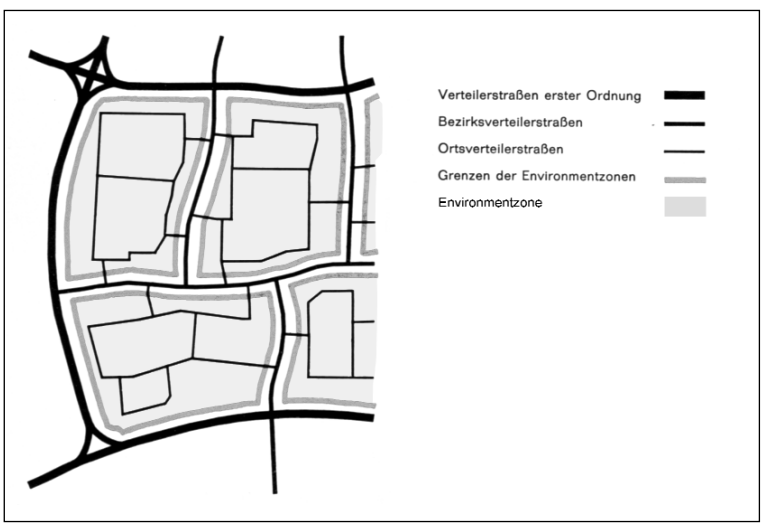


Abb. 1.20 Prinzip einer Rangordnung der Verteilerstraßen – Environmentbildung. (Nach Buchanan, 1964)

reichs“ und andere geschäftlich oder historisch bedeutsamen Bereiche werden dem Fußgänger vorbehalten. Zumutbare Fußweglängen und die Einzugsbereiche der Haltestellen öffentlicher Verkehrsmittel sind weitere Kriterien für die Ausdehnung der Environmentzonen.

Der Buchanan-Bericht wie in der Bundesrepublik der Bericht der Sachverständigen-Kommission (Hollatz u. Tamms, 1965) sind Meilensteine auf dem Weg zu einer Neubesinnung über die Gestaltung städtischer Verkehrsanlagen. Aber erst im Zuge des allgemeinen Bewusstseinswandels und der Ergänzung des Wirkungsspektrums durch die Folgen auf die Umwelt finden diese Ansätze in den siebziger und achtziger Jahren im Konzept der Verkehrsberuhigung verbreitet Eingang in die Planungspraxis und beeinflussen auch die Überlegungen zur Gestaltung der städtischen Verkehrswegenetze (vgl. Kap. C 3).

Literatur

Albers, G. (1983): Strukturmodelle. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Grundriß der Stadtplanung, Vincentz Verlag Hannover, S. 374-385

Baumeister, R. (1876): Stadt-Erweiterungen in technischer, baupolizeilicher und wirthschaftlicher Beziehung. Berlin

Baumeister, R. (1887): Moderne Stadterweiterungen. Hamburg, S.22ff.

Benevolo, L. (1990): Die Geschichte der Stadt. Campus-Verlag, 5.Auflage

Böhme, H. (1982): Freiheit Macht Stadt oder städtische Wiederbelebung als ein historisches Thema. neue heimat Monatshefte 29, Heft 1, S.10-21

Bruch, E. (1870): Berlins bauliche Zukunft und der Bebauungsplan, Berlin

Buchanan, C. (1964): Traffic in Towns (Verkehr in Städten). Übersetzte Fassung. Vulkan Verlag, Dr. W. Classen, Essen

Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.) (1983): Stadtbild und Gestaltung, Modellvorhaben Hameln. Schriftenreihe Stadtentwicklung, Heft 02.033, Bonn

Durth, W. u. Gutschow, N. (1988): Träume in Trümmern, Band I. Vieweg-Verlag, Braunschweig

Feuchtinger, M.-E. (1956): Planungs- und Entwurfsgrundlagen für städtische Schnellverkehrsstraßen. In: Internationales Archiv für Verkehrswesen 8, Heft 17, S. 377-383.

Fisher, H. T. u. Boukidis, N.A. (1963): The Consequences of Obliquity in Arterial Systems. In: Traffic Quarterly 17, Heft 1, S.145-170.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln

– FGSV (1987): Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete

Gebhard, H. (1969): System, Element und Struktur in Kernbereichen alter Städte. Schriftenreihe der Institute für Städtebau der Technischen Hochschulen und Universitäten, Heft 2, Karl Krämer Verlag, Stuttgart/Bern

Hangarter, E. (1988): Grundlagen der Bauleitplanung. Der Bebauungsplan. Werner-Verlag, Düsseldorf

Harder, G. (1967): Ein-Richtungsstraßen als Elemente von Ein-Richtungsstraßensystemen. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Neue Folge, Heft 71, Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg

Hartog, R. (1962): Stadterweiterungen im 19.Jahrhundert. Schriftenreihe des Vereins zur Pflege kommunalwissenschaftlicher Aufgaben, Band 6, Kohlhammer Verlag, Stuttgart

Hilpert, T. (Hrsg.) (1984): Le Corbusiers „Charta von Athen“, Texte und Dokumente. Kritische Neuausgabe, Vieweg Verlag, Braunschweig

Hoffmann, R. (1961): Die Gestaltung der Verkehrswegenetze. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Jänecke Verlag

Hollatz, J. u. Tamms, F. (Hrsg.) (1965): Die kommunalen Verkehrsprobleme in der Bundesrepublik Deutschland: Ein Sachverständigenbericht und die Stellungnahme der Bundesregierung. Vulkan, Essen

Jakob, A. (1990): Die Legende von den „Hugenottenstädten“. Deutsche Planstädte des 16. und 17. Jahrhunderts. Katalog der Ausstellung „Klar und lichtvoll wie eine Regel – Planstädte der Neuzeit“; Ausstellung des Landes Baden-Württemberg, veranstaltet vom Badischen Landesmuseum Karlsruhe, 15.6.-14.10.1990, S.181-198

Jung-Köhler, E. (1990): Umgebautes Imperium – Dänemarks und Schwedens Traum vom Ostseereich. Katalog der Ausstellung „Klar und lichtvoll wie eine Regel – Planstädte der Neuzeit“; Ausstellung des Landes Baden-Württemberg, veranstaltet vom Badischen Korte, J. W. (1958): Grundlagen der Straßenverkehrsplanung in Stadt und Land. Bauverlag GmbH, Wiesbaden, Berlin

Landesmuseum Karlsruhe, 15.6.-14.10.1990, S.169-180

Landesplanung (Hrsg.): Grundriß der Stadtplanung, Vincentz-Verlag, Hannover, S.119-134

Le Corbusier (1962): An die Studenten – Die „Charte d`Athenes“. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg

Lehrstuhl für Städtebau und Siedlungswesen, Universität Bonn (1966): Unterlagen zur Vorlesung Städtebau und Siedlungswesen, Bonn

Rainer, R. (1986): Einige Gedanken über Wohnen und Architektur seit 1900. In: Juckel, L. (Hrsg.): Haus Wohnung Stadt, Beiträge zum Wohnungs- und Städtebau 1945-1985, Hamburg

Howard, E. (1907): Gartenstädte in Sicht. Jena (Original London 1898)

Reichow, H. B. (1959): Die autogerechte Stadt. Otto Maier Verlag, Ravensburg

Rodriguez-Lores, J. (1983): „Gerade oder krumme Straßen?“ Zu den irrationalen Ursprüngen des modernen Städtebaus. In: Fehl, G. u. Rodriguez-Lores, J. (Hrsg.): Stadterweiterungen 1800-1875, Stadtplanungsgeschichte 2. Christians Verlag, Hamburg 1983, S.101-134

Rönnebeck, T. (1971): Stadterweiterung und Verkehr im neunzehnten Jahrhundert. Schriftenreihe der Institute für Städtebau der Technischen Hochschulen und Universitäten, Heft 5, Karl Krämer Verlag, Stuttgart/ Bern

Roessler, G. v. (1874): Zur Bauart deutscher Städte. In: Deutsche Bauzeitung 8 (1874), S. 153-154,162,165

Sachverständigen-Kommission Verkehr (SKV): Bericht über eine Untersuchung von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse der Gemeinden. Bundestagsdrucksache IV/2661

Schlums, J. (1956): Generalverkehrsplan Osnabrück. In: Straße und Autobahn 7,Heft 11, S.377-383

Scholz, G.; Wolff, H.; Heusch, H.; Schreiber, A. (1972): Untersuchung über die Struktur des Verkehrsraumes in städtischen Verkehrsnetzen. Forschungsberichte Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 124, Bonn

Sieverts, T. (1983): Die Stadt als Erlebnisraum. In: Akademie für Raumforschung und

Sitte, C. (1889): Der Städte-Bau nach seinen künstlerischen Grundsätzen. Wien

Studiengesellschaft für Automobilstraßenbau (STUFA) (1929): Vorläufiger Bericht und vorläufige Leitsätze über Planung von Stadtstraßen. Mitteilungen der Studiengesellschaft für Automobilstraßenbau Nr.12 vom 10.12.1929, S.1-3

Stübben, J. (1881): Lageplan der Ringstraße zu Köln, 1881.

Stübben, J. (1893): Gerade oder krumme Straße? In: Deutsche Bauzeitung 27 (1893), S. 294-296

Wurzer, R. (1974): Die Gestaltung der deutschen Stadt im 19.Jahrhundert. In: Grote, L. (Hrsg.): Die deutsche Stadt im 19. Jahrhundert. Studien zur Kunst des 19.Jahrhunderts, Band 24, Prestel Verlag, München 1974, S.9-32

2 Verkehr und Stadtbild – Umfeldprobleme und Lösungen

2.1 Städtebauliche Qualität in Straßen und Platzräumen

2.1.1 Straßenraum und Stadtbild

Verkehrsprobleme in von Menschen geplanter und gestalteter Umwelt zu lösen, verlangt Respekt vor dem in großen Epochen gewachsenen Stadtbild. Die Planer sollten sich bei der Bearbeitung von Lösungsansätzen auch hier vergegenwärtigen, was Verkehr und Straße in positivem Sinne bedeuten. Begreift man die Stadt – oder das Dorf – als wesentlichen Teil des menschlichen Lebensraumes, so ist Verkehr eine notwendige Lebensfunktion, die zu einem wichtigen Teil die Lebensqualität bestimmt. Freizügigkeit, Kommunikation, Bewegung und Transport sind Parameter hierfür. Doch mit diesen Freiheiten muss bewusst umgegangen werden, indem man konkurrierende Qualitäten achtet. Denn dem Verkehr steht nur ein begrenzter Teil der Umwelt, der öffentliche Straßenraum, zur Verfügung – von privaten Verkehrsflächen abgesehen. In diesem Zusammenhang soll bewusst von Straßenraum und nicht von Verkehrsfläche gesprochen werden, weil sich die Straße immer durch Naturraum oder künstlich geschaffenen Siedlungsraum bewegt. Die Stadtverkehrsplanung hat deshalb die Aufgabe, die Wechselbeziehungen zwischen Bebauung, öffentlichem Freiraum und den darin angesiedelten Funktionen aufzugreifen. Wobei man unter Stadtverkehr selbstverständlich den Verkehr in allen Siedlungen, also auch den im Dorf, versteht. Einzelaspekte des Themenkomplexes lassen sich ebenso gut auf den Landschaftsraum übertragen. Dem landschaftspflegerischen Begleitplan wird der stadtgestalterische Beitrag gegenübergestellt.

Die beiden Begriffe Stadtbild und Straßenraum, zu dem auch der Platzraum zählt, bedürfen einer näheren Definition: Straßenraum ist *mehr* als Verkehrsfläche. Er ist Aufenthaltsraum, Wohnumfeld, Kommunikations- und Erlebnisraum zugleich, von dem aus die Stadt erlebt wird. Das Stadtbild ist ein komplexes Gefüge aus objektiv sichtbaren Dingen einerseits und Eindrücken, Wahrnehmungen und Erfahrungen andererseits. Das Stadtbild oder Image der Gemeinde wird außerdem von persönlichen Lebensumständen im Wohn-, Arbeits-, Freizeit- und Versorgungsbereich geprägt. Hier aber geht es unmittelbar um die Wahrnehmungen im öffentlichen Raum.

Die von Kevin Lynch in „Das Bild der Stadt“ (Lynch, 2001) geprägten Begriffe der Wege, Grenzlinien, Brennpunkte, Bereiche und Merkzeichen beschreiben die Wahrnehmung und Orientierung in der Stadt über die Bewegungslinien öffentlicher Straßenräume. Historische Stadtgrundrisse und Strukturen sind unmittelbar mit ihrem Straßennetz verbunden, gleichgültig, ob amorph vernetzt oder orthogonal geplant, ob Straßendorf oder Großstadt mit Radialen und Ringstraßen (siehe Abb. 2.1). Die Vielfalt der Stadt wird uns damit am deutlichsten in ihren Straßenräumen vor Augen geführt, in denen Verkehr nur eine von vielen Funktionen ist. Die Qualität des öffentlichen Raumes ist damit zugleich auch Maßstab für die Qualität des Stadtbildes insgesamt, und sie wird wiederum von der Qualität der Funktion Verkehr mitbestimmt. Diesen

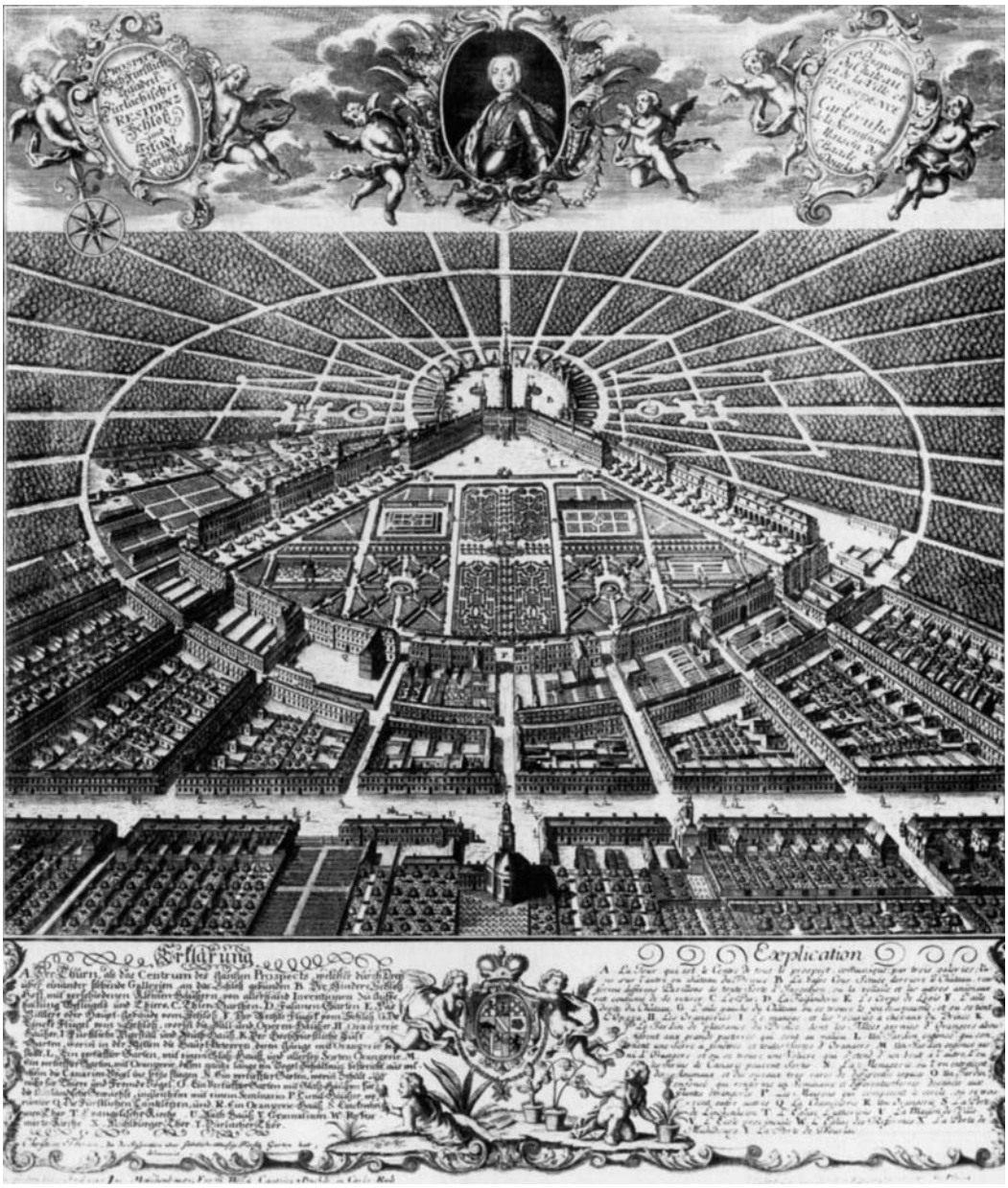


Abb. 2.1 Die Einheit von Stadtbild und Straßennetz am Beispiel Karlsruhes. (Stadtarchiv Karlsruhe)

Zusammenhang, der hier bewusst auch mit seiner ästhetischen Komponente betrachtet werden soll, muss man sich bei der Stadtverkehrsplanung immer vor Augen halten, sie muss demnach ganzheitlich angelegt sein und sogar interdisziplinär betrieben werden (siehe auch Kapitel C 4).

2.1.2 Ansprüche an den Straßenraum

Für konkrete Planungsaufgaben heißt dies, dass neben „materiellen" Ansprüchen auch „immaterielle" zu berücksichtigen sind. Materielle Ansprüche lassen sich objektiv definieren, es sind dies insbesondere verkehrliche, versorgungstechnische, soziale und ökologische Bedürfnisse. Verkehr muss sicher und wirtschaftlich fließen können, Erschließungs-, Verbindungs- und Aufenthaltsfunktion müssen gewahrt sein. Daneben erfüllt die Straße auch alle nichtverkehrlichen Ver- und Entsorgungsaufgaben für die angrenzenden Nutzungen. All diese Ansprüche sind hinreichend in Normen, Richtlinien und Empfehlungen gefasst. Auch die sozialen Erwartungen an die Straße als öffentlichem Raum, z.B. für Aufenthalt und Kommunikation, Handel und Dienstleistungen sind objektiv fassbar, schließlich auch die ökologischen Ansprüche mit stadtklimatischen Zusammenhängen, Schadstoffbelastung und Bodenversiegelung.

Die Bedeutung der immateriellen Ansprüche kann anhand sinnhafter Wahrnehmungen der Stadt vom Straßenraum aus belegt werden (siehe Abb. 2.2). Davon sind einige Kategorien besonders zu beschreiben:

- Orientierung
- Identität
- Soziale Brauchbarkeit
- Anregung
- Identifikation
- Schönheit

Diese Begriffe sind ausführlich in den „Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete" (ESG 96) (FGSV, 1987/96) erläutert, sie werden deshalb hier nur kurz umrissen.

Orientierung ist im Verkehr ein vertrauter Begriff. Die Erfassbarkeit eines Straßennetzes durch eine gewisse Hierarchie der Straßen mit Achsen, Brennpunkten und Merkzeichen erleichtert die räumliche Orientierung in der bebauten Umwelt. Eingriffe der Stadtverkehrsplanung müssen diesem Bedürfnis Rechnung tragen.

Identität entwickelt sich vor lokalem bzw. regionalem Hintergrund, vor ortstypischen Eigenschaften, Milieu und Unverwechselbarkeit der Straße. Identität zu erhalten und nicht durch normierte Allerweltslösungen zu zerstö-

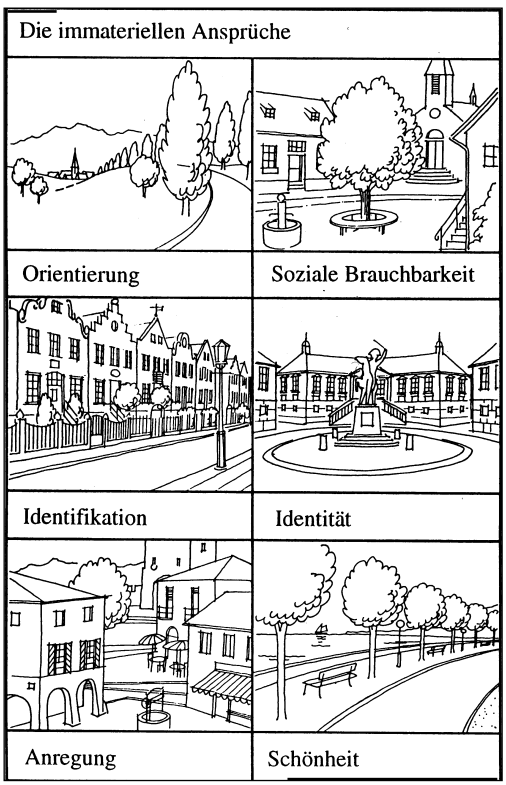


Abb. 2.2 Die immateriellen Ansprüche. (Eigene Darstellung)

ren, ist ein wesentliches Ziel bei der Straßenraumgestaltung.

Soziale Brauchbarkeit lässt sich am ehesten mit der „Vertrautheit" der Nutzer mit ihrem Straßenraum, der Vielfalt der Möglichkeiten und der Intensität dieser Nutzungen umschreiben.

Identifikation ist Ausdruck der „Aneignung" des Raumes, konkret wird sie sich in der Beteiligung von Nutzern und Anliegern an der Planung und der Verwirklichung von Veränderungen auswirken.

Anregung und Schönheit sind weitere Qualitätsmerkmale der räumlichen Gestalt. Dabei meint Anregung die Eigenschaft des Raumes, die die Auseinandersetzung des Straßennutzers mit seiner Umwelt fördert, Schönheit beschreibt ein ästhetisches Qualitätsmerkmal. Dass Schönheit aber auch eine wirtschaftliche Komponente sein kann, belegt die Auseinandersetzung industriellen Designs, der Mode und der Werbung mit diesem Aspekt. Im touristischen Bereich, auf Ferienrouten, ist die Bedeutung der Schönheit beim Erleben von Stadt- und Landschaftsbild für jedermann augenfällig.

Die Einleitung der „Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung" (FGSV, 1987/96) kann denn auch hier als Zusammenfassung und Grundforderung stehen: „Die Straßen- und Platzräume sind die wichtigsten öffentlichen Bereiche in den Städten und Dörfern. Sie prägen in hohem Maße die Eigenart der Siedlung und das Erlebnis der Umwelt. Diese Räume dienen nicht nur dem Verkehr, sondern bieten auch den Rahmen für vielfältige andere Erscheinungsformen und Erfordernisse des Lebens, die sich in unterschiedlichen Ansprüchen und Funktionen äußern. Die Gestaltung der Straßenräume ist deshalb von grundlegender Bedeutung für die Erscheinung der bebauten Umwelt.

Straßenplanung innerhalb bebauter Gebiete ist daher eng mit dem Städtebau verbunden und kann nicht isoliert gesehen werden."

2.2 Konflikte zwischen Verkehr und öffentlichem Raum

Die im letzten Abschnitt definierte Grundposition ist in der Vergangenheit oft zu wenig beachtet worden; dem motorisierten Individualverkehr wurde allgemeine Priorität eingeräumt. Dies nicht nur auf dem Land, wo eine flächendeckende Versorgung mit öffentlichen Verkehrsmitteln nicht zu erreichen ist, sondern auch in den Städten und Gemeinden, die – so hoffte man gelegentlich – „autogerecht" umgestaltet werden könnten. Die Folgen waren die Verringerung der Anteile des öffentlichen Personennahverkehrs und des Fahrradverkehrs, zum Teil irreparable Eingriffe durch Verkehrsanlagen und -bauten in die Stadtstruktur und damit in das Stadtbild. Die Verkehrsfunktion, d.h. hier der motorisierte Individualverkehr, hat sich die vorhandenen Straßenräume weitgehend „angeeignet" (siehe Abb. 2.3).

Die Grenzen dieser Entwicklung sind schon seit den siebziger Jahren erreicht. Trotzdem gibt es immer noch Zuwachsraten für das Auto, es verschärfen sich die bereits hinlänglich bekannten Konflikte und Probleme, die sich nicht auf die Verkehrsfläche begrenzen lassen, sondern den gesamten Straßenraum betreffen. Bei Verbreiterungen und Neutrassierungen, z.B. von Stadttangenten, Innenstadtringen, aber auch bei Ausbaumaßnahmen des schienengebundenen ÖPNV (Stadtbahn, U-Bahn) wird in Stadtquartiere eingegriffen. Stadtstrukturen und Stadtbild werden nachhaltig verändert.

Die Konflikte liegen in den Planungszielen Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verkehrsmittel und in ihrer Beziehung untereinander begründet. Über Flächenanspruch verändern sie unmittelbar den Straßenraum. Spurbreiten und Anzahl der Spuren, Knotenpunktsaufweitungen und

Abb. 2.3 Der Konflikt zwischen Verkehr und Stadtstruktur. (Foto: Verfasser)

Schleppkurven, getrennte Geh- und Radwege mit eigenen Anforderungen, Über- und Unterführungen stehen im Widerstreit mit den verfügbaren Straßen- und Platzräumen. Selbst gut gemeinte Verkehrsberuhigungsmaßnahmen stehen oftmals im Widerspruch zum Stadt- und Straßenbild, wenn der Raum durch den Verkehrsfluss bremsende Einbauten, die Fläche durch Fahrbahnverschwenkungen, Einengungen und Aufpflasterungen in ihrem überkommenen Erscheinungsbild gestört werden. Auch eine Vielzahl von verkehrlichen Ausstattungselementen beeinträchtigt mit wachsender Tendenz die Wahrnehmungsmöglichkeiten. Verkehrszeichen, Wegweiser, Signalanlagen und Parkleitsysteme sind hier ebenso anzusprechen wie die Ver- und Entsorgungseinrichtungen, Telefonzellen, Schaltkästen, verschiedene Recyclingbehälter, Wartehäuschen und Fahrscheinautomaten an Haltestellen des ÖPNV, bis hinunter zu Sperrgittern und Pollern oder bis hinein in den privaten Bereich mit Vitrinen, Werbeanlagen und vielem mehr. Jedes einzelne dieser Elemente hat zwar seine Berechtigung, die unkontrollierte „Streuung“ im Raum entwickelt sich aber zur Belastung.

Auch der ruhende Verkehr schafft ähnliche Konflikte mit den gestalterischen Ansprüchen. Der große Parkdruck einerseits und die fehlende Fläche im öffentlichen Raum andererseits führen zu immer stärkerer – verbotswidriger – Inanspruchnahme von Geh- und Radwegen, Grünflächen und auch solchen Bereichen, die für Aufenthalt und Stadterlebnis – z.B. auf Plätzen – freigehalten werden sollten.

Diese Aufenthalts- und Erlebnisflächen, auf denen in besonderer Weise die immateriellen Bedürfnisse im öffentlichen Raum erfüllt werden müssen, werden nicht zuletzt auch durch Lärm und Abgase beeinträchtigt. Verkehrslärm und Schadstoffbelastung schränken die Nutzungsmöglichkeiten des öffentlichen Raumes ebenso wie der angrenzenden Flächen ein. Die zur Abhilfe in zunehmendem Umfang errichteten Lärmschutzwände und -wälle haben wiederum Einfluss auf Raum und Stadtbild, trennen die Anlieger vom öffentlichen Raum und schränken für den Verkehrsteilnehmer die Wahrnehmungs- und Orientierungsmöglichkeiten ein.

Wieder wird deutlich, dass die Gesamtheit der Auswirkungen des motorisierten Indivi-

dualverkehrs und in Einzelfällen auch des ÖPNV das Stadtbild beeinträchtigen kann, dass auch der Schutz vor Verkehrslärm eine gestalterische Komponente enthält, ebenso wie Maßnahmen zur Beeinflussung der Verkehrssicherheit und Geschwindigkeit. Dies vor Augen, darf das Thema „Verkehr und Stadtbild“ auch nicht auf eine Auseinandersetzung um die Gestaltung eines abgegrenzten Straßenraums reduziert werden, Die Ansätze für eine Problembewältigung greifen so weit wie Stadtverkehrsplanung insgesamt.

2.3 Ansätze für eine städtebaulich verträgliche Verkehrsplanung

2.3.1 Generelle Ziele und Maßnahmen

Für eine städtebaulich verträgliche Planung stehen drei miteinander zu verknüpfende Ziele:

- das Verkehrsaufkommen als Ganzes sollte begrenzt werden,
- der fließende und ruhende Verkehr ist innerhalb der Stadtstruktur verträglich zu verteilen und
- die erforderlichen Verkehrsflächen – Straßenräume – sind nach ihren materiellen/immateriellen Ansprüchen zu gestalten:

Für die *Begrenzung des Verkehrsaufkommens* stehen zwei Lösungsansätze. Einmal ist es eine Flächennutzungsplanung, die dezentral organisiert ist, Nutzungen mischt und die städtebauliche Entwicklung an einem System von Zentren und Achsen orientiert, das sich mit einem Liniennetz des öffentlichen Personennahverkehrs deckt. Damit ist auch bereits der zweite Ansatz angesprochen: die Veränderung des Modal-Split zugunsten des OPNV und des nicht motorisierten Individualverkehrs zugunsten des Fahrrades und des Fußgängers. Veränderungen lassen sich hier vor allem durch Angebotsverbesserungen auf der einen und Restriktionen auf der anderen Seite erreichen.

Die *Verteilung des Verkehrsaufkommens* in der Stadt verlangt auch heute noch den Bau von Straßen, aber insbesondere den Ausbau des ÖPNV. Der Bau von S- und U-Bahnen, Straßenbahntrassen und speziellen Busnetzen greift ebenso in die bestehenden Straßenräume ein wie Verkehrsberuhigungsmaßnahmen, die wiederum leistungsfähige Hauptverkehrsstraßen voraussetzen. Mit dem Neubau von Ortsumgehungen sollte ein Rückbau der bisherigen Ortsdurchfahrten beginnen. Radwegenetze und attraktive, sichere Fußwege sind bereitzustellen. Beim ruhenden Verkehr ist vorrangig der Bedarf der Anlieger sicherzustellen, danach der Liefer- und Kundenverkehr. Die Beschäftigten, die Pendler können dagegen den ÖPNV in Anspruch nehmen bzw. bei Dezentralität und Nutzungsmischung auf kurzen Wegen auch das Fahrrad.

Schließlich stellt sich die *gestalterische Aufgabe.* Funktionsgerechte und attraktive Gestaltung erhöht die Akzeptanz, nicht nur beim Rückbau von Straßenräumen zur Verkehrsberuhigung, sondern auch beim Ausbau von Hauptverkehrsstraßen oder Umgehungsstraßen, wenn es gelingt, die Orientierung zu verbessern oder Lärmschutzanlagen und Verkehrsbauwerke wie Brücken und Tunnel qualitätvoll in die Umgebung zu integrieren.

Bei alledem gilt ein übergreifender Ansatz, der immer beachtet werden sollte und der der Komplexität der Aufgabe Rechnung trägt: die Verpflichtung zu einer ganzheitlichen Vorgehensweise und zu interdisziplinärer Arbeit. Neben dem Verkehrsplaner und Bauingenieur ist der Stadtplaner/Architekt beteiligt, aber auch der Landschaftsplaner, Denkmalpfleger,

Soziologe, von Fall zu Fall auch weitere Fachdisziplinen. Sie sind zu kooperativer Arbeit auf das gemeinsame Ziel hin aufgefordert.

2.3.2 Ganzheitlich-interdisziplinäre Planungsmethoden

2.3.2.1 Vorbemerkungen

Drei bedeutungsvolle Instrumente des Städtebaus, die im Baugesetzbuch verankert sind, spielen in der Praxis der Stadtplanung eine wesentliche Rolle:

- der Flächennutzungsplan (vorbereitender Bauleitplan),
- der städtebauliche Rahmenplan,
- der Bebauungsplan (verbindlicher Bauleitplan).

Auf allen drei Planungsebenen sind verkehrliche Aspekte wesentlicher Teil der Grundlagen, Ziele und Maßnahmen. Und bei allen ist eine Verknüpfung zum vorhandenen Stadtbild und den Vorgaben für seine Weiterentwicklung gegeben. Die Eingriffsmöglichkeiten sind aber sehr unterschiedlich, die Veränderungs- und Weiterentwicklungsmöglichkeiten eines Flächennutzungsplans als Ganzem naturgemäß anders als in einem Bebauungsplan, der z.B. einen neuen Siedlungsbereich erschließt.

2.3.2.2 Übergeordnete Planungen

So wird auf der Ebene des Flächennutzungsplans Verkehrsaufkommen und Verteilung entscheidend vorbestimmt, wenn z.B. über die Umnutzung innerstädtischer Areale, neue Siedlungsflächen, Nutzungstrennung oder -mischung und die Zuordnung von Infrastruktureinrichtungen entschieden wird. Dies findet natürlich alles innerhalb einer gewachsenen Stadtstruktur statt.

Das vorhandene Erschließungsnetz, die verkehrliche Infrastruktur, aber auch die Flächenressourcen, selbst die Topographie spielen eine entscheidende Rolle. Die Methoden der Verkehrsplanung ermöglichen aber heute, im Variantenvergleich die Folgen einzelner Entscheidungen abzuwägen. Sie liefern Grundlagen für Konzepte, um unnötige Verkehre zu vermeiden, Wege kurz zu halten und damit den Modal-Split zu beeinflussen.

Flächennutzungsplanung und *Verkehrsentwicklungsplanung* müssen Hand in Hand mit der *Regionalplanung* an einem schlüssigen Zentren-Achsen-Konzept (siehe Abb. 2.4) arbeiten, wobei die Siedlungsentwicklung in Verdichtungsbereichen mit den Achsen des öffentlichen Personennahverkehrs übereinstimmen sollte. Ein abgestuftes Zentrenkonzept – das ist kein Widerspruch – hat für ein dezentrales Angebot an Infrastruktureinrichtungen zu sorgen, so dass dem Bürger auf kurzem Wege die erforderlichen Versorgungseinrich-

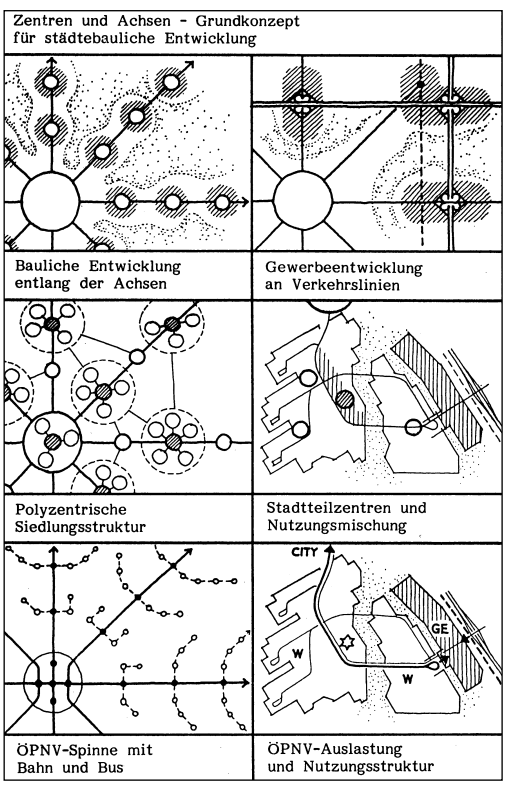


Abb. 2.4 Zentren und Achsen – Grundkonzept für städtebauliche Entwicklung. (Eigene Darstellung)

tungen, Dienstleistungen, Freizeit-, Sozial- und Bildungseinrichtungen sowie ein kulturelles Angebot erreichbar sind. Auch eine größtmögliche Mischung von Wohnen und Arbeiten durch nicht-störende Gewerbe in den Quartieren kann z.B. unnötige Pendlerverkehre oder Belastungsspitzen vermeiden helfen. Durch gegenläufige Berufspendler-, Schüler-, Wirtschafts-, Versorgungs- und Freizeitfahrten werden Straßen und ÖPNV gleichmäßiger ausgelastet (Abb. 2.4 rechts unten). Auch ein solcher Ansatz hat Auswirkungen auf das Stadtbild, um das es in diesen Kapiteln vorrangig gehen soll. Ein System von Zentren und Achsen erleichtert die Orientierung, Dezentralität erhält die gewachsenen, historischen Siedlungszentren, fördert Identität und Identifikation der Bürger mit ihrem Stadtteil.

2.3.2.3 Städtebauliche Rahmenplanung

Erreichbar ist diese Steuerung des Verkehrsaufkommens durch die Integration der Verkehrsplanung in die Stadtentwicklungspolitik und vor allem Flächennutzungsplanung. Dies ist auch und gerade auf der nächsten schon konkreteren Ebene der *städtebaulichen Rahmenplanung* der Fall, die darüber hinaus den Vorteil hoher Flexibilität durch ihren informellen Charakter hat. Städtebauliche Rahmenpläne werden aufgestellt für einzelne Stadtteile oder für in sich abgeschlossene Quartiere, aber auch zur städtebaulichen Einbindung größerer Verkehrsprojekte, z.B. von Tangenten und Ortsumgehungen (siehe Abb. 2.5). Sie stellen damit eine Vorstufe und Grundlage für die später noch zu behandelnde stadtgestalterische Begleitplanung dar.

Im Gegensatz zum Flächennutzungsplan sind städtebauliche Rahmenpläne darüber hinaus attraktive Instrumente für die Kommunalpolitik und die Öffentlichkeitsarbeit, besonders geeignet durch ihre räumliche Begrenzung und die Offenheit der Darstellungsform, die damit auch bestimmte Bevölkerungsgruppen gezielt ansprechen kann (Bürgervereine). Sie konkretisieren die Leitplanung, setzen die städtebaulichen Ziele in Konzepte und Maßnahmen um und sprechen selbst Finanzierung und Realisierung an. Schließlich lässt der Rahmenplan durch seine Flexibilität (er ist noch nicht rechtlich fixiert wie der Bebauungsplan) Spielräume für neue Bewertungen, Infragestellungen und Reaktionen, Bürgerbeteiligung und grundsätzlich Innovation. Das bedeutet umgekehrt, dass der städtebauliche Rahmenplan zwangsläufig alle Beteiligten an einen Tisch bringen muss, nicht nur – interdisziplinär – die Planer der einzelnen Fachdisziplinen (siehe Abb. 2.6), sondern dazu die Politiker, die später zu entscheiden haben, die Bürger und ihre Vertreter, die mitsprechen sollen. Kein städtebaulicher Rahmenplan wird heute mehr ohne die verkehrliche Komponente zu behandeln sein, die die betroffenen Anwohner in aller Regel am meisten beschäftigt. Sie sind es zwar selbst, die den Verkehr erzeugen, soweit es sich nicht um Durchgangsverkehre handelt, doch sie leiden auch unmittelbar unter Verkehrslärm und Abgasen, unter Verkehrsgefährdung durch zu hohe Geschwindigkeiten, unter der Parkraumnot. Verkehrsberuhigung und Parkplatzsorgen sind stereotype Schwerpunkte der allermeisten kommunalpolitischen Informationsveranstaltungen.

Moderne Verkehrsplanung kann darauf reagieren, aber sie braucht dazu ein ganzheitliches Konzept, das den Städtebau und damit die an die Straßenräume angrenzenden Bereiche einbezieht.

Neben der Weiterentwicklung der allgemeinen Nutzungszusammenhänge, beim Flächennutzungsplan beschrieben, erhält die gestalterische Komponente beim städtebaulichen Rahmenplan noch ein besonderes Gewicht. Verkehrsberuhigung wird mit Stadterneuerungs- oder Wohnumfeldprogrammen verknüpft, durch die Verlagerung von Durchgangsverkehren und die Entlastung von Lärm und Abgasen

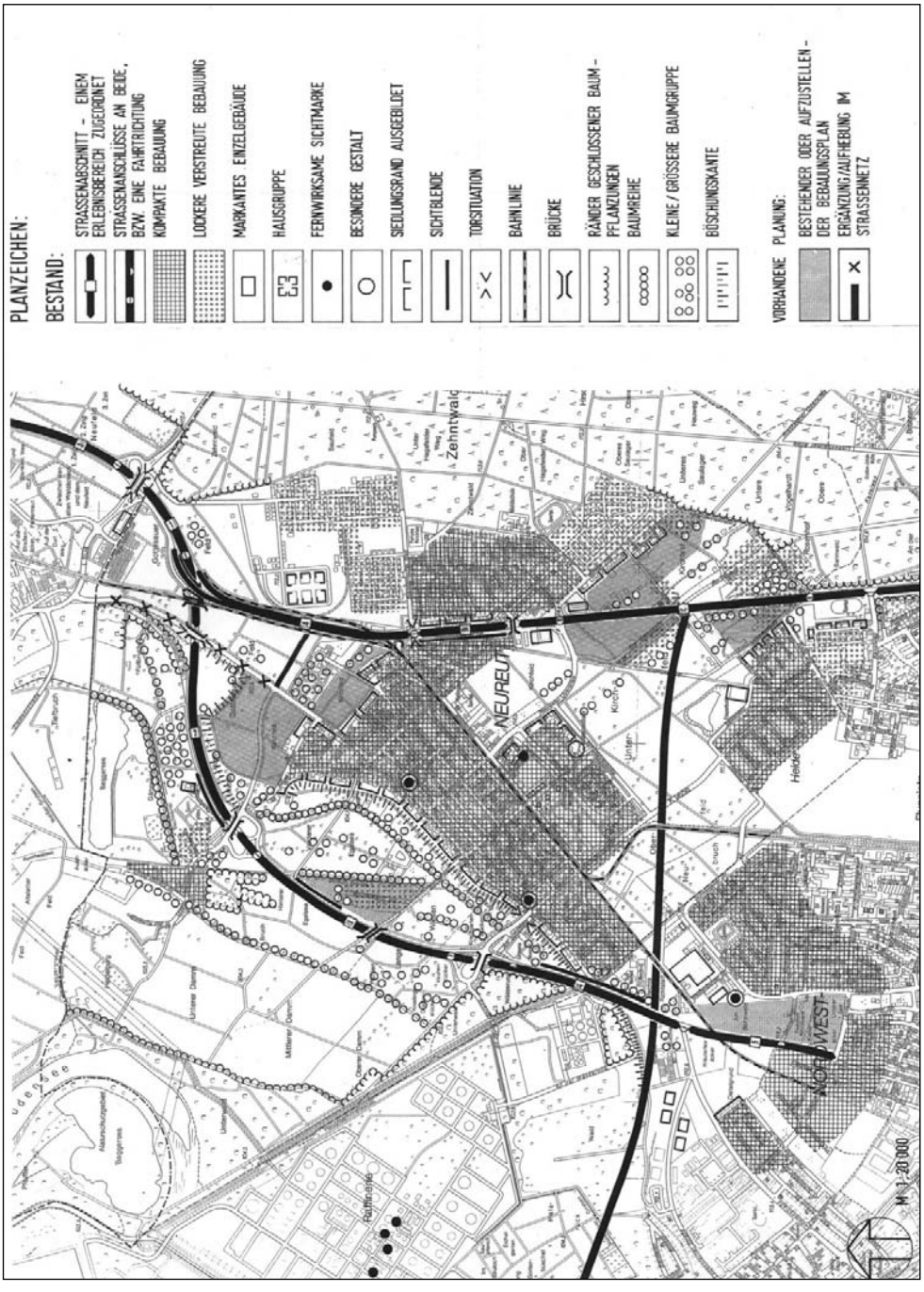


Abb. 2.5 Städtebauliche Rahmenplanung im Umfeld von Stadteinfahrten. (Stadtplanungsamt Karlsruhe)

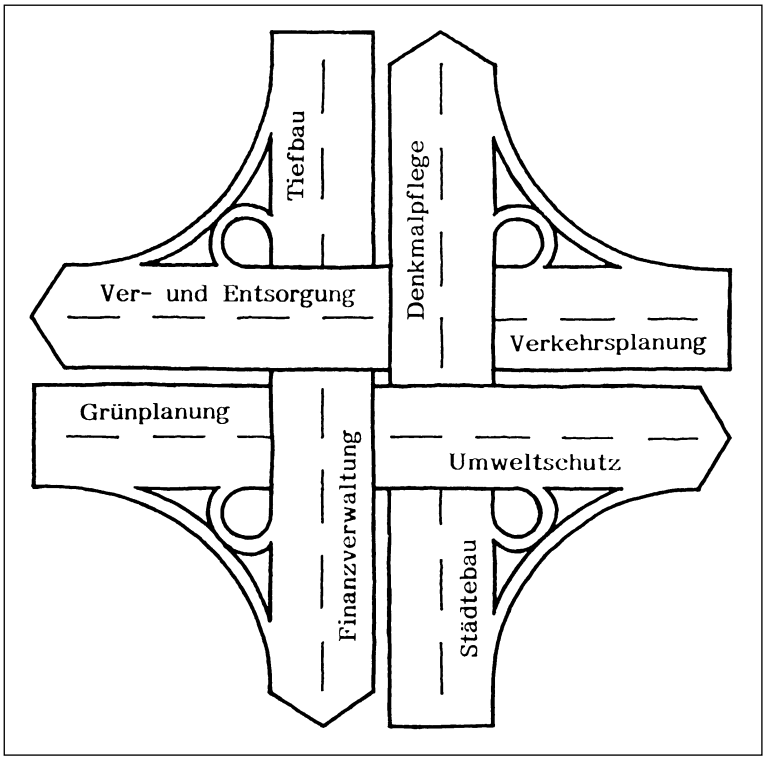


Abb. 2.6 Die Verflechtung der einzelnen Fachplanungen bei der Straßenraumgestaltung. (Eigene Darstellung)

wird das Quartier aufgewertet, Rückbau und Umnutzung in den Straßenräumen – nicht zuletzt unter Berücksichtigung der immateriellen Bedürfnisse – ermöglicht. Es müssen aber auch die neuen Umgehungsstrecken oder die Bauten für den öffentlichen Personennahverkehr, Lärmschutzanlagen entlang dieser Trassen in die Siedlungen oder deren Ränder eingebunden werden: wiederum Aufgabe nicht nur für den Verkehrsingenieur, sondern auch für Stadt- und Landschaftsplaner. Als Beispiel ist die Bündelung von Verkehrstrassen – Straße und Bahn – im Bereich vorhandener Nutzungsgrenzen, etwa zwischen einem Grünraum und einem Gewerbegebiet, zu nennen (siehe Abb. 2.7 und 2.8).

Abb. 2.7 Die Bündelung von Verkehrsstraßen an Nutzungsgrenzen. (Luftbild Brugger)

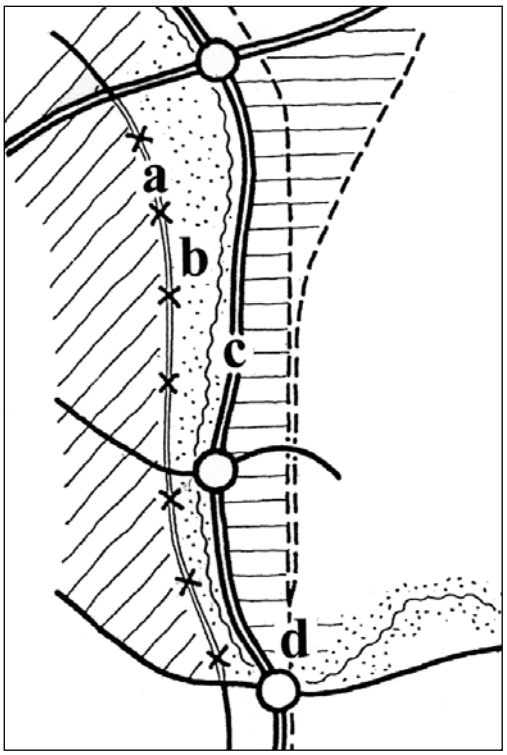


Abb. 2.8 Schemaskizze zu Abb. 2.7:
a – aufgegebene alte Straßenverbindung
b – Grünraum, dem Wohnen zugeordnet
c – neue Stadttangente am Gewerbegebiet
d – Bündelung von Straße und Bahnlinie
(Eigene Darstellung)

2.3.2.4 Bebauungsplan und stadtgestalterischer Beitrag

Der Bebauungsplan als unterste Stufe in der Hierarchie der Planungsebenen der Gemeinde enthält den aus dem städtebaulichen Rahmenplan entwickelten Entwurf für die Neuordnung eines vorhandenen Baugebietes ebenso wie für ein Neubaugebiet. Mit dem Bebauungsplan wird der Entwurf über die vorgeschriebenen Verfahrensschritte zur rechtsverbindlichen städtischen Satzung, bei Neubaugebieten Grundlage der Bodenordnung und Erschließung. Die Zusammenarbeit der einzelnen Disziplinen ist über vorgeschriebene Anhörungsverfahren geregelt, so dass die Integration der Verkehrsplanung in eine ganzheitliche Stadtplanung sinnvoll umgesetzt werden kann. Die Verfahrenswege sind übrigens immer die gleichen, gleichgültig ob es sich bei der Aufgabenstellung des Bebauungsplans um die Neuordnung des Umfeldes einer innerstädtischen Hauptverkehrsstraße handelt, um ein Sanierungsgebiet mit Verkehrsberuhigung oder eine städtebauliche Erweiterung mit neuerem, nach heutigem Stand abgestuften und dimensionierten Straßennetz. Dabei wird übrigens zwingend und präzise der Straßenraum definiert, und zwar durch die eindeutige Festlegung der Verkehrsflächen, der Parkierung, durch Vorgartenflächen, Baufluchten und Gebäudehöhen sowie Dachformen. Die Verträglichkeit des Verkehrs mit den angrenzenden Nutzungen ist ebenso Bestandteil des Abwägungsprozesses im Verfahren wie die Grünordnung.

Während somit beim Bebauungsplan – auf kommunaler Ebene – der geforderte ganzheitliche Ansatz und die Interdisziplinarität bei der Planung weitgehend gewährleistet ist, ist dies bei *Planfeststellungsverfahren* für Straßen oder Bahnstrecken noch nicht durchgängig der Fall. Zwar ist die Berücksichtigung der materiellen Ansprüche im Verfahren durch Vorgaben und die beteiligten Stellen abgedeckt, immaterielle Bedürfnisse finden hier jedoch zu wenig Aufmerksamkeit, vielfach auch nur in Verbindung mit dem Umweltrecht.

Dabei wurde diese Problematik schon 1980 von der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen aufgegriffen und in einem Kongress zum Thema „Straße und Umwelt“ (FGSV, 1980) behandelt, „Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung“ (FGSV, 1987/96) wurden 1987 veröffentlicht und 1996 wesentlich ergänzt und erweitert. Auch die „Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen“ – EAE 95 (FGSV, 1985/95) gehen von einem ganzheitlichen Straßenraumentwurf aus, ebenso wie die „Empfehlungen

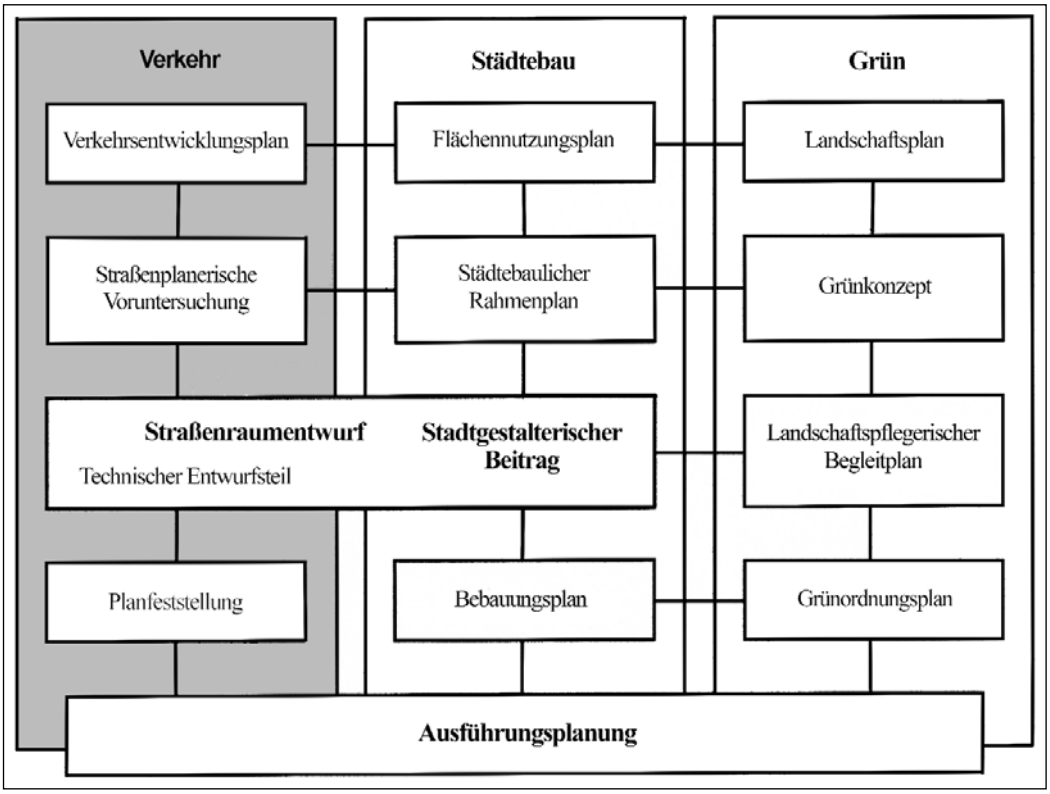


Abb. 2.9 Die Einbindung des stadtgestalterischen Beitrags in den Planungsablauf. (Eigene Darstellung)

für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen“ – EAHV 98 (FGSV, 1993/98). Ansatz ist, auch einen *stadtgestalterischer Beitrag* zu fordern, vergleichbar dem Landschaftspflegerischen Begleitplan.

Inhalte und Methodik des stadtgestalterischen Beitrages sind in den „Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung“ (FGSV, 1987/96) ausgeführt und durch Beispiele belegt. Insbesondere werden die Mittel der Straßenraumgestaltung, untergliedert in Raumbildung, Gestaltung einzelner Raumteile und Raumausstattung, dargestellt. Es ist ausgeführt, wie unverwechselbare Straßenräume durch die Handhabung von Raumstruktur, Proportion, Raumfolgen und -verknüpfung geschaffen werden können, bei Umbau von Straßenräumen durch den Erhalt, die Betonung oder die Wiederherstellung dieser Strukturen. Zu einzelnen Raumteilen werden Ausführungen über Fahrbahn und Seitenräume, Verweilflächen und Verkehrsbauwerke u.a.m. gemacht, unter dem Abschnitt Raumausstattung schließlich die Bepflanzung und Beleuchtung, verkehrstechnische Einrichtungen und „Straßenmobiliar“ im weitesten Sinne behandelt.

Der methodische Teil führt diese Zusammenarbeit weiter. Je nach Projektumfang und Schwerpunkt ist entweder eine Bearbeitung als Straßenraumentwurf mit integriertem stadtgestalterischen Beitrag oder aber als eigenständiger Fachbeitrag des Städtebaus sinnvoll, je nach Bedeutung mit unterschiedlicher Tiefe und unterschiedlichen Anforderungen. Dabei werden im Straßenentwurf in erster Linie die materiellen, im stadtgestalterischen Beitrag

die immateriellen Ansprüche behandelt. Stadtplanung und Verkehrsplanung arbeiten parallel – interdisziplinär – auf den Straßenraumentwurf hin (siehe Abb. 2.10). Für den stadtgestalterischen Beitrag sind dabei folgende Bearbeitungsschritte erforderlich:

- Darstellung des Einwirkungsbereiches mit Bezeichnung der Flächen, auf die das Projekt einwirkt und die Art der Einwirkung
- Stadtgestalterische Bestandsanalyse
- Städtebauliches Konzept für den Einwirkungsbereich mit Nachweis des Bezuges zur Bauleitplanung und zu sonstigen städtebaulichen Rahmenplänen, mit Gestaltungs- und Nutzungskonzepten und ggf. den örtlichen Satzungen
- Maßnahmen zur Realisierung des städtebaulichen Konzeptes mit Detailaussagen sowohl zum Straßenraum selbst als auch zur Nutzung und Gestaltung des Einwirkungsbereiches.

Die methodischen Ansätze wurden seinerzeit durch einen Forschungsauftrag des Bundesministers für Verkehr unter dem Titel „Der stadtgestalterische Beitrag als Planungsinstrument der Straßenraumgestaltung“ (Durth et al., 1990) vertieft.

Während die Integration auf kommunaler Ebene durch eine ämterübergreifende Projektarbeit gewährleistet werden kann, bietet sich für Straßenbauverwaltungen die Zusammenarbeit mit freien Planungsbüros an, für beide auch noch der Weg über Wettbewerbe. Für Hochbauprojekte die Regel, werden städtebauliche Wettbewerbe immer häufiger auch für Platz- und Straßenraumprojekte und Verkehrsbauwerke zur Erlangung qualitätvoller Alternativen eingesetzt. *Die Diskussion* dieser Alternativen mit Entscheidungsträgern und betroffenen Bürgern ist durchweg wertvoll, sie erleichtert nicht nur die Auswahl derjenigen Lösung, die den Zielen am besten entspricht, sondern fördert letztlich auch die Akzeptanz des Vorhabens. Es ist auch der Befürchtung zu

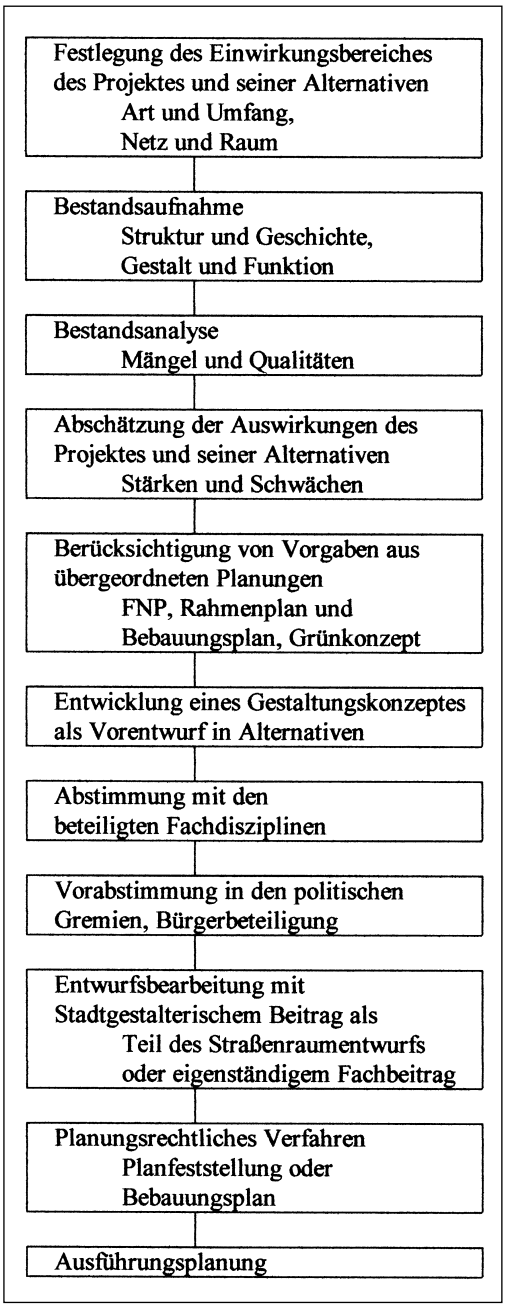


Abb. 2.10 Bearbeitungsschritte beim Straßenraumentwurf und stadtgestalterischen Beitrag. (Eigene Darstellung)

widersprechen, dass dadurch zusätzliche, nicht tragbare Kosten entstehen. Gerade durch Wettbewerbe können Lösungen gefunden werden, die qualitätvoll und zugleich preiswert sind.

2.3.3 Planungsschwerpunkte aus städtebaulicher Sicht

2.3.3.1 Verkehrsberuhigung

Um das bestehende Straßennetz, die einzelnen Straßen- und Platzräume stadtverträglich neu- oder umgestalten zu können, bedarf es in den meisten Fällen zunächst einer Begrenzung des motorisierten Individualverkehrs, der sie heute belastet. Gestalterische Maßnahmen können bis zu einem gewissen Grad „Kompensationseffekte“ bewirken, Belastungen durch Lärm und Abgase mildern. Gestalterische Mittel werden auch im Bereich der Verkehrsberuhigung eingesetzt, sei es in Form von Geschwindigkeitsbegrenzungen bis hin zu flächenhaften Tempo-30-Regelungen, durch Einrichtung verkehrsberuhigter Zonen mit Mischflächen und einer Beschilderung nach § 325/326 StVO. Die Ziele solcher Verkehrsberuhigungsmaßnahmen sind offensichtlich. Neben den Sicherheitserwägungen und der Verdrängung des Durchgangsverkehrs, die im Vordergrund stehen, sollen Straßen nicht mehr trennen, die Bedürfnisse der nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer, deren Aufenthalt und auch die Stadtgestalt wieder in den Mittelpunkt rücken. Dabei wird gelegentlich des Guten zu viel getan. So einig man sich über das Ziel ist, so vielfältig und divergierend sind die diskutierten Wege (siehe Abb. 2.11).

Zwei Grundforderungen sind für Geschwindigkeitsdämpfung auf Ortsdurchfahrten und Verkehrsberuhigung in ganzen Quartieren abzuleiten: Zum einen sollten die Maßnahmen zwar effektiv sein, dabei aber auch die Hoffnung berücksichtigen, dass sich die Ziele eines rücksichtsvolleren und umweltbewussteren Fahrverhaltens mit der Zeit auch allgemein durchsetzen. Die erforderlichen baulichen Maßnahmen könnten vielfach auch provisorisch gestaltet sein. Zum anderen sollten endgültige Lösungen wie Querschnittsveränderungen, Fahrbahnverschwenkungen und das Pflanzen von Bäumen stadtgestalterischen Leitbildern unterworfen bleiben. Es kann nicht angehen, dass die Mittel der Verkehrsberuhigung in Form von modisch oder nostalgisch ausgeformten Möblierungselementen wahllos jeden Straßenzug überziehen und damit die Unverwechselbarkeit der Räume, ortstypische Qualitäten, Materialien und räumliche Zusammenhänge zerstören. Weniger ist meistens mehr. Es gibt ein weiteres restriktives Element der Stadtverkehrsplanung, die Parkraumbe-

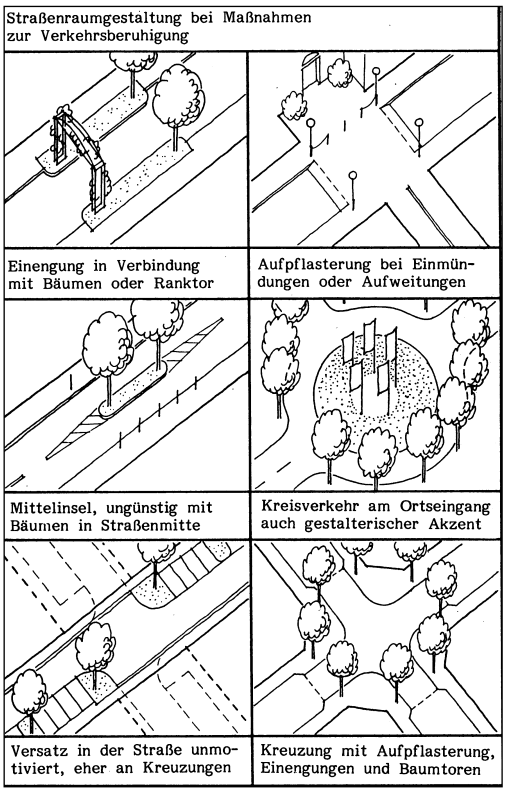


Abb. 2.11 Straßenraumgestaltung bei Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung. (Eigene Darstellung)

wirtschaftung, die es insbesondere Pendlern erschwert, mit dem Auto ihren Arbeitsplatz aufzusuchen. Auf Kapitel C 5 wird hierzu verwiesen.

2.3.3.2 Schienenverkehr

Die Instrumente einer Verbesserung und Attraktivitätssteigerung, insbesondere im schienengebundenen öffentlichen Nahverkehr, sind bekannt (siehe Kapitel C 6). Die Qualität des Angebots spielt eine Rolle: Fahrzeuge mit ausreichendem Sitzplatzangebot, kurzer Zeittakt und ein sinnvolles Tarifsystem, Bequemlichkeit und hohe Geschwindigkeit, z.B. durch eigene Gleiskörper oder Busspuren, günstige Umsteigebedingungen und Park-and-Ride, jedoch überhaupt – wie oben bereits ausgeführt – durch ein sinnvolles Netz in Übereinstimmung mit einem Zentren- und Achsensystem der Flächennutzung. Dabei ist ein abgestuftes Angebot mit entsprechenden Reisegeschwindigkeiten erforderlich: der Übergang vom Bus auf die Straßenbahn, weiter auf die Stadtbahn, U-Bahn, S-Bahn, den Regionalverkehr bis hin zum EC- und ICE-Netz.

Soweit damit der motorisierte Individualverkehr eingegrenzt werden kann und die Umwelt entlastet wird, ist dies sicher eine wünschenswerte Entwicklung. Ist sie aber immer stadtverträglich? Die Entwicklung des Schienenverkehrs im 19. Jahrhundert hat bereits damals zu gravierenden Eingriffen in die Stadtstrukturen geführt, die auch heute noch vielerorts die Stadtentwicklung hemmen. Bahnlinien haben eine starke Trennwirkung und bereits früher Siedlungen getrennt oder Entwicklungsmöglichkeiten beschnitten. Nutzungsstrukturen wurden hart begrenzt, „hinter der Bahn“ begann eine andere Welt. Dies ist noch heute der Fall. Selbst bei Durchgangsbahnhöfen, die nach und nach in die Stadt „hineingewachsen“ sind, ist ein solches Gefälle zwischen der Bahnhofshallenseite und der Streckenseite spürbar. Problematisch sind auch die in mehreren Großstädten vorhandenen Kopfbahnhöfe mit einem großflächigen Bahnhofsvorfeld, die oft weder verkehrlich noch städtebaulich befriedigen können – sieht man von den oftmals grandiosen Bahnhofsarchitekturen ab. Um diese Bahnhöfe in ein sinnvolles Nahverkehrsnetz zu integrieren, sind meist U- und S-Bahn-Netze erforderlich. Als Beispiele stehen hierfür heute noch München, Stuttgart, Frankfurt, eisenbahngeschichtlich vor allem auch Berlin. Die Einrichtung neuer Schnellbahnverbindungen führt gerade bei diesen Bahnhöfen zu erheblichen Problemen, in vielen Fällen wird die Unterquerung der Kernstadt mit Neubaustrecken diskutiert bzw. konkret geplant, im Ausland z.B. in Wien und Budapest.

Die Auswirkungen auf die Orientierung, das Erlebnis des Stadtbildes liegen auf der Hand. Visuelle Bezüge für den Bahnbenutzer zur Umwelt über der Erde bestehen nicht mehr, Funktionen aus dem öffentlichen Straßenraum werden in unterirdische Passagenlabyrinthe verlagert. Nicht selten bedingen die Tunnelprojekte erhebliche Eingriffe in die innerstädtischen Bebauungsstrukturen.

Als vermeintliche Alternative kann das Beispiel Frankreichs stehen. Dort wurden neue Streckenbahnhöfe der TGV-Trassen „auf der grünen Wiese“ eingerichtet, zum Teil weitab von den Siedlungsschwerpunkten. Vereinzelt gibt es diese Entwicklung auch an den Neubaustrecken der Deutschen Bahn. Trennwirkungen der Strecken, Reduktion der Umweltwahrnehmungen auf gelegentliche Landschaftsausblicke oder Ansichten von Lärmschutzwänden und Wällen sind die Folge. Orientierung und Wahrnehmung des Stadtbildes sind auch hier eingeschränkt, der Weg in die Stadt, das Erlebnis der „Stadteinfahrt“ wird auf die Straße verlagert.

Auch die Straßen- und Stadtbahnen können erhebliche städtebauliche Probleme auslösen (FGSV, 2003).

- Konflikte in Innenstadtbereichen durch gefährliche funktionale Trennwirkungen,
- Unverträglichkeit der Wagengrößen (Länge und Querprofil) mit den Straßenräumen in Dorf und Stadt,
- Belastungen für Grün- und Freiräume.

Führen Straßenbahnlinien durch Geschäftsstraßen, kommt es bei kurzer Zugfolge und großen Wageneinheiten zu erheblichen Erschwernissen für die Fußgänger, ungeachtet relativ niedriger Unfallzahlen. Vor allem werden Nutzungszusammenhänge unterbrochen und Barrieren für ein attraktives Einkaufserlebnis aufgebaut (siehe Abb. 2.12).

Ein Teil der Fahrzeuge wird immer aufwendiger, dabei größer und länger, S-Bahnen ähnlich. Sie fahren gelegentlich in Doppeltraktion, benötigen Haltestellenlängen bis zu 80 m. So können die großen Wagenzüge Straßen- und Lebensräume zerstören, dies vor allem in Altstädten und in den engen Dorfstraßen mit kleinmaßstäblicher Randbebauung.

Werden Stadt- und Straßenbahngleise durch öffentliche Grünräume geführt, versucht man deren massive Auswirkungen durch Rasen- bzw. Grüngleise zu mildern. Diese „Camouflage“ löst dennoch nicht die funktionalen und gestalterischen Konflikte. Es treten Sicherheitsfragen auf, die wieder grüngestalterische Sonderlösungen erfordern. Nur über eine enge Zusammenarbeit der jeweils zuständigen Planer kommt man zu einem vertretbaren Ergebnis. Grüngleise im normalen, städtischen Straßenraum können durchaus die Gesamtwirkung der Verkehrsflächen positiv beeinflussen. Sie sollten aber keineswegs als Allheilmittel für „sensible“ Straßenbereiche gesehen werden. In engen, ausgesprochen städtischen Straßenräumen sind sie in jedem Fall zu vermeiden. Hier eignet sich nur Pflasterung zwischen den Schienen. Auch die Führung von Gleisen in Alleen, ob bei der nachträglichen Einfügung oder bei einer Neuplanung, bedarf intensiver Alternativüberlegungen zum Straßenquer-

Abb. 2.12 Stadtbahnen in einer Fußgängerzone. (Roland Fränkle, Bildstelle der Stadt Karlsruhe)

schnitt. Einen für alle Straßenbreiten, Straßenfunktionen und alle Gebietsarten gültigen Regelquerschnitt gibt es nicht.

Um diese Konflikte bei der Neuplanung von ÖPNV-Achsen zu vermeiden, ist es auch hier zwingend, dass alle Fachdisziplinen zusammenarbeiten. In den Beurteilungen der Trassenalternativen muss die städtebauliche Verträglichkeit eine besondere Bedeutung erhalten. Auswirkungen auf das Stadt- bzw. Ortsbild, Zerschneidung von Grünbereichen und Zerstörung von Nutzungszusammenhängen haben bei der Abwägung ebenso berechtigten Einfluss wie Erschließungswirkung und Wirtschaftlichkeit der Bahntrasse. Außerdem müssen die Entscheidungen nicht nur den aktuellen Zustand, sondern auch die im Flächennutzungsplan beabsichtigten Entwicklungen und Veränderungen berücksichtigen (siehe Abb. 2.13). Die Trassen können nicht alle 10 Jahre verlegt werden. Unter Umständen muss auch eine vorgesehene, politisch geforderte Bahnlinie aufgegeben bzw. anders geführt werden, wenn sie zu unverträglichen, den Charakter eines Dorfes oder eines Stadtteils zerstörenden Veränderungen führt (siehe Abb. 2.14).

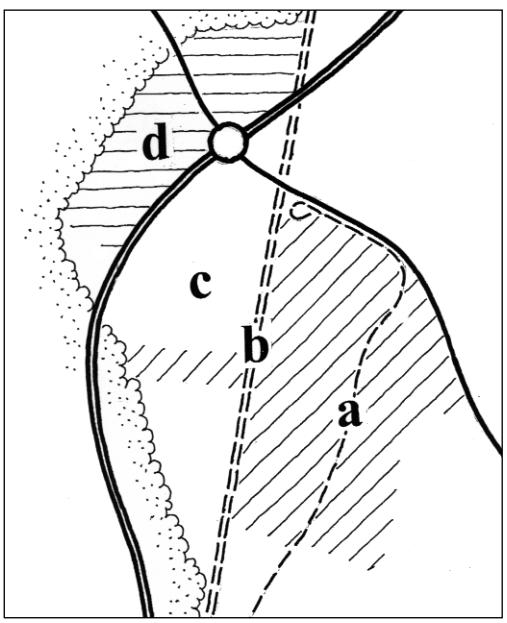


Abb. 2.13 Führung der Bahnlinien im Siedlungszusammenhang:
a – alter Dorfkern mit neuer Stadtbahnlinie
b – bestehende Bahnlinie in Randlage
c – Entwicklungsbereich
d – Gewerbegebiet
(Eigene Darstellung)

Selbst bei der Entscheidung über neue Fahrzeuge (Größe, Form und Farbe) sind die für die Stadtgestaltung Verantwortlichen zu beteiligen. Straßen- und Stadtbahnen, die sich innerhalb bebauter Gebiete bewegen sollen, müssen auf deren Struktur und Maßstäblichkeit abgestimmt sein, bei der Auswahl der Fahrzeuge dürfen nicht nur betriebliche und wirtschaftliche Kriterien ausschlaggebend sein.

2.3.3.3 Nicht motorisierter Individualverkehr

Bei der angestrebten Veränderung des Modal-Split kommt natürlich auch dem Fußgänger- und Radfahrerverkehr hohe Bedeutung zu. Zu diesem Verkehrsanteil gehören die schwächsten Verkehrsteilnehmer: Kinder und alte Menschen, Behinderte. Für sie sollen und müssen ausreichend breite Flächen für Bewegung und Aufenthalt sowie Überquerungshilfen über Fahrbahnen und Gleiskörper zur .Verfügung stehen, die nicht durch illegale Parker blokkiert oder durch ein hohes Geschwindigkeitsniveau auf der angrenzenden Fahrbahn gefährdet werden. Radfahrer spielen dabei in zunehmendem Maße eine bislang falsch eingeschätzte Rolle. Bei sinkendem allgemeinen Geschwindigkeitsniveau ist mittlerweile eine höhere Verträglichkeit des Radfahrers mit dem Autoverkehr als mit Fußgängern möglich. Ein Angebot an Radwegen schließt nicht aus, dass die Radfahrer die Fahrbahn mitbenutzen oder – wie die Fußgänger selbst – vom Radweg auf den Gehweg pendeln. Es muss gezielt von Fall zu Fall geprüft werden, welchem Funktionsbe-

Abb. 2.14 Stadtbahnlinie im alten Dorfkern. (Foto: Verfasser)

reich der Radfahrer zuzuordnen ist. In Tempo-30-Zonen sind eigene Radwege sicher verzichtbar, ein attraktives Radwegenetz mit Stadtteilverbindungen parallel zu Hauptverkehrsstrecken, Übergängen zum ÖPNV (Bike and Ride) sowie Anbindungen an den Landschaftsraum ist dagegen erforderlich (siehe hierzu auch Kapitel C 3, C 4 und C 7.1). Dabei können Radwege durch Reduzierung der Fahrspurbreiten gewonnen werden. Gestalterisch relevant sind diese Überlegungen immer dort, wo eine zusätzliche, zweckbestimmte Untergliederung der Verkehrsflächen den Straßenraum weiter teilt, wo wechselnde Materialien – rote Farbe – Unruhe bringen. Auch in Kreuzungs- und Einmündungsbereichen, besonders bei Plätzen, sind diese gestalterischen Auswirkungen zu beachten. Werden aber Radwege eingerichtet, sollten sie nicht durch Ausstattungselemente (Masten, Schaltkästen) oder Parker eingeengt werden – nicht nur aus funktionalen Erwägungen (siehe Abb. 2.15). In die-

Abb. 2.15 Fahrradabstellanlagen im Stadtzentrum. (Foto: Verfasser)

sem Zusammenhang sollte man aber auch Abstellanlagen für Fahrräder nicht vergessen. Sowohl der Fahrradständer im Detail als auch die gesamte Abstellanlage müssen wie die übrigen Ausstattungselemente bewusst in die Gestaltung des Raumes einbezogen werden, um Konflikte zu vermeiden.

2.3.3.4 Wirtschaftsverkehr

Die Städte werden in Zukunft durch das Anwachsen des Wirtschaftsverkehrs mit Lkw zusätzlich belastet (vgl. Kap. B 6). Auch hier gibt es die Diskussion, welche Anteile des Güterverkehrs die Schiene bzw. der Lkw übernehmen können und müssen. So notwendig der Wirtschaftsverkehr auf der Straße für einen funktionierenden Stadtorganismus ist, so kritisch sind seine Auswirkungen zu beurteilen. Abgesehen vom allgemeinen Anwachsen der Verkehrsbelastung, von Lärm und Abgasen bezieht sich dies vor stadtgestalterischem Hintergrund auch auf Spurbreiten und Radien, Ausbaustandards also. Unter den Aspekten der Rationalisierung und Wirtschaftlichkeit werden immer größere Einheiten – Lastzüge, Sattelzüge – verkehren, während die in Jahrhunderten gewachsene Stadtstruktur in den Kernbereichen allenfalls Kleinlastwagen bis 7,5 t verträgt.

Die Unterscheidung zwischen den Fahrzeugtypen und -größen des Wirtschaftsverkehrs führt zwangsläufig zu einer Betrachtung, wie der Wirtschaftsverkehr in *die* Stadt und in *der* Stadt gesteuert werden kann. Dabei sollte der Fernverkehr mit oft schweren Gütern und großen Fahrzeugen möglichst von den Innenbereichen der Stadt ferngehalten werden. Die Feinverteilung in der Stadt kann dann durch einen städtischen Nahverkehr erfolgen. An der Schnittstelle zwischen Fern- und Nahverkehr sind planerische und organisatorische Ansätze wie die Einrichtung von *Güterverkehrszentren* geboten. Hier ist die Entwicklung noch nicht abgeschlossen, wie auch aktuelle Forschungen zeigen. Regionale Eigenheiten – Standorte und verfügbare Verkehrsmittel – sind zu beachten. Seit 2001 wird z.B. in Dresden das Straßenbahnnetz auch zum Gütertransport genutzt. Ob 60 m lange CarGoTram-Züge, die jeweils 3 bis 4 Lkw-Fahrten ersetzen, nicht nur wirtschaftlich, sondern insgesamt stadtverträglicher sind, ist nicht so einfach zu entscheiden. Neben dem Hauptziel, die Verkehrsbelastung durch Schwerlastverkehr im innerstädtischen Netz zu reduzieren, stellt sich auch die Frage der Maßstäblichkeit im städtebaulichen Kontext.

2.3.4 Stadtgestalterische Einzelaspekte

2.3.4.1 Berücksichtigung stadthistorischer Gegebenheiten

Bei Aufgaben zur Straßenraumgestaltung ist eine gründliche städtebauliche Bestandsaufnahme und Analyse voranzustellen, wie dies im Zusammenhang mit dem stadtgestalterischen Beitrag bereits ausgeführt wurde. Dabei muss man sich zwangsläufig mit der Stadtgeschichte, mit örtlichen oder regionalen Charakteristika auseinandersetzen (siehe Abb. 2.16 und 2.17). Bei Straßenumbauten geht es um Baualter und Struktur der Randbebauung, die frühere Aufteilung des Straßenquerschnitts, unter Umständen mit Vorgartenbereichen, mit Bodenmaterialien und der Beleuchtung. Bei der Umgestaltung des Hauptverkehrsstraßennetzes und bei Umgehungsstraßen stehen das vorhandene Straßennetz, die Stadtachsen und die Orientierungshilfen im Vordergrund. In besonderen, historisch geprägten Bereichen gibt es sogar denkmalpflegerische Forderungen. Jeder Neu- und Ausbau von Straßen hat auf denkmalgeschützte Einzelobjekte Rücksicht zu nehmen. Wertvoll kann es aber auch sein, sich bei der Neutrassierung historisch belegten Linien anzupassen. Bei Umbaumaßnahmen in alten Siedlungskernen geht es selten allein

Abb. 2.16 Die barocke Idee des Karlsruher „Fächers“ im heutigen Stadtbild. (Luftbild Brugger)

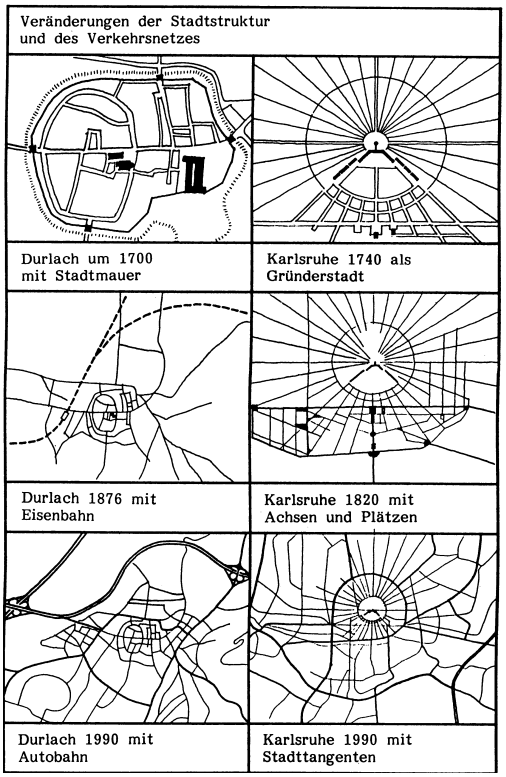


Abb. 2.17 Veränderungen der Stadtstruktur und des Verkehrsnetzes. (Eigene Darstellung)

um Respekt vor einem einzelnen Baudenkmal. Auch der Ensembleschutz erwartet Rücksichtnahme. Deshalb ist gerade bei Fußgängerzonen und verkehrsberuhigten Bereichen, natürlich auch bei Plätzen besonders sorgfältig an die Gestaltung der Ausstattungselemente heranzugehen, auch die Flächenaufteilung zu beachten: In Gründerzeitvierteln z.B. sollte alternierendes Parken vermieden werden. Schließlich können „sogar die Straße selbst oder einzelne Verkehrsbauwerke zum Denkmal werden. Dies gilt nicht etwa nur für archäologisch gesicherte Reste von Römerstraßen oder alte Brücken. In der Diskussion stehen zunehmend auch neuere Objekte, gründerzeitliche Boulevards etwa oder erste Abschnitte der Reichsautobahnen, Viadukte und originelle Tankstellenbauten. Die Thematik wurde in einer Forschungsarbeit „Straßenraumgestaltung unter Berücksichtigung historischer Bezüge“ (Kossak u. Unger, 1994) vertieft.

Soll die frühere Stadtstruktur noch erlebbar bleiben, so gilt es, die neuen Verkehrslinien wiederum in ein an Merkzeichen und unverwechselbaren Räumen ablesbares System einzubinden, das mit dem alten Stadtnetz sinnvoll verknüpft sein muss. Gelingt dies nicht, so ist die Stadt nicht mehr begreifbar und der Verkehrsteilnehmer wird ausschließlich von Wegweisern abhängig.

Die neue Hauptverkehrsstraße darf also nicht monoton durch kaum unterschiedene Neubauquartiere und Gewerbeflächen an der Peripherie der Stadt geführt werden. Es ist vielmehr erstrebenswert, die Straßen in charakteristische Teilabschnitte zu gliedern, Raumfolgen zu bilden, deren Übergänge durch besondere Merkzeichen betont werden und eine Orientierung im Gesamtnetz und zum Zentrum ermöglichen.

Neue Radialen (z.B. Autobahnzubringer) sind in solchen Sequenzen aufzubauen. Dies ist umso wichtiger, als sich der Übergang zwischen Stadt und Umland immer mehr verwischt, Stadtrand und Tor zur Stadt nicht mehr „erfahrbar“ sind. Auch hier ist eine abgestufte Streckencharakteristik zu entwickeln, die neben der gestalterischen Komponente durchaus auch mit einer Geschwindigkeitsabstufung einhergehen sollte.

Die *neuen* Stadtachsen erhalten nach alter Tradition wieder Qualität durch untergliedernde Platzräume. Ihre Verknüpfung mit dem alten Netz bietet sich dazu an (siehe Abb. 2.18). Dabei sollten diese „Plätze“ nicht nur in Fahrbahnaufweitungen mit einer Addition von Abbiegespuren bestehen. In der Vergangenheit hat man viele alte Stadtplätze und Straßenfluchten hierdurch zerstört. Heute werden die Verkehrsflächen mühevoll wieder rückgebaut. Die Führung von Fahrflächen in Platzräumen

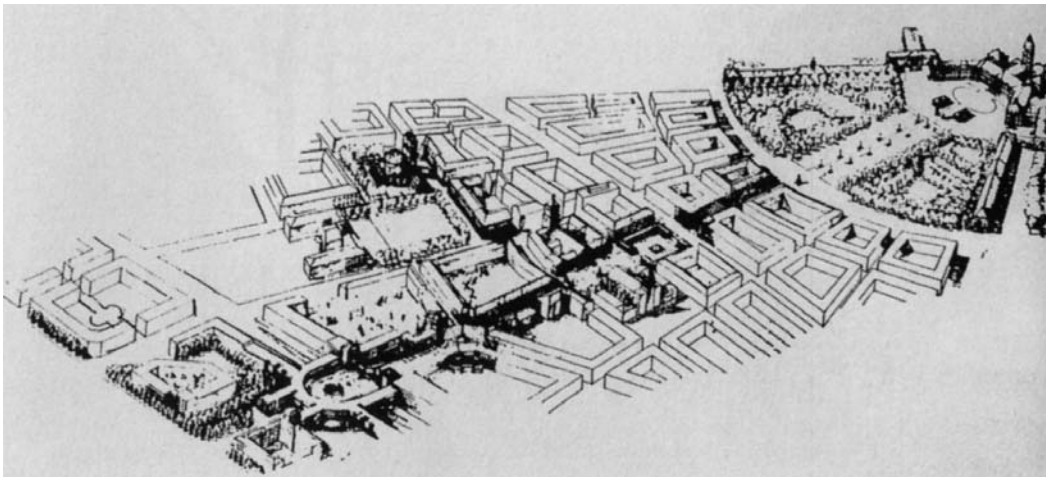


Abb. 2.18 Die Ausgestaltung einer Stadtachse am Beispiel der Karlsruher „via triumphalis". (Rob Krier)

wurde in einer Forschungsarbeit (Heinz, 1993) ausführlich behandelt, dabei wurden Empfehlungen für Neuplanungen und für Verbesserungen bestehender Situationen gegeben.

Werden alte und neue Merkzeichen und Raumfolgen sinnvoll verknüpft, so ist die Orientierung weiter gewährleistet, zusätzliche, künstliche Orientierungshilfen, Wegweiser und Schilder werden in den meisten Fällen nicht nur für Ortskundige, sondern auch Fremde verzichtbar. Die kontinuierlich gewachsene bzw. weiterentwickelte stadträumliche Orientierungsstruktur kann durch kein noch so perfektes Navigationssystem im Fahrzeug ersetzt werden.

2.3.4.2 Räumliche Gliederung und Flächenaufteilung

Der einzelne Straßenraum verdient in gleicher Weise wie die großen Netzzusammenhänge die Aufmerksamkeit des Planers. Der Funktion der Straße entsprechend sind im Straßenentwurf die materiellen, aber auch die immateriellen Bedürfnisse zu berücksichtigen und dabei der Straßenraum als ganzes in seinem Erscheinungsbild zu bewahren, zu erneuern oder auch neu zu definieren. Diese Aufgaben stellen sich also beim Neubau wie beim Rückbau von Verkehrsstraßen oder bei Verkehrsberuhigungsmaßnahmen bis hin zur Schaffung von Fußgängerzonen. Sie stehen oft auch in Verbindung mit Maßnahmen des ÖPNV (eigener Gleiskörper) oder einer Neugliederung der Seitenflächen (Ausweisung von Radwegen). Ziel ist es, einen unverwechselbaren, abwechslungsreich gegliederten und doch einheitlichen Raum, oder eine Sequenz von Räumen zu schaffen (siehe Abb. 2.19). Dabei sind die Straßenränder mit Seitenräumen und Bebauung einzubeziehen, die Flächen selbst zu gliedern. Wesentliche Aussagen zu den Methoden der *Raumbildung* sind in den „Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung" (FGSV, 1987/96) enthalten. Ergänzend dazu sei an eine Forschungsarbeit zur Straßenraumgestaltung mit der Entwicklung von Kriterien für „die Gestaltung von Querschnitten, Querschnittsänderungen und Knotenpunkten innerstädtischer Verkehrsstraßen in bestehenden Situationen" (Mäcke et al., 1986) erinnert.

Mit dem Ziel der Verkehrsberuhigung werden häufig Fahrbahnverschwenkungen nicht nur in Kreuzungsbereichen, sondern auch innerhalb eines Straßenzuges eingesetzt, etwa durch alternierendes Parken. Die Anordnung der Parkierung, Bushaltestellen und verschie-

Abb. 2.19 Abschnittsbildung durch ein Brückenbauwerk im Straßenraum. (Foto: Verfasser)

dener Einbauten in den Straßenräumen werden dazu benutzt, über den Zwang zu Richtungsänderungen das Geschwindigkeitsniveau der Autos zu dämpfen. Es mag zwar gelegentlich Straßenräume in den Städten geben, denen ein solcher Ansatz nicht schadet. In aller Regel ist allerdings der öffentliche Raum eher streng linear gegliedert, und ein allzu zufälliges „Pendeln" von Funktionsbereichen und Ausstattungselementen zerstört diesen Raum. Die beabsichtigte Verkehrsberuhigung kann stattdessen durch abschnittsbildende Einengungen, Tore, auch durch Aufpflasterungen in Kreuzungsbereichen oder im Zusammenhang mit besonderen, im Straßenzug liegenden Nutzungen, erreicht werden.

Auch bei Hauptverkehrsstraßen mit allein leistungsbestimmten Aufstellspuren für Abbieger werden Konflikte auftreten, wenn durchgängige Raumkanten, Alleen oder Gleistrassen dann „Schlangenlinien" für die durchlaufenden Fahrspuren erzwingen. Immer wieder muss in jedem Einzelfall der optimale Kompromiss zwischen stadträumlichen und verkehrlichen Ansprüchen erarbeitet werden. Dies gilt auch und gerade vor dem Gebot, sparsam mit Grund und Boden umzugehen, wenn der Querschnitt nicht beliebig in die Breite entwickelt werden kann.

2.3.4.3 Gestaltung von Verkehrsbauwerken

Immer wieder werden mit einer Straße oder Bahntrasse auch Verkehrsbauwerke zu gestalten sein. Dazu zählen größere Knotenpunkte – niveaufreie Lösungen –, Böschungen und Stützmauern, Brücken, Unterführungen, Tunnel (siehe Abb. 2.20 bis 2.23). Auch das weite Feld der *Lärmschutzanlagen* gehört hierzu, Wände und Wälle, Einhausungen, auch Bauwerke des Schienenverkehrs, hier insbesondere an den Haltestellen. Bei all diesen Projekten gilt das Ziel, dass das jeweilige Bauwerk nicht in Konflikt mit der Umgebung treten darf. Es ist flächenschonend, in ortstypischer Ausgestaltung und unter Berücksichtigung sowohl der Bedürfnisse der Angrenzer als auch der Benutzer des Verkehrsweges auszugestalten.

Bei niveaufreien Verkehrsknoten spielt zusätzlich die Orientierbarkeit für den Nutzer eine große Rolle, wegen der oftmals nicht erfassbaren, „verschlungenen" Wegeführung, aber auch wegen gelegentlich zu beobachtender Monotonie, die es dem Benutzer erschwert, in einer Folge gleicher Entscheidungsimpulse den für ihn richtigen Abzweig zum Ziel zu finden. Mit einfachen Mitteln können Verkehrsbauwerke so gestaltet wer-

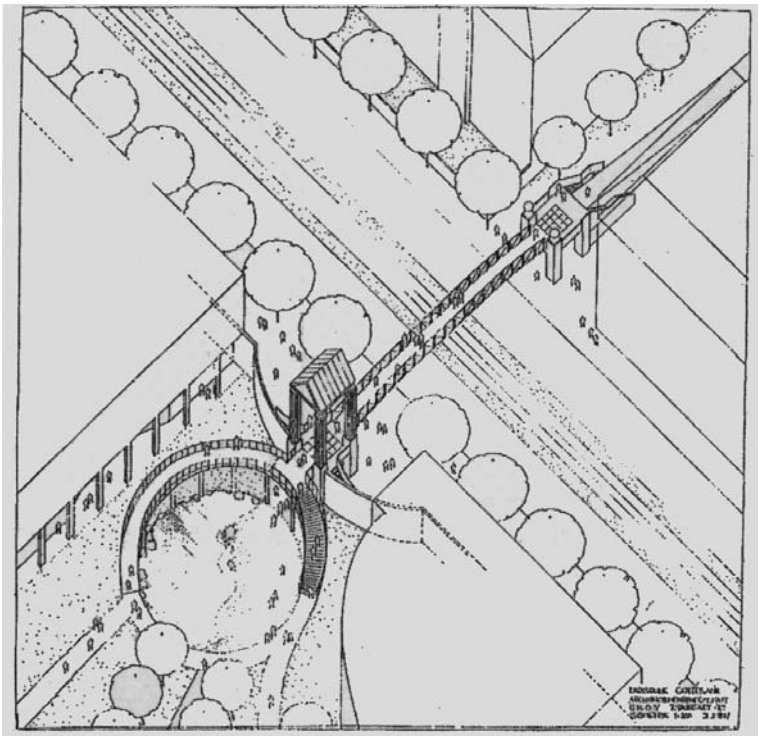


Abb. 2.20 Entwurf einer Fußgängerüberführung über eine Hauptverkehrsstraße. (Brunnert, Mory, Osterwalder, Vielmo; Freie Architekten BDA, Stuttgart)

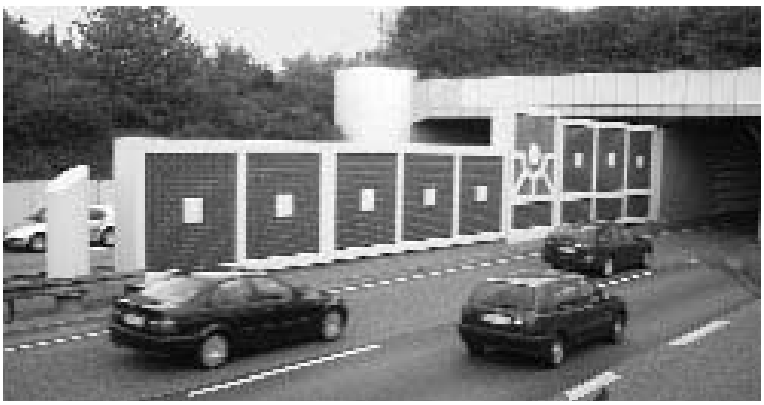


Abb. 2.21: Ortsbezogene Gestaltung eines Tunnelportals. (Stadtplanungsamt Karlsruhe)

den, dass sie dem Straßenbenutzer als Orientierungshilfe dienen, ihm Abwechslung und Anregung bieten, vielleicht auch noch einen gezielten Ausblick auf die Stadtlandschaft ermöglichen. Mit entsprechenden Mitteln gelingt es darüber hinaus, eine Einbindung in die Umgebung zu erreichen, z.B. mit modellierten Lärmschutzwällen im Landschaftsraum, mit entsprechend der umgebenden Siedlungsstruktur gegliederten und im Material angepassten Wänden oder stadtbildprägenden, eigenständigen Lösungen, schließlich auch mit dem ganzheitlichen Entwurf eines Platzraumes einschließlich der Zugänge zu einer unterirdischen Verbindungsebene mit Anschluss an die U-Bahn.

Abb. 2.22 Gestaltung eines Anschlusskleeblattes durch „Fahnenbastionen". (Stadtplanungsamt Karlsruhe)

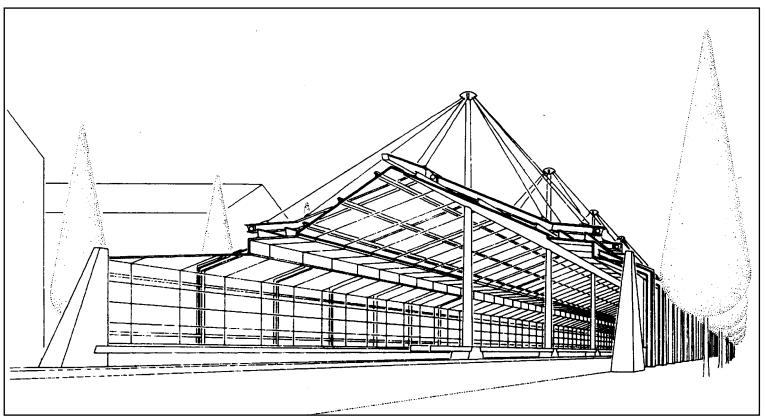


Abb. 2.23 Lärmschutzeinhausung einer Hauptverkehrsstraße.(Stahl und Form, Verkehrsbauten. Internationale Architekten Otto SchultBrauns & Partner, München 1990. (Institut für internationale Architektur Dokumentation Gmbh, München, Hrsg. StahlInformationsZentrum Düsseldorf))

2.3.4.4 Raumausstattung und Beleuchtung, Grün und Materialien

Gerade die Plätze sind dem zunehmenden Druck einer ständig wachsenden Zahl von Ausstattungselementen ausgesetzt. Im verkehrlichen Bereich summieren sich die Verkehrszeichen, Signalanlagen und Wegweiser, aber auch Absperrgitter, Fahrradständer und Poller. Heute kommen Wechselwegweiser, Elemente des Parkleitsystems, die verschiedensten „Auswüchse" der Verkehrsberuhigung hinzu. Der Versorgungsbereich mit Einrichtungen der Post (Telefonzellen, Briefkästen), mit Schaltkästen, Papierkörben, Trafostationen und der Beleuchtung wird durch eine Vielzahl unterschiedlicher Recyclingcontainer erweitert. Selbst der gestalterische und ökologische Bereich wird aufgrund verschiedenster Modeströmungen hier nostalgisch, dort modern, zumeist aber grün und bunt überfrachtet. Hierzu zählen neben Bäumen und Grünflächen mehr oder weniger angepasste Pflanzkübel, Brunnen und Denkmäler, Treppen und Sitzstufen, Bänke und Mauern, sowie, an anderer Stelle bereits erwähnt, Poller und Leuchten.

Betrachtet man das industrielle Angebot für derartiges Mobiliar, so wird deutlich, dass die

Anbiederung an ein – z.B. vermeintlich dörfliches oder nostalgisches – Erscheinungsbild einhergeht mit einem universellen Einsatz von modischen Gestaltungselementen, was zu einer gewissen Uniformität von Stadt zu Stadt führt. So werden regional oder historisch geprägte Räume und deren Proportionen gestört, primäre Elemente der räumlichen Gestaltung, wie die Gliederung des Straßenraumes, verdeckt, die visuellen Beeinträchtigungen zunehmend – aufgrund wachsenden Flächenbedarfs und der Standortanforderungen der Elemente – durch funktionale Beeinträchtigungen erweitert. Weniger wäre auch hier mehr (siehe Abb. 2.24). Dieses Wenige könnte in vielen Fällen auf das Grün, die Beleuchtung und den Bodenbelag reduziert werden. Beim *Grün* geht es vor allem um standortgerechte Bäume in

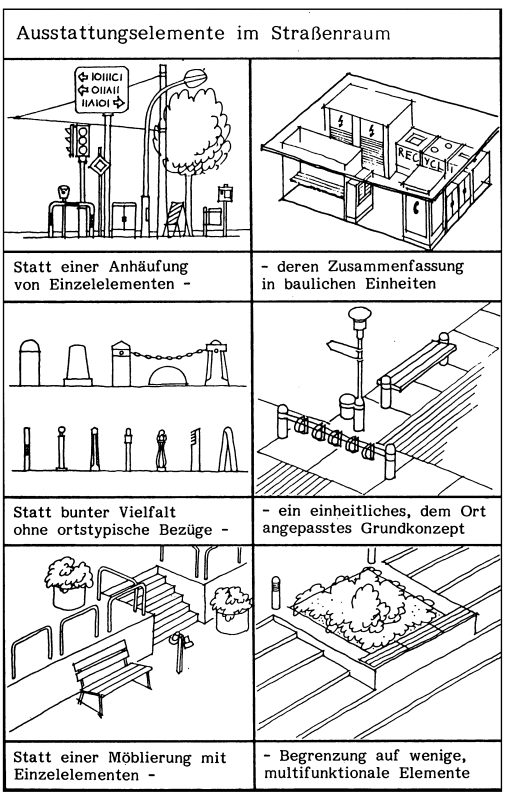


Abb. 2.24 Ausstattungselemente im Straßenraum. (Eigene Darstellung)

einer Anordnung, die den Charakter des Straßenraumes betont. Eine Möglichkeit hierzu ist die Allee, die im Landschaftsraum den Verlauf der Straße deutlich macht und damit auch die Orientierung erleichtert. Sie vermittelt im städtischen Bereich die besondere Bedeutung einer Straße oder verdeckt unattraktive, angrenzende Bau- und Nutzungsstrukturen wie in Gewerbe- und Industriegebieten. Einer untergeordneten Quartiersstraße wird sie dagegen nicht angemessen sein. Auch der Einzelbaum im Straßenraum, an einer Aufweitung oder Ecke, kann ein Merkzeichen sein, auf Besonderheiten im Straßenverlauf hinweisen, den Raum gliedern. Im dörflichen Bereich leiten gruppenweise gestreute Obstbäume vom öffentlichen in den privaten Raum über. Diese Überleitung ist generell eine vorrangige Aufgabe des Grüns, unterschiedlich ausgebildete und genutzte Vorgartenbereiche spielen für die Raumbildung eine mit entscheidende Rolle. Ebene Pflanzflächen finden Verwendung bei Grenzstreifen zwischen den Fahrbahnen und Seitenstreifen, vor allem aber in Platzflächen. Dabei spielt die Entscheidung eine Rolle, ob der einzelne Platz mehr als Grünanlage oder als belebter Stadtplatz gestaltet werden soll. Je nachdem stehen dann auch die befestigten Flächen im Vordergrund, Grün wird sparsam an richtiger Stelle platziert, unter Umständen ist auf Grün sogar ganz zu verzichten (siehe Abb. 2.25).

Wichtig ist die Auswahl und Gliederung der *Bodenbelagsmaterialien.* Die Möglichkeiten sind vielfältig: wassergebundene Kies- und Sandböden, Pflaster aus Natur- oder Betonstein mit offenen oder vergossenen Fugen, Platten in verschiedenen Materialien und Formaten, bituminöse Beläge. Die Auswahl muss sich nach dem – unter Umständen historisch bedingten – Charakter des Platzes oder Straßenraumes ebenso wie nach seinen Funktionen richten. Generelle Empfehlungen können daher nicht gegeben werden, wohl aber soll vor dem allzu nostalgischen Einsatz von Pflas-

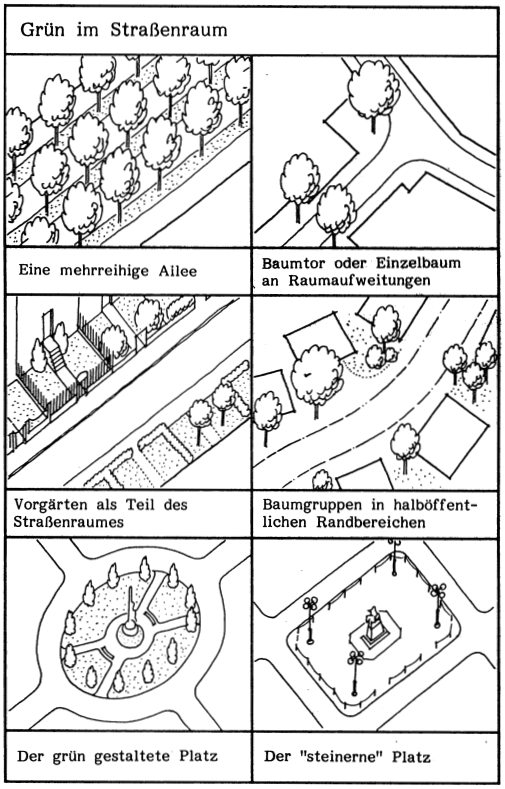


Abb. 2.25 Grün im Straßenraum. (Eigene Darstellung)

terflächen und allgemein vor allzu vielen unterschiedlichen Belägen gewarnt werden.

Die Qualität der Räume wird schließlich auch noch durch die *Beleuchtung* beeinflusst, nicht nur durch die erreichte Ausleuchtung bei Nacht, sondern gestalterisch durch Auswahl und Anordnung der Leuchten, die auch tagsüber Straßen und Plätze gliedern und optisch „führen" können. Die lichttechnischen Anforderungen müssen mit den gestalterischen abgestimmt werden, die Leuchte muss die Funktionsflächen ausreichend, gleichmäßig und blendfrei ausleuchten, aber auch nach Typ, Lichtfarbe, Höhe und Reihenabstand in die bauliche Umgebung und in das Stadtbild passen. Eine Forschungsarbeit „Ausstattung und Beleuchtung von Straßenräumen" (Erke et al., 1995) geht hierauf näher ein. Mit den Leuchten konkurrieren gestalterisch – u.a. wegen der Häufung der Masten – oftmals Verkehrsschilder, Wegweiser und Signalanlagen.

Diese *verkehrstechnischen Elemente* müssen, soweit Verkehrssicherheit und Ordnung dies zulassen, zahlen- und größenmäßig begrenzt bleiben. Von Zeit zu Zeit ist der „Schilderwald" immer wieder zu durchforsten, auch sind insbesondere zur Deutlichmachung von verkehrsberuhigten Bereichen in ihren Abmessungen kleinere Schilder zu verwenden. Schließlich stellt sich auch die Frage, ob überhaupt und wo unbedingt die rot-weiße Warnbake als Hinweis auf ein Verkehrsberuhigungselement stehen muss.

Anlagen der Versorgung lassen sich vielfach in Stationen zusammenfassen, in angrenzende Gebäude integrieren, sogar unterirdisch unterbringen. Es gibt bereits unterirdische Recyclingcontainer, die im Straßenraum lediglich durch einen – baulich integrierbaren – Abwurfschacht in Erscheinung treten.

Auch beim *Straßenmobiliar* ist Zurückhaltung geboten. Eine ortstypische Gestaltung nach Form und Material ist sinnvoll. Dabei kann vor dem Hintergrund der Serienfertigung und der Lagerhaltung innerhalb einer Stadt eine einheitliche Ausstattung gewählt werden, wenn in besonderen Situationen davon auch abgewichen wird. Es ist aber sicher ein Irrweg, wenn ein normierter Gestaltungskatalog von der Nordsee bis zu den Alpen Anwendung findet. Man kommt mit wenigen gestaltneutralen und multifunktionalen Elementen besser aus als mit einer Vielzahl spezialisierter Einzelheiten. Gemeint ist z.B. eine räumlich wirksame Sitzstufe als Abgrenzung zu einem Pflanzbereich im Gegensatz zu Bank, Saumstein und Pflanzkübel.

An dieser Stelle muss erneut der interdisziplinäre, ganzheitliche Ansatz betont werden. Die Koordination zwischen den zuständigen Trägern der jeweiligen Ausstattungselemente ist von größter Bedeutung. Der Stadt- und Ver-

kehrsplaner muss mit Vertretern der Versorgungsträger, der Abfallbeseitigung, der Post, selbstverständlich auch mit Gartenarchitekten und nicht zuletzt mit den privaten Nutzern, die z.B. Schauvitrinen oder ein Straßencafe einrichten, zusammenarbeiten. Dies gilt nicht nur für die Planungsphase, sondern gerade auch für die Ausführung einschließlich der örtlichen Bauleitung.

2.3.4.5 Private Einrichtungen am Rande der Straßen

Groß ist die Zahl der privaten Nutzer im öffentlichen Verkehrsraum und an seinen Rändern. Neben den erwähnten Vitrinen und Café-Bestuhlungen im Freien belasten der Außenverkauf von Läden und Kaufhäusern, aber auch die Werbung den öffentlichen Raum. Noch stärkeren Einfluss haben Tank- und Rastanlagen. In ihrer Wechselwirkung mit der Umwelt nehmen diese Einrichtungen eine besondere Stellung ein, da sie zwar auf privaten Grundstücken am Rande der Straßen errichtet und betrieben werden, aber sowohl funktional als auch formal dem öffentlichen Raum und dem Verkehr zugeordnet sind. Die Problematik liegt in der besonderen Eigenart dieser Betriebe (siehe Abb. 2.26). Die Möglichkeit, auf die Gestaltung solcher Objekte Einfluss zu nehmen, ist begrenzt. Sie unterliegen in erster Linie dem Bauordnungsrecht, ihre Planung folgt wirtschaftlichen Erwägungen und wird in der Regel nicht oder nicht ganzheitlich mit der Planung der Verkehrswege koordiniert. Dem steht die starke Einwirkung auf den öffentlichen Raum und die angrenzenden Siedlung bzw. auch Landschaftsteile gegenüber. Es empfiehlt sich daher, schon bei der Neutrassierung von Tangentenstraßen oder Radialen gleich geeignete Standorte auszuweisen und bei der stadtgestalterischen Begleitplanung diese in die Umgebung einzubinden. Auch wenn im innerstädtischen Bereich Verkehrsberuhigungsmaßnahmen mit Stadterneuerungsprogrammen gekoppelt werden und dadurch Verkehrsverlagerungen eintreten, kann manche Tankstelle nicht mehr wirtschaftlich funktionieren. Ersatzstandorte müssen gesucht werden. Auch hierbei wird ein ganzheitlicher, interdisziplinärer Planungsansatz unter Einbeziehung des privaten Investors erforderlich (siehe Abb. 2.27).

Abb. 2.26 Die Belastung des öffentlichen Straßenraums durch verkehrsbezogene Unternehmen (Tankstelle). (Foto: Verfasser)

Abb. 2.27: Nutzungsvielfalt des öffentlichen Platzraumes. (Bildstelle der Stadt Karlsruhe)

2.4 Hinweise für die Umsetzung in der städtebaulichen Praxis

Interdisziplinäres Arbeiten wird auch in den Richtlinien und Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV, 1987/96; FGSV, 1985/95; FGSV, 1993/98) gefordert und gefördert – dies ist mit Nachdruck zu wiederholen. Was in Zeiten knapper öffentlicher Mittel häufig fehlt, ist das Verständnis zur ausreichenden *Finanzierung* von Maßnahmen, die zwar aus städtebaulicher Sicht mit dem Verkehrsprojekt in Verbindung stehen, die jedoch nicht Bestandteil etwa des Planfeststellungsverfahrens und damit der Ausgleichs- und Folgemaßnahmen sind. Nicht allen Kommunen gelingt es noch, über Mischfinanzierungen, mit Fördergeldern oder doch aus dem eigenen Haushalt die für eine ausreichende städtebauliche Einbindung erforderlichen Mittel bereitzustellen. Augenfällig wird diese Problematik z.B. beim Rückbau alter Ortsdurchfahrten, wenn sich Bund und Land mit der neuen Umgehungsstraße aus der früheren Baulastträgerschaft zurückgezogen haben. Hier soll nochmals betont werden, dass gute Gestaltung nicht notwendigerweise mehr kostet, d.h. dass auch mit einem begrenzten Budget ein der örtlichen Situation angemessener, unverwechselbarer Straßenraum geschaffen werden kann. Es soll nochmals davor gewarnt werden, gestalterische Ansätze aus gerade gängigen Moderichtungen abzuleiten, auch sollte man nicht unbedingt auf Strömungen der öffentlichen Meinung vorschnell reagieren. Denn der Städtebau, das Stadtbild sind langfristig angelegte Qualitäten, über Jahrhunderte gewachsene Strukturen. Gerade die Erfahrung aus der oftmals falsch eingeschätzten Verkehrsentwicklung sollte Anlass sein, mehr abgewogene *Kontinuität in der Verkehrspolitik* durchzusetzen. Die Entwicklung eines funktionsfähigen Hauptverkehrsstraßennetzes ist mit Blick auf die Dauer heutiger Planfeststellungsverfahren eine langwierige Angelegenheit. Umso mehr muss man sich davor hüten, einmal gefasste Entscheidungen ohne ausreichende Prüfung und Begründung zu revidieren. Die

Folge kann ein Torso eines Netzes sein, in dem ungewollte Verkehrsbelastungen auf der einen Seite ungenutzten Reserven an anderer Stelle gegenüberstehen.

Selbstverständlich bedarf es bei der Verkehrsplanung deshalb immer wieder der kommunalpolitischen Begleitung durch ausreichende Transparenz der Planung und gute *Öffentlichkeitsarbeit.* Hier schließt sich der Kreis wieder. Eine gelungene städtebauliche Einbindung des Verkehrsprojektes, ein schlüssiges stadtgestalterisches Konzept erhöht auch die öffentliche Akzeptanz.

Literatur

Durth; Hanke; Heinz; Vogt (1990): Der stadtgestalterische Beitrag als Planungsinstrument der Straßenraumgestaltung, Forschungsprogramm Stadtverkehr 77200/88, Aachen

Erke; Auer; Kramer; Kennecke (1995): Ausstattung und Beleuchtung von Straßenräumen – Tag- und Nachtwirkung auf die städtische Umwelt. Forschungsprogramm Stadtverkehr 77379/94, Braunschweig

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:

- FGSV (1980): Straße und Umwelt, Bericht 1980
- FGSV (1985/95): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen
- FGSV (1987/96): Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete
- FGSV (1993/98): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen
- FGSV (2003): Merkblatt für die Gestaltung von Anlagen des schienengebundenen öffentlichen Verkehrs

Heinz, H. (1993): Führung und Gestaltung von Fahrflächen in Platzräumen, Bonn

Kossak, A. u. Unger (1994): Straßenraumgestaltung unter Berücksichtigung historischer Bezüge, Forschungsprogramm Stadtverkehr 77367/93, Hamburg

Lynch, Kevin (2001): Das Bild der Stadt, Reprint Basel

Mäcke, P. A.; Heinz, H.; Moritz; Wingels (1986): Straßenraumgestaltung Entwicklung von Kriterien für die Gestaltung von Querschnitten, Querschnittsänderungen und Knotenpunkten innerstädtischer Verkehrsstraßen in bestehenden Situationen, Bundesminister für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg

Weiterführende Literatur

Heinz, H. (1992): Straßenraumgestaltung: Aufgaben, Inhalte, Verfahrensweise, Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung, Bonn

Kossak, A. (1983): Bewertung von Straßenplanungen nach Gesichtspunkten der Stadtgestaltung. Dissertation, Hamburg, Darmstadt

Oktay, D. (1991): Formation and arrangement of public urban spaces for social integration. Dissertation, Istanbul

Sack, M. (1982): Lebensraum Straße. Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz (Hrsg.), Bonn-Stuttgart

Sitte, C. (2002): Der Städtebau nach seinen künstlerischen Grundsätzen. Reprint Basel

3 Straßen- und Wegenetze

3.1 Aktuelle Leitbilder und Grundsätze für die Straßen- und Wegenetzkonzeption

Ein leistungsfähiges, stadt- und umweltverträgliches Straßen- und Wegenetz ist eine wesentliche Voraussetzung für die dauerhafte Funktionsfähigkeit des Systems Stadt und damit auch für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Es gilt den notwendigen innerstädtischen Binnen-, Ziel- Quell- und Durchgangsverkehr effizient, sicher und umweltverträglich zu bewältigen. Einerseits sollen die Netze die vielfach konzentrierten und räumlich verteilten traditionellen Funktionen einer Stadt wie „Wohnen“, „Arbeiten“, „Versorgung“, „Bildung“ und „Freizeit“ etc. miteinander verbinden, andererseits ist beispielsweise innerhalb von Wohn- und Geschäftsvierteln den Interessen der Bewohner und Nutzer Rechnung zu tragen. Das innerstädtische Straßen- und Wegenetz hat neben der Verbindungsfunktion unter verkehrlichen, städtebaulichen und sozialen Gesichtspunkten naturgemäß auch Erschließungs- und Aufenthaltsfunktionen zu übernehmen. Die Netzgestaltung erfordert daher eine integrierte Betrachtungsweise, bei der die Belange des Städtebaus, der Umwelt und des Verkehrs im Planungsprozess zu beachten und aufeinander abzustimmen sind.

Ein solches Verkehrswegenetz besteht aus Knoten (Kreuzungen, Abzweigungen und Weichen) und Strecken (gerichtete Kanten), die von verschiedenen Verkehrssystemen befahren werden können. Wenngleich aufgrund der bestehenden baulich-räumlichen Struktur der Städte die Infrastrukturnetze weitgehend auch in Zukunft Bestand haben werden, will man nicht umfassend in die Bausubstanz eingreifen, so ergeben sich doch aktuelle und zukünftige Aufgaben für die Straßen- und Wegenetzplanung durch eine Verlagerung oder Neubewertung der städtebaulichen Funktionen sowie aufgrund der damit einhergehenden Veränderung der funktionalen Anforderungen an die Netze.

In den Innenstädten müssen diese Funktionen auf zahlreichen Netzelementen räumlich überlagert werden. Die daraus resultierenden Nutzungskonflikte gilt es im Rahmen der Netzkonzeption so weit wie möglich zu vermeiden bzw. zu minimieren. Darüber hinaus ist das Straßen- und Wegenetz neben der Bebauungsstruktur prägendes Merkmal des Stadtgrundrisses und der Stadtgestalt, die wiederum vielfach typisch für die Epoche der Stadtgründung sind. Als Dokument der Gründungsidee und der historischen Entwicklung können solche Netze durchaus von stadtgeschichtlicher, gelegentlich sogar von denkmalpflegerischer Bedeutung sein, so dass an ihrer Erhaltung ein öffentliches Interesse bestehen kann.

Die Verbindungsfunktion wird vor allem mit der Charta von Athen in Zusammenhang gebracht, die die Ergebnisse des Internationalen Kongresses für neues Bauen 1933 in Athen (CIAM) zusammenfasst. Zwar enthalten die Lehrsätze keineswegs, wie von den Funktionalisten herausgestellt, die Forderung nach einer strikten räumlichen Trennung der städtischen Funktionen, zu denen seinerzeit die Bereiche „Wohnen“; Arbeiten“, Sich erholen“ und „Sich fortbewegen“ gezählt wurden. Vielmehr sollten die ersten drei Funktionen eng einander zugeordnet und dem Verkehr ausdrücklich dienende Bedeutung beigemessen werden. Den-

noch wirkt die Forderung nach einer weitgehenden räumlichen Trennung dieser Funktionen bis heute nach und hat dazu geführt, dass die Verbindungsfunktion des Straßennetzes gelegentlich überhöht wurde. Solche Funktionstrennungen haben beispielsweise ihren Niederschlag nicht nur in zahlreichen monofunktionalen Stadtteilen insbesondere der sechziger und siebziger Jahre gefunden, sondern auch in der Baunutzungsverordnung mit ihren unterschiedlichen Flächen- und Gebietstypen („Typenzwang"). Allerdings ermöglicht diese Verordnung in der geltenden Fassung eine differenzierte Nutzungsmischung.

Aus der baulichen oder sonstigen Nutzung der innerstädtischen Flächen ergibt sich darüber hinaus eine weitere wesentliche Aufgabe für die Straßen- und Wegenetze, die Erschließungsfunktion. Danach ist das Netz so zu gestalten, dass jedes einzelne Baugrundstück nach Maßgabe des § 127 BauGB und der jeweiligen Bauordnung der Bundesländer an eine öffentliche Verkehrsfläche angrenzt. Schließlich haben Straßen, Wege und Plätze insbesondere in Wohngebieten, aber auch in den Stadt- und Stadtteilzentren mit ihren öffentlichen und privaten Folge- und Versorgungseinrichtungen eine Aufenthaltsfunktion zu übernehmen. Sie bieten Anwohnern in stark verdichteten Stadtquartieren mit geringen sonstigen öffentlichen Freiflächen zusätzliche Möglichkeiten zur Begegnung und Kommunikation und dienen darüber hinaus vielfach auch dem Kinderspiel.

Die optimale Erfüllung dieser vielfältigen Aufgaben erfordert in vielen Städten eine Fortentwicklung der Straßen- und Wegenetzkonzeption. Ausgangspunkt sind heute vielfach Verkehrsnetze mit einer Überbewertung der funktionalen Anforderungen des motorisierten Verkehrs und damit einer Betonung der Verbindungsfunktion auch der innerstädtischen Straßen. Insbesondere die in den sechziger und siebziger Jahren konzipierten Verkehrsnetze, die oftmals dem Leitbild einer „autogerechten Stadt" folgten und oft im Rahmen flächenhafter Sanierungsmaßnahmen mit Straßendurchbrüchen realisiert wurden, haben nicht nur das Erscheinungsbild der Innenstädte nachhaltig verändert, sondern häufig auch deren urbanen und multifunktionalen Charakter beeinträchtigt, städtebauliche, soziale und funktionale Zusammenhänge zerschnitten sowie historische Stadtgrundrisse zerstört.

Die künftigen Anforderungen an die Straßen- und Wegenetzplanung sind aus dem Leitbild der nachhaltigen Stadtentwicklung und unter Berücksichtigung des sich immer stärker abzeichnenden demographischen Wandels mit Bevölkerungsrückgängen abzuleiten. Dabei ist die Stadt als Wohnstandort, als Wirtschafts-, Dienstleistungs-, Handels- und Produktionsstandort sowie die Stadt als Bestandteil des Ökosystems gleichermaßen zu entwickeln. Eine nachhaltige, insbesondere flächen- und energiesparende Stadtentwicklung erfordert derzeit angesichts anhaltender Suburbanisierungsprozesse sowie rückläufiger Bevölkerungsentwicklungen und zahlreicher struktureller Gewerbe-, Wohn-, Militär- und Infrastrukturbrachen eine Stärkung der Innenentwicklung der Städte mit einer Aufwertung und Attraktivitätssteigerung der Innenstädte. Die erforderliche qualitative Aufwertung der öffentlichen Straßenräume und Rückgewinnung für den Aufenthalt von Anwohnern und Innenstadtbesuchern sowie für den nicht motorisierten Verkehr setzt daher eine integrierte Straßennetzplanung voraus.

Ansatzpunkte für die Straßen- und Wegenetzplanung, die diese gewünschte nachhaltige Stadtentwicklung unterstützt, bieten die folgenden idealtypischen städtebaulichen Strukturmodelle (Umlandverband Frankfurt, 2000):

– *Die kompakte Stadt:* Dieses Ordnungsmodell setzt die Schaffung einer angemessenen städtebaulichen Dichte voraus, um eine Stadt der kurzen Wege zu entwickeln, in der

sich die Verkehrsnachfrage zum großen Teil mit dem ÖPNV bewältigen lässt, der motorisierte Individualverkehr reduziert und der Freiflächenverbrauch eingedämmt werden kann.

– *Die Stadt mit intensiver Nutzungsmischung:* Eine kleinräumige Zuordnung verträglicher städtebaulicher Funktionen wie Wohnen, Versorgung, Gastronomie, Büros und nicht störendes Handwerk schafft günstige Voraussetzungen für urbane und stabile städtebauliche Strukturen, die auch aus Investorensicht wirtschaftlich sind. Wenngleich insbesondere das berufsbedingte Verkehrsaufkommen nicht zwangsläufig sinkt, so fördert doch die aktive Zusammenführung von unterschiedlichen Nutzungen eine Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs.
– *Die regionale Stadt:* Das Siedlungsflächenwachstum soll dezentral konzentriert in den raumordnerisch festgelegten zentralen Orten erfolgen und eine Bildung bzw. Überlastung von Monozentren vermeiden. Das Rückgrat der Siedlungsentwicklung bildet ein leistungsfähiges System eines schienengebundenen ÖPNV, der als Hauptverkehrsträger der kleinräumigen Siedlungsachsen die Siedlungsschwerpunkte miteinander verbindet, die Erreichbarkeit und wirtschaftliche Auslastung von zentralen Infrastrukturen sichert sowie die Freiflächen zwischen den Siedlungsbereichen und Entwicklungsachsen erhält.

Diese drei Modelle sind nicht als Alternativen zu betrachten, sondern je nach den stadtspezifischen Voraussetzungen als Diskussionsgrundlage des Planungsprozesses heranzuziehen. Zudem können die einzelnen Bausteine miteinander verknüpft werden.

Die Planung von städtischen Straßen- und Wegenetzen hat sich mit drei Aufgabenschwerpunkten auseinander zu setzen: Bestandsorientierte Netzumgestaltung zur Stärkung der Innenentwicklung, bedarfsorientierte Netzerweiterungen in dynamischen Entwicklungsschwerpunkten sowie Netzreduzierungen und -anpassungen in schrumpfenden Städten.

Die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen nachhaltiger Stadtentwicklung und Straßennetz erfordern einen ganzheitlichen, integrierten Ansatz für die Netzplanung. Dabei gilt es zu beachten, dass die Verkehrsinfrastruktur nicht nur eine unmittelbare Folge von Art und Intensität der Flächennutzung ist, sondern dass auch umgekehrt eine Abhängigkeit besteht, aus der sich im Rahmen der Netzgestaltung Steuerungsmöglichkeiten für die Stadtentwicklung eröffnen. Eine differenzierte Betrachtung von Personen- und Güterverkehr ist daher geboten, und es sind naturgemäß auch die nicht-straßengebundenen Verkehrssysteme mit einzubeziehen. Die weiteren Ausführungen konzentrieren sich indessen auf die Gestaltung des Straßen- und Wegenetzes für den Personenverkehr, wobei allerdings die Zusammenhänge mit dem Güterverkehr und den schienengebundenen Netzen nicht unberücksichtigt bleiben.

3.2 Methodik einer integralen Verkehrsnetzplanung

3.2.1 Funktionale Gliederung des Stadtgebietes und Planungsgrundsätze

Während für zwischenörtliche Verkehrsnetze die Entwicklungsziele und Festlegungen von Raumordnung und des Umweltschutzes Ausgangspunkt für die funktionale Gliederung der Verkehrsnetze sind, müssen für die innerörtlichen Verkehrsnetze die Ziele der Stadtentwicklung und des Städtebaus herangezogen

werden. Grundlage bildet daher die funktionale Gliederung des Stadtgebietes entsprechend den Daseinsgrundfunktionen Wohnen, Arbeiten, Versorgung, Bildung und Freizeit in Verkehrszellen (z.B. Wohngebiete, Arbeitsstätten, Einkaufszentren, Schulen).

Eine solche funktionale Gliederung schafft die Basis für eine verkehrs- und stadtgerechte sowie umweltschonende und verkehrssichere Netzgestaltung und zugleich auch für alle langfristigen Erweiterungen, Veränderungen oder Reduzierungen der Netze. Hinsichtlich der Gestaltung des Gesamtnetzes und einzelner Netzelemente sind in Anlehnung an die Rahmenrichtlinie für die integrierte Netzgestaltung RIN (FGSV, 2003) folgende Aspekte zu beachten:

- *Gestaltung der einzelnen Netzelemente:* Die funktionale Gliederung ermöglicht die Dimensionierung und Gestaltung der einzelnen Netzelemente entsprechend der verkehrlichen Bedeutung, der erwünschten Verkehrsqualität und des städtebaulichen Umfeldes. Die funktionale Bewertung der vorhandenen Netze lässt Überkapazitäten erkennen und zeigt den Handlungsbedarf für Rück- und Umbau von Netzabschnitten auf.
- *Integration von Stadtplanung und Straßennetzplanung:* Straßennetzplanung soll sowohl die Standortgunst von einzelnen Stadtteilen mit gewerblichen Nutzungen als auch die Qualität von schutzbedürftigen Wohnquartieren optimieren. Es geht also darum, einerseits die Erreichbarkeit der innerstädtischen Standorte zu verbessern und andererseits störenden gebietsfremden Verkehr aus bestimmten Bereichen zu verdrängen. Eine Bündelung der Verkehrsströme auf leistungsfähige Netzverbindungen unterstützt beide Zielsetzungen. Die jeweils wirksame Einbindung in das Verkehrsnetz kann daher nur durch eine abgestimmte Stadt- und Verkehrsplanung auf der Ebene der informellen Stadtentwicklungsplanung und der vorbereitenden Bauleitplanung (Flächennutzungsplan) erfolgen.
- *Stadt- und umweltverträgliche Netzgestaltung:* Eine nachhaltige Stadtentwicklung strebt an, den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen für Menschen, Pflanzen und Tiere sowie die wirtschaftlichen Entwicklungschancen der Stadt und die sozialen Lebensbedingungen der Bewohner in Einklang zu bringen. Die Straßennetzplanung soll daher dazu beitragen, die Innenentwicklung der Städte durch eine qualitative Aufwertung zu fördern und durch die Erschließung vorhandener Flächenpotentiale die weitere Inanspruchnahme von Freiraum zu vermeiden. Ferner sollen bestehende Trennwirkungen von Straßen sowie Zerschneidungseffekte von Wohn- und Lebensräumen in der Stadt durch Verlagerung der Verkehrsströme und durch Um- und Rückbau vorhandener Netzteile reduziert oder durch entsprechende Maßnahmen kompensiert werden.
- *Verkehrssichere Netzgestaltung:* Art und Gestaltung der Verkehrswegenetze bestimmen entscheidend die Verkehrssicherheit. Eine integrierte Verkehrsnetzgestaltung soll dazu beitragen, Zahl und Schwere insbesondere der Straßenverkehrsunfälle zu minimieren.

3.2.2 Ablauf einer integrierten Netzbewertung und Netzgestaltung

Die Planung des Straßen- und Wegenetzes umfasst die Bestandsanalyse und -bewertung, die Leitbild- und Zielformulierung sowie die Maßnahmenentwicklung und Entscheidungsfindung. Im Rahmen der Bestandsanalyse und -bewertung werden die Ausgangssituation erfasst und der bestehende Zustand analysiert und bewertet. So lassen sich zunächst die Mängel im Bestand aufzeigen. Um schließlich

den künftigen Handlungsbedarf abzuleiten, muss sich eine Leitbild- und Zielformulierung für die Netzkonzeption anschließen, die in den Prozess der ganzheitlichen städtebaulichen Leitbildentwicklung einzubinden ist. Als grundsätzliche Ziele sind zu beachten:

- Förderung einer nachhaltigen Stadt- und Siedlungsstruktur durch ein ressourcenschonendes, insbesondere flächen- und energiesparendes sowie kostenoptimiertes Straßen- und Wegenetz,
- Förderung der Entwicklung urbaner und multifunktionaler Innenstädte durch Sicherung ihrer Erreichbarkeit, Bündelung von ortsbezogenen Ziel- und Quellverkehren sowie durch Verlagerung überörtlichen Durchgangsverkehren aus den bebauten Stadtgebieten,
- Schaffung leistungsfähiger Verkehrsnetze für eine effiziente Verkehrsbedienung und funktionale Nutzungsstruktur unter Beachtung der Anforderungen des Wirtschafts- und Personenverkehrs,
- Verbesserung der Lebensqualität in den Innenstädten durch flächenhafte Ausweisung von Teilnetzen mit dominanter Erschließungs- und Aufenthaltsfunktion,
- Förderung des öffentlichen Personennahverkehrs durch Privilegierung seiner Anforderungen bei der Netzplanung und Koordination mit den anderen Verkehrsarten,
- Minimierung des motorisierten Verkehrsaufkommens durch eine optimale Verbindung von Wohngebieten, Versorgungseinrichtungen, Arbeitsstätten, Freizeit- und Naherholungsbereichen durch ein engmaschiges Fuß- und Radwegenetz,
- Verringerung der Belastungen des Verkehrs für vorhandene Wohngebiete und andere städtebauliche Nutzungen durch Netzoptimierung unter Umweltgesichtspunkten,
- bedarfsorientierte Reduzierung und Rückbau des Straßen- und Wegenetzes unter Beachtung städtebaulicher, verkehrlicher, ver- und entsorgungstechnischer sowie wirtschaftlicher Aspekte,
- Erhaltung historischer Stadtgrundrisse und Siedlungsstrukturen als prägende Gestaltmerkmale der Städte.

Die Verwirklichung dieser beispielhaft genannten Ziele führt vielfach zu Konflikten zwischen den einzelnen Zielbereichen, die es durch eine abgewogene Netzgestaltung zu minimieren gilt. Zudem ist zu beachten, dass Zielsetzungen ebenso wie die ihnen zugrunde liegenden gesellschaftspolitischen Wertvorstellungen einem zeitlichen Wandel unterworfen sind. Der aktuelle Wertewandel schlägt sich beispielsweise in dem gegenwärtigen Trend nieder, die Innenstädte als Wohn- und Wirtschaftsstandorte durch eine Reduzierung motorisierten Individualverkehrs für die Bewohner, Nutzer und Besucher wieder attraktiver zu gestalten und zurückzugewinnen. Gleichzeitig sollen sowohl die Mobilität der Bevölkerung als auch die Erreichbarkeit der Innenstädte nicht verringert bzw. verschlechtert werden. Die Ermittlung der jeweiligen Zielprioritäten kann indessen nur einzelfallspezifisch unter Beachtung der örtlichen Struktur und Entwicklungstendenzen erfolgen. Im Hinblick auf den optimalen Ausgleich der unterschiedlichen Ziele ist daher eine Netzkonzeption mit Alternativen zu erarbeiten. Die Auswirkungen auf die Stadtentwicklung, den Verkehr und die Umwelt sind anhand des zuvor formulierten stadtspezifischen Zielsystems und plausibler Kriterien abzuschätzen, um transparente Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl eines Netzes bereitzustellen, das die formulierten Ansprüche am besten verwirklicht.

Gegenüber dem Planungsverfahren für einzelne Straßen kommt bei der Netzplanung der ganzheitlichen Bewertung eine besondere Bedeutung zu. Die Methode der integrierten Netzbewertung und Netzgestaltung für städtische Verkehrsnetze schließt die folgenden fünf Arbeitsschritte ein (siehe Abb. 3.1):

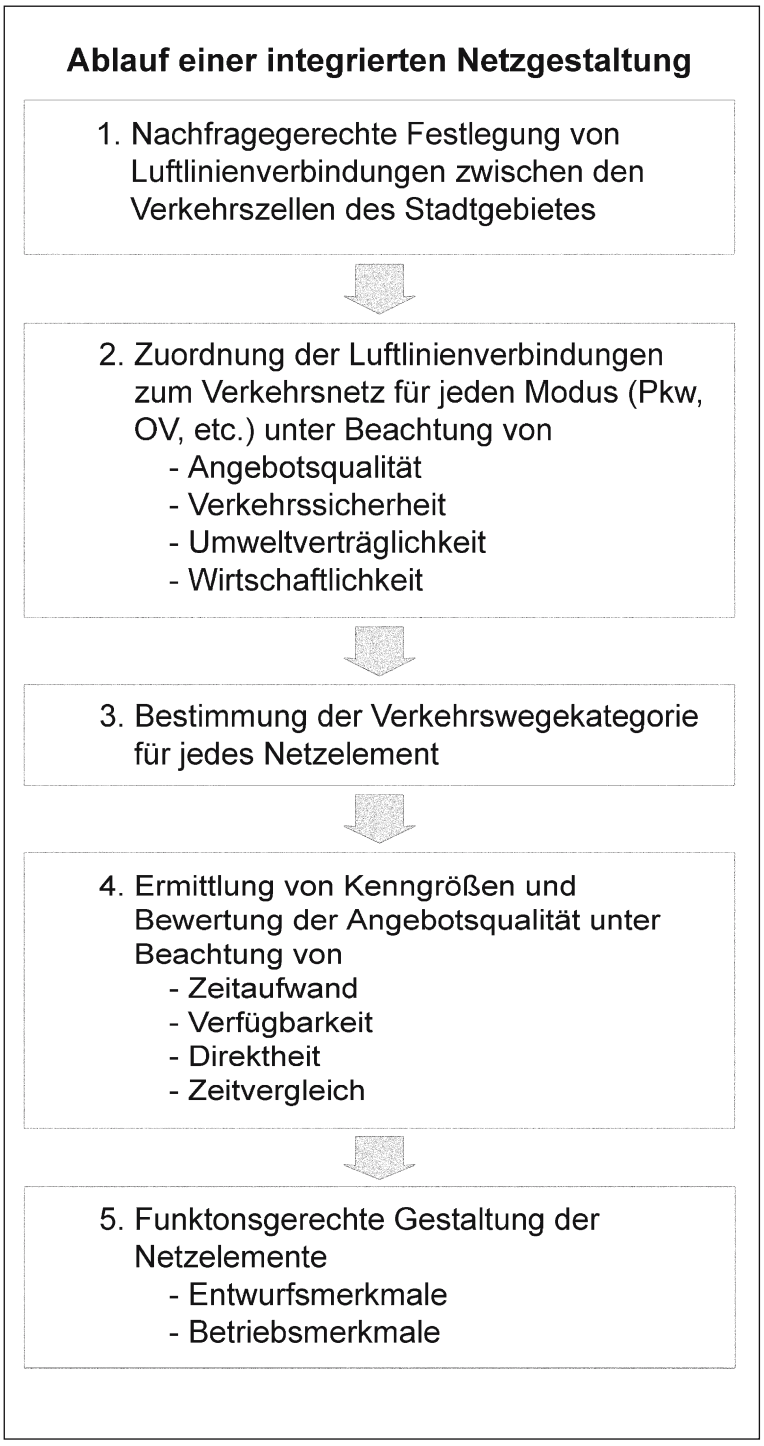


Abb. 3.1 Ablauf einer integrierten Netzgestaltung. (FGSV, 2003)

1. *Festlegung von Luftlinienverbindungen:* Auf der Grundlage der funktionalen Gliederung des Stadtgebietes in Verkehrszellen, denen jeweils ein bestimmter Ziel- und Quellverkehr zugeordnet wird, kann die Verkehrsnachfrage für städtische oder stadtregionale Verkehrsnetze anhand von zwei alternativen Ansätzen vereinfacht abgebildet werden:

a. Beim ersten Ansatz erfolgt zunächst eine Gliederung der Verkehrszellen entsprechend ihrer Bedeutung in zwei Stufen anhand der Strukturdaten der statistischen Stadtgliederung. Als Grundlage für das Hauptverkehrsnetz werden sodann die Verkehrszellen der ersten Stufe durch Luftlinien für die Fahrtzwecke Arbeiten, Ausbilden, Versorgen und Freizeit miteinander verbunden (SSP-Consult et al., 1997).

b. Beim zweiten Ansatz wird eine Luftlinienmatrix erstellt, indem für jeden Einwohner einer Verkehrszelle eine Luftlinienverbindung zu ausgewählten Zielen festgelegt wird, z.B. zu Arbeitsstätten, Ausbildungsstätten, Einkaufszentren, zentralen Einrichtungen (Rathaus, Krankenhaus, Messe, Sportstätten) und zentralen Verkehrsknotenpunkten (Fernbahnhof, Flughafen, Autobahnanschlussstelle). Zur plausiblen Auswahl von entsprechenden Verkehrszellen mit gleichen Funktionen und damit zur Bestimmung der Luftlinienmatrix können Gravitationsmodelle verwendet werden, welche die Nachfrage nach den jeweiligen Nutzungen entsprechend abbilden. Die Gesamtanzahl der Verbindungen wird mit empirisch ermittelten Einwohneräquivalenzwerten abgeglichen.

2. *Zuordnung der Luftlinienverbindungen zum Verkehrsnetz:* Um die Luftlinienverbindungen auf das vorhandene Verkehrsnetz zu übertragen, sind zunächst Anfangs- und Endpunkte (z.B. Kreuzungspunkte) festzulegen. Die weitere Zuordnung zu den Strecken des Netzes erfolgt vor allem unter den Aspekten
   - Angebotsqualität,
   - Verkehrssicherheit,
   - Belastung der vorhandenen bebauten Gebiete und der Freiräume in der Stadt,
   - Bündelung der Verkehrsströme und
   - vorhandenes Verkehrsangebot.

   Dabei weist entsprechend dem tatsächlichen Verhalten der Verkehrsteilnehmer die zeitkürzeste Route die höchste Angebotsqualität auf. Diese Zuordnung muss getrennt für jeden Modus (z.B. Pkw, Lkw, Rad, Fußgänger, ÖV, Park and Ride) erfolgen. Dabei kommen rechnergestützte Verfahren zum Einsatz (multi-class Umlegungen). Durch dieses Verfahren sollen die vorhandenen Potentiale der Infrastruktur optimal genutzt, Neu- und Ausbaumaßnahmen auf das unbedingt notwendige Maß begrenzt und Rückbaumaßnahmen aufgezeigt werden. Grundsätzlich sind für alle Verkehrsarten zunächst getrennte Netze zu erarbeiten, die dann unter Berücksichtigung der Zielsetzungen und Zielkonflikte in unterschiedlichen Varianten überlagert werden können (siehe Abb. 3.2).

3. *Bestimmung der Verkehrswegekategorie für jedes Netzelement:* Die Verkehrswegekategorie eines Netzelementes ergibt sich bei der Konzeption von Stadtnetzen oder stadtregionalen Netzen aus der Verbindungsbedeutung (Anzahl der Verbindungen) des jeweiligen Netzelementes. Bei Straßen werden außerdem das Straßenumfeld und die maßgeblichen Funktionen des Netzelementes berücksichtigt. Während die Einstufung in Verkehrswegekategorien für zwischenörtliche Verkehrsnetze anhand der raumordnerisch bestimmten zentralörtlichen Gliederung der Städte und Gemeinden erfolgen kann (siehe Abb. 3.2), die jeweils durch Netzelemente entsprechender Verbindungsfunktionsstufe miteinander verbun-

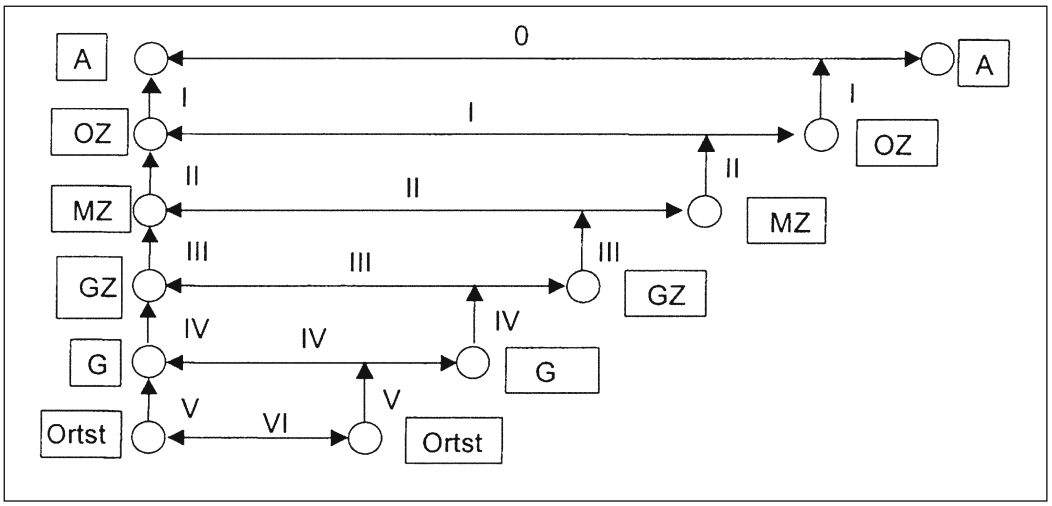


Abb. 3.2 Verbindungen und ihre Verbindungsfunktionsstufen. (FGSV, 2003)

A:	Agglomerationsraum	0	kontinental
OZ:	Oberzentrum	I	großräumig
MZ:	Mittelzentrum	II	überregional
GZ:	Grundzentrum	III	regional
G:	Gemeinde ohne Zentrenfunktion	IV	mehrräumig
Ortst:	Ortsteil	V	kleinräumig
		VI	anbindend

den werden, erfolgt die Ableitung der Kategorien für innerstädtische Verbindungen entsprechend der Bedeutung der verschiedenen innerstädtischen Standorte (Verkehrszellen). Es werden alle Wohn-, Arbeitsplatz-, Ausbildungs-, Versorgungs- und Freizeitstandorte der Stufe 1 miteinander verbunden, und es wird diesen Netzelementen die höchste Verbindungsfunktionsstufe innerhalb der bebauten Gebiete (Verbindungsfunktionsstufe I_g) zugeordnet. Zur Koordination der inner- und zwischenörtlichen Streckenkategorien wird die Verbindungsfunktionsstufe I_g in der Regel den zwischenörtlichen Verbindungsstufen III oder IV und bei besonders hoher Bedeutung der Verbindungsfunktion ausnahmsweise der Stufe II zugeordnet. Dabei ist auf den Netzzusammenhang zu achten, denn das Gesamtstraßennetz soll die Ziele der Stadtentwicklung optimal fördern (siehe Abb. 3.3).

4. *Ermittlung von Kenngrößen und Bewertung der Angebotsqualität:* Die Bewertung der Angebotsqualität ist für innerörtliche Straßen nur für die zuvor festgelegten Kategoriestufen II, III und IV vorzunehmen. Für alle anderen Kategorien können die Erschließungs- und Aufenthaltsfunktionen ohne Abwägung mit der Verbindungsfunktion erfüllt werden. Für jede relevante funktionale Beziehung zwischen zwei Verkehrszellen (Relation) und für jeden Modus wird mit Hilfe der relevanten Kriterien und Kenngrößen aus dem Katalog in Tabelle 3.1 die Angebotsqualität ermittelt:
Stehen Erfahrungswerte zur Verfügung, ist durch Vergleich mit den Kennwerten eine modusspezifische Bewertung und damit eine Identifizierung „guter“ und „schlechter“ Relationen möglich. (z.B. Umwegfaktor: tatsächlicher Weg/Luftlinienentfernung < 1,25 = günstig, bis 1,5= brauchbar, > 1,5

Verbindungs-funktionsstufe	von	nach	Beschreibung
I_g	W 1	A 1	Verbindung zwischen Wohngebieten der Stufe1 und Arbeitsplatzstandorten der Stufe 1
I_g	W 1	Aus 1	Verbindung zwischen Wohngebieten der Stufe 1 und Ausbildungsstandorten (inkl. Kindergärten) der Stufe 1
I_g	W 1	V 1	Verbindung zwischen Wohngebieten der Stufe 1 und Versorgungsstandorten der Stufe 1
I_g	W 1	Fr 1	Verbindung zwischen Wohngebieten der Stufe 1 und Standorten von Freizeiteinrichtungen der Stufe 1
I_g	A 1	A 1	Verbindung von Arbeitsplatzstandorten der Stufe 1 untereinander
II_g	alle übrigen Verbindungen		

W 1 Wohnstandorte der Stufe 1
A 1 Arbeitsplatzstandorte der Stufe 1
Aus 1 Ausbildungsstandorte der Stufe 1
V 1 Versorgungsstandorte der Stufe 1
Fr 1 Freizeitstandorte der Stufe 1

Abb. 3.3 Verbindungsfunktionsstufen für innerörtliche Wegenetze. (FGSV, 2003)

Tabelle 3.1: Kriterien und Kenngrößen zur Bewertung der Angebotsqualität. (FGSV, 2003)

Kriterium	Kenngröße
Zeitaufwand	– Reisezeit – Luftliniengeschwindigkeit – Reisezeitvergleich
Direktheit	– Umwegfaktor – Umsteigehäufigkeit
Zeitliche Verfügbarkeit	– Bedienungshäufigkeit – Betriebszeit – Pünktlichkeit
Sicherheit	– Pkw-Fahrtweite im nachgeordneten Straßennetz – Anteil der Rad-Fahrtweite auf radgeeigneten Strecken
Komfort	– Sitzplatzverfügbarkeit – Ausstattung der Fahrzeuge
Kosten	– Fahrtkosten

problematisch). Zugleich wird der Handlungsbedarf zur Aufwertung einzelner Netzelemente deutlich. Besondere Betrachtung erfordern Netzelemente, über die viele Relationen mit einer mangelhaften Angebotsqualität führen.

5. *Funktionsgerechte Gestaltung der Netzelemente:* In diesem Schritt werden die Entwurfs- und Betriebsmerkmale eines neu einzufügenden Netzelementes oder eines aufgrund einer mängelbehafteten Situation gemäß des vorangegangenen Schritts zu verändernden Netzelementes bestimmt. Die Qualitätsanforderungen an Elemente entlang einer Relation richten sich zum Teil nach der Verbindungsfunktionsstufe sowie nach Anforderungen des Umfeldes und den planerisch maßgebenden Funktionen. Dazu sind Gebiete abzugrenzen, die sich aufgrund ihrer Größe, ihrer Funktion im Stadtgefüge, ihrer städtebaulichen Struktur sowie der Art und Intensität der Flächennutzung als homogene Raumeinheiten bezeichnen lassen. Aufgrund der spezifischen Funktionen, Merkmale und Anforderungen an die Verkehrsinfrastruktur erweist sich die Abgrenzung folgender Gebietstypen als zweckmäßig (FGSV, 1995b):
   - *Stadtkerngebiete* mit mittelalterlichem oder absolutistischem Grundriss; Stadtzentren, die wegen erheblicher Kriegszerstörungen in der Wiederaufbauphase der fünfziger Jahre umstrukturiert wurden; Versorgungs- und Dienstleistungszentren aus den sechziger und siebziger Jahren am Stadtrand,
   - *Innenstadtnahe Altbaugebiete,* die im Zuge gründerzeitlicher Stadterweiterungen mit einer Blockrandbebauung entstanden sind.,
   - *Wohngebiete,* die am Stadtrand als weitgehend selbständige Nachbarschaftseinheiten mit Einfamilienhausbebauung und Geschosswohnungsbau seit den sechziger Jahren angelegt wurden.,
   - *Industrie- und Gewerbegebiete* am Stadtrand mit einer Monostruktur oder in Gemengelage,
   - *Dörfliche Gebiete* mit linearer oder nicht-linearer Siedlungsstruktur sowie
   - *Freizeitwohngebiete*, meistens außerhalb des Stadtgebietes.

Auf die einzelnen Netzformen und Netzelemente und deren Eignung für die verschiedenen Modi wird noch gesondert eingegangen (vgl. Kap. C 3.5). Abbildung 3.4 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen gesamtstädtischer und stadtteilbezogener Ebene für die Netzplanung. Für die funktionsgerechte Gestaltung der Netzelemente auf Stadtteilebene bietet sich das Instrument des städtebaulichen Rahmenplans an.

3.2.3 Realisierung des ausgewählten Netzentwurfes und Controlling

Die Realisierung des ausgewählten Gesamtnetzes und der Teilnetze wird schon aus finanziellen, verkehrstechnischen und organisatorischen Gründen oft den gesamten Zeitraum bis zum Zielhorizont erfordern, der beispielsweise beim Netz der Verbindungsstraßen immerhin bis zu 25 Jahre betragen kann. Da sich indessen zwischenzeitlich Inhalte und Prioritäten von Zielen sowie die Rahmenbedingungen für die Netzgestaltung ändern können und die Konzeptionen daher der kontinuierlichen Fortschreibung bedürfen, ist es zweckmäßig, ein Stufenprogramm für die Realisierung zu entwickeln. Die verwirklichten Zwischenstufen sollten jedoch keine Provisorien darstellen, sondern bereits im Hinblick auf die langfristigen Ziele ein funktionsfähiges Netz ergeben.

Die Festlegung der Ausbaustufen wird sich neben den sachlichen Erfordernissen auch an

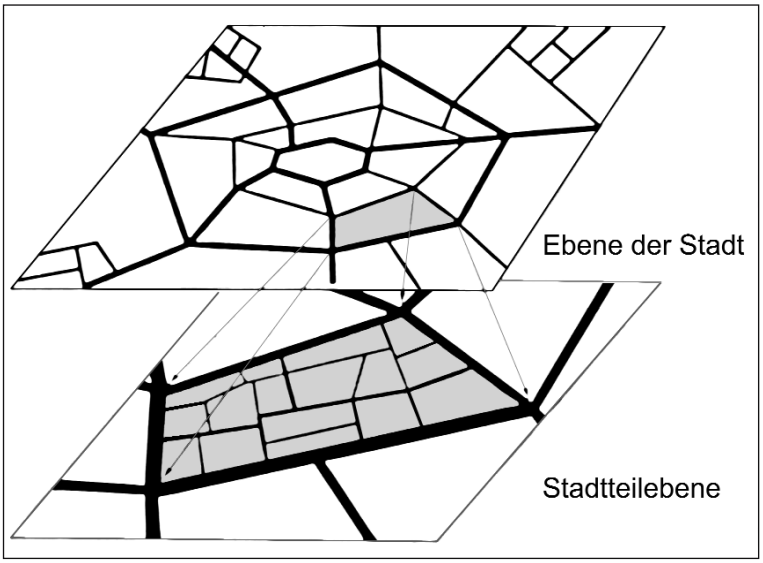


Abb. 3.4 Ebenen der Netzgestaltung. (Eigene Darstellung)

den rechtlichen Rahmenbedingungen und der Akzeptanz der vorgesehenen Netzteile zu orientieren haben. So lassen sich naturgemäß für die Vorhaben, über die bei Bürgern und Trägern öffentlicher Belange ein weitgehender Konsens besteht, die notwendigen planungsrechtlichen Voraussetzungen schneller erstellen als für kritische Netzteile. Infolgedessen werden Ausbaustufen mit geringem Neubau- und Umbauaufwand gegenüber solchen mit intensiven Eingriffen eine höhere Priorität aufweisen, sofern dies auch sachlich zu vertreten ist.

Die sukzessive Verwirklichung der Planung über einen langen Zeitraum erfordert es, in kürzeren Abständen die Entwicklung der zugrunde liegenden Rahmenbedingungen, die Gültigkeit der ursprünglichen Zielvorstellungen sowie die Erfolge und unbeabsichtigten (positiven wie negativen) Nebenwirkungen der durchgeführten Maßnahmen im Rahmen einer Wirkungsanalyse und Erfolgskontrolle zu überprüfen. Insbesondere gilt es, frühzeitig Defizite in der städtebaulichen Entwicklung und im Umweltbereich aufzudecken, die möglicherweise der Netzplanung zuzurechnen sind. Als Grundlage einer solchen Bewertung bietet sich wiederum das erstellte Zielsystem an. Erst ein stringentes Controlling mit kontinuierlicher Erfolgkontrolle als Korrektiv für die Ziele und Maßnahmen führt in einem iterativen Planungsprozess zu optimalen Verkehrsnetzen und trägt dazu bei, Fehlentwicklungen für die Stadt, den Verkehr und die Umwelt zu vermeiden.

3.3 Anforderungen des Verkehrs an das Straßen- und Wegenetz

3.3.1 Fußgänger und Radfahrer

Die Netze für Fußgänger und Radfahrer sollen innerstädtisch flächendeckend attraktiv und sicher gestaltet werden. Gerade das Fahrrad gilt es als umweltverträgliches Verkehrsmittel für alle Reisezwecke und Bevölkerungsgruppen zu fördern. Dabei ist zu beachten, dass Fußgänger und Radfahrer nicht nur die „schwächsten" Verkehrsteilnehmer sind (z.B. bei Unfällen oder bei Steigungen der Straßen und Wege), sondern auch die langsamsten. Zur Förderung dieser Verkehrsteilnehmer sind folgende Netzgestaltungsaspekte bedeutsam:

– *Erreichbarkeit, Umwege, Orientierung:* Ziele und Quellen des Fußgänger- und Radfahrerverkehrs liegen innerstädtisch an allen Straßen und Wegen, so dass ein flächendeckendes und lückenloses Netz anzustreben ist. Über ein rein erschließendes Netz hinaus sind alle wichtigen Ziele und Quellen des Fußgänger- und Radverkehrs miteinander zu verbinden. Aus diesem Grunde kommt einer direkten Führung ohne Umwege der für diese Verkehrsteilnehmer bestimmten Netzelemente eine herausragende Bedeutung zu. Darüber hinaus sind aus der Sicht der Fußgänger besonders Netzelemente mit hoher Aufenthaltsqualität bei der Netzgestaltung zu berücksichtigen. Für die Radfahrer besteht Bedarf an einem Netz hochwertiger Hauptverbindungen. Die Netzdichte ist ein entscheidendes Kriterium für die Akzeptanz. Als Anhaltswerte für die Maschenweite für das Netz der Hauptverbindungen können 500 bis 1.000 m, für untergeordnete Verbindungen 200 bis 500 m angegeben werden. Für alle Netze leisten gute Orientierungsmöglichkeiten eine wichtige Hilfe.
– *Eigene Verkehrsflächen:* Wegen des hohen Gefährdungspotentials der Fußgänger und Radfahrer sind ihnen außer in Tempo-30-Zonen und verkehrsberuhigten Bereichen je nach Verkehrsbelastung auch eigene Wege zuzuweisen. Auf Hauptverkehrsstraßen mit einem DTV von mehr als 10.000 Kfz/Tag sind eigene Radfahrstreifen oder Radwege vorzusehen. Fußgänger und Radfahrer können auf gemeinsamen Wegen geführt werden, solange das Fußgängeraufkommen nicht zu groß ist, wie an anbaufreien Straßen mit geringer Randnutzung durch Fußgänger. Rad fahrende Kinder müssen ohnehin die Gehwege benutzen. Grenzwerte für die gemeinsame Benutzung eines Weges durch Fußgänger und Radfahrer lassen sich kaum eindeutig angeben; hier sind auch die örtlichen oder regionalen Gewohnheiten zu beachten. Als Anhaltswert sei eine Belastung mit etwa 50 Radfahrern stündlich für einen gemeinsam genutzten Weg genannt.
– S*ozialkontrolle:* Selbständig geführte Fuß- und Radwege bieten sich entlang von Gewässern, Bahntrassen, Grünzügen und Erholungsanlagen an. Solche Netzelemente ohne eine ausreichende Öffentlichkeit werden von Kindern und Frauen oft gemieden. Deshalb sollte das Netz wegen der erforderlichen Sozialkontrolle nicht nur aus derartigen selbständig geführten Strecken bestehen. Wenn in Neubaugebieten – in bestehenden Baugebieten scheidet diese Möglichkeit ohnehin aus – eigene Geh- und Radwegenetze angelegt werden, sind darüber hinaus zusätzlich zu den selbständig geführten Wegen auch entlang der Fahrbahnen Gehwege anzulegen.
– *Überquerung von Fahrbahnen:* Das Überqueren von Fahrbahnen bringt für Fußgänger und Radfahrer immer Gefahren mit sich. Daher sollten bereits bei der Planung

der Netze solche Netzelemente mit hohem linearem Überquerungsbedarf (z.B. Hauptgeschäftsstraßen) besonders mitbedacht und geeignete Überquerungsstellen berücksichtigt werden. In der Regel wird das allerdings erst beim Entwurf der Verkehrsanlagen möglich sein.

– *Steigungen:* Die Forderung nach einer Begrenzung der Steigung von Geh- und Radwegen berücksichtigt die geringe physische Stärke dieser Verkehrsteilnehmer. Im Interesse von Behinderten – vor allem der Rollstuhlfahrer – sollen Steigungen höchstens 6 Prozent betragen. In Städten mit bewegter Topographie ist diese Empfehlung jedoch nicht immer zu erfüllen. Ab 3 Prozent Steigung kommt für bergauf fahrende Radfahrer eher eine Führung auf Radwegen oder auf gemeinsamen Fuß- und Radwegen in Betracht als für die abwärts fahrenden Radfahrer.
– *Beeinträchtigungen durch Immissionen des Kfz-Verkehrs:* Fußgänger und Radfahrer dürfen durch Immissionen des Kfz-Verkehrs, also durch Lärm, Erschütterungen und Abgase, nicht bzw. nur im vertretbaren Ausmaß beeinträchtigt werden. Gewisse Beeinträchtigungen sind unvermeidbar. Es kommt jedoch gerade bei der Netzplanung darauf an, die Obergrenzen der Belastungen für Fußgänger und Radfahrer nicht zu überschreiten. Feste Zumutbarkeitsgrenzen für Lärm oder Abgase können zurzeit indessen nicht angegeben werden.

3.3.2 Kraftfahrer

Aus der Sicht des motorisierten Individualverkehrs sind bei der Netzplanung folgende Aspekte zu beachten:

– *Orientierbarkeit:* Innerstädtische Straßen- und Wegenetze müssen naturgemäß auch für Kraftfahrer gute Orientierungsmöglichkeiten bieten. Die Erfüllung dieser Forderung stößt aber auf Schwierigkeiten, wenn aus bestimmten Gründen das Straßennetz nicht rasterartig aufgebaut wird, sondern wenn beispielsweise in größerem Umfang Stich- oder Schleifenstraßen vorgesehen werden, die zwar durch Geh- und Radwege untereinander verbunden sind und für Fußgänger und Radfahrer eng vermaschte Netze darstellen, nicht jedoch für den Kraftfahrer, der sich in solchen Netzen oft nur schlecht orientieren kann. Dieser Nachteil kann jedoch durch andere Vorteile aufgewogen werden.
– *Erreichbarkeit und Zeitaufwand:* Bei der Planung und Ausweitung flächenhafter verkehrsberuhigter Bereiche ist die Erreichbarkeit der Standorte innerhalb der Gebiete in angemessener Zeit kritisch zu prüfen. Zur Stärkung der Aufenthaltsfunktion der Netzelemente von Wohn- und Mischgebieten ist eine flächenhafte Einrichtung von Tempo-30-Zonen und zielorientierte Ausweisung von verkehrsberuhigten Bereichen oder verkehrsberuhigten Geschäftsbereichen unverzichtbar. Die geringfügig längeren Fahrtzeiten für Kraftfahrer in den Gebieten sind angesichts der gewonnenen Attraktivitätssteigerung und Verbesserung der Verkehrssicherheit vertretbar. Voraussetzung dafür ist freilich, dass das Netz der Tempo-50-Straßen ausreichend dicht bleibt.
– *Temporäre Sperrung von Netzelementen:* Die Festivalisierung unserer Innenstädte bedingt eine zunehmende Anzahl von Events und Massenveranstaltungen. Es kommt immer häufiger zu einer Sperrung der Innenstädte für den Kfz-Verkehr während bestimmter Zeiten. Darauf muss bei der Netzgestaltung Rücksicht genommen werden. Die Sperrung einzelner Netzelemente für den motorisierten Verkehr und die Einrichtung von temporärem Park-and-

Ride-Modus für die Besucher von Massenveranstaltungen müssen möglich sein.

– *Entwurfsgrundsätze und Bemessung von Verkehrsanlagen:* Die Forderung nach ausreichender Auslegung der Verkehrsanlagen ist einerseits selbstverständlich, andererseits aber keineswegs allgemein zu beantworten. Je nach der Qualität der einzelnen Netzelemente wird zum Beispiel die Frage, welche Geschwindigkeit einem Entwurf für eine Straße zugrunde zu legen ist, völlig unterschiedlich zu beantworten sein. Je nach der Funktion der Straße kommen dafür das „Trennungsprinzip“ mit oder ohne Geschwindigkeitsdämpfung sowie das „Mischungsprinzip“ in Frage. Das Mischungsprinzip, bei dem alle Verkehrteilnehmer gemeinsam eine Fläche benutzen, kann nur dann angewendet werden, wenn die Verbindungsfunktion des Netzelementes keine Bedeutung hat. Von allen Verkehrsteilnehmern gemeinsam zu nutzende Flächen setzen eine Begrenzung der Geschwindigkeiten des Kfz-Verkehrs auf Schrittgeschwindigkeit voraus. Zudem darf der Kfz-Verkehr eine bestimmte Stärke nicht überschreiten.
– *Belastungsgrenzen von Netzelementen im Mischungsprinzip:* Der Übergang vom Mischungs- zum Trennungsprinzip ist fließend. Das wird deutlich bei stärker belasteten Straßen in historischen Kernen, in denen besondere Rücksicht auf die Gestaltung zu nehmen ist. Dort sind Übergangsformen möglich, die wie Mischflächen gestaltet, aber nach dem Trennungsprinzip betrieben werden. Als Obergrenze für die Anwendung von Mischflächen wird in den EAE 85/95 ein Wert von 100 Kfz/h empfohlen, der in besonderen Fällen bis auf 200 Kfz/h ansteigen kann. Für Übergangsformen können Belastungen bis 400 Kfz/h als Maximum angesehen werden. Diese Grenzwerte verdeutlichen, dass „Mischflächen“ nur bei den Straßen mit dominanter Aufenthaltsfunktion vorgesehen werden können.

  Bei Straßen nach dem Trennungsprinzip und demzufolge eigenen Flächen für jede Verkehrsart ist zusätzlich zu entscheiden, ob Maßnahmen zur Dämpfung der Geschwindigkeit erforderlich sind. Bei Netzelementen mit Erschließungs- und Aufenthaltsfunktion in Wohn-, Geschäfts- und Erholungsgebieten werden in aller Regel solche geschwindigkeitsdämpfenden Maßnahmen erforderlich, wobei für Umfang und Intensität dieser Maßnahmen die funktionale Bedeutung des jeweiligen Netzelementes entscheidend ist wie Hauptverkehrsstraße, Straße innerhalb einer Tempo-30-Zone oder eines verkehrsberuhigten Bereiches.
– *Querschnittsgestaltung von Netzelementen:* Zusätzlich zum Entwurfsprinzip sind für die Dimensionierung auch die maßgeblichen Begegnungsfälle (Müllfahrzeug-Bus, Bus-Pkw oder Lkw-Pkw) zu berücksichtigen. Je nach der Funktion eines Netzelementes muss im Extremfall auf der einen Seite lediglich die Sicherung der Befahrbarkeit (allerdings auch durch selten verkehrende, große) Kraftfahrzeuge gesichert sein, während auf der anderen Seite, etwa auf Hauptverkehrsstraßen, der regelmäßige Begegnungsfall Bus-Bus oder Bus-Lkw ermöglicht werden muss, ohne dass es zu einer unzumutbaren Herabsetzung der Geschwindigkeiten kommt.
– *Geschwindigkeitsdämpfender Umbau von Netzelementen:* In allen Fällen, in denen eine Verlangsamung des Verkehrsablaufs angestrebt wird, kommt es in der Regel zu Zielkonflikten: Wenn eine Fahrbahn so bemessen wird, dass sie mit breiten und langen Kfz gerade noch zu befahren ist, können Pkw auf einer solchen Fahrbahn ohne Schwierigkeiten wesentlich schneller fah-

ren, als nach der Funktion der Straße erwünscht ist. Dieser Konflikt lässt sich nur mit viel Sorgfalt lösen, insbesondere dann, wenn echte Hindernisse nur für Pkw (z. B. Schwellen mit Durchlässen, die für Lkw und Busse keine Behinderungen darstellen) nicht angewendet werden können oder sollen. Dieser Fall wird aber häufig vorkommen, wenn zum Beispiel aus Gründen der Stadtbildpflege oder Kostengründen auf derartige, meistens nicht gut in das Straßenbild passende Elemente verzichtet werden muss. Die gestalterische Qualität vieler „beruhigter" Straßen lässt ohnehin häufig viele Wünsche offen.

Deshalb stellt die Einführung der Vorfahrtregelung „rechts vor links" eine effektive Alternative dar: Es sind keine problematischen gestalterischen und baulichen Maßnahmen erforderlich, aber diese Verkehrsregelung bewirkt nicht nur eine Geschwindigkeitsdämpfung, sondern auch eine (oft erwünschte) gleichmäßige Verteilung der Verkehrsströme auf das Netz, das dafür naturgemäß vorgesehen werden muss.

3.4 Einteilung von Straßen und Wegen in Kategorien

3.4.1 Funktionen der Straßen

3.4.1.1 Verbindungsfunktion

Auch in Städten haben Straßen wegen der funktionsdifferenzierten Struktur Verbindungsfunktionen zu übernehmen. Der reibungslose Personen- und Güterverkehr und die Erhaltung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der Städte sind auch in Zukunft auf sichere und leistungsfähige Verkehrsverbindungen angewiesen. Die gute Erreichbarkeit der Innenstädte, der Folge- und Versorgungseinrichtungen, der Arbeitsstätten, Bildungs- und Erholungseinrichtungen bilden wesentliche Grundlagen der städtischen Lebensqualität. Dabei wächst die Bedeutung des innerstädtischen Straßennetzes mit Verbindungsfunktion mit zunehmender Stadtgröße. Nicht nur für den privaten motorisierten und nicht-motorisierten Verkehr sind gute Verbindungen unverzichtbar, sondern gerade auch für einen attraktiven öffentlichen Verkehr. Die Anordnung sowie die Dimensionierungs- und Ausbauerfordernisse der Netzelemente für den öffentlichen Verkehr legen es nahe, dass diese in der Regel zugleich auch Verbindungsfunktion für den Individualverkehr übernehmen können.

Die mit dem Straßennetz zu realisierenden Verbindungen sind aus dem jeweiligen Stadtentwicklungskonzept abzuleiten, so dass eine gute Erreichbarkeit der Innenstadt und der übrigen Stadtteile mit wesentlichen Funktionen, eine sichere Verkehrsabwicklung und bestimmte Verkehrsqualitäten für alle Verkehrsteilnehmer gewährleistet wird. Bei der Festlegung von Qualitätsniveaus müssen allerdings die Ziele, die Erreichbarkeit in angemessener Zeit und Transportkosten einzusparen sowie ausreichende Verkehrssicherheit zu gewährleisten, mit dem Ziel nach Schutz der innerstädtischen Nutzungen, insbesondere der Wohn- und Geschäftsnutzung, sorgfältig abgewogen werden. Angesichts der komplexen Auswirkungen und der Vielzahl der zu berücksichtigenden Belange sind innerstädtische Netzelemente mit Verbindungsfunktion in Bezug auf schützenswerte Nutzungen an deren Peripherie anzuordnen und zu bündeln. Durch Ausbau und Gestaltung sind die negativen Emissions- und städtebaulichen Trennwirkungen zu minimieren.

Gerade im innerstädtischen Bereich ist darüber hinaus bei der Netzgestaltung zu beachten, dass im Zuge von Verbindungen intermo-

dal und intramodal eine gute Verknüpfung der Verkehrssysteme und Verkehrsmittel gewährleistet ist.

3.4.1.2 Erschließungsfunktion

Innerstädtische Straßen dienen neben der Verbindung vorwiegend auch der Erschließung. Eine ordnungsgemäße städtebauliche Nutzung der Grundstücke setzt voraus, dass diese in angemessener Breite an eine öffentliche Verkehrsfläche grenzen. Die Zugänglichkeit für Anwohner, Besucher, Lieferanten sowie Versorgungs-, Unterhaltungs- und Notdienstfahrzeuge ist zu gewährleisten. Gleichzeitig sind die Anforderungen der Erschließung vergleichsweise gering.

Die Erschließungsfunktion setzt keine Anfahrbarkeit aller Grundstücke für den motorisierten Individualverkehr in jedem Einzelfall voraus, sondern erfordert lediglich deren Zugänglichkeit für den regelmäßigen Verkehr. Allerdings müssen die Netzelemente in diesen Fällen eine Befahrbarkeit für Fahrzeuge der Notdienste zulassen. Erschließungs- und Verbindungsfunktionen von Straßen können sich gegenseitig beeinträchtigen. Grundsätzlich können Verkehrswege die Erschließungsaufgaben für die anliegenden Nutzungen umso besser übernehmen, je geringer ihre Bedeutung als Verbindungselement im Netz ist.

Erschließungsstraßen haben indessen nicht nur den Ziel- und Quellverkehr aufzunehmen, sondern je nach Intensität der erschlossenen Wohn-, Büro-, Geschäfts- oder sonstigen Nutzung ergeben sich umfassende Ansprüche des ruhenden Verkehrs nach ausreichenden Stellflächen an den Straßenraum. Darüber hinaus findet in derartigen innerstädtischen Gebieten eine mehr oder weniger intensive Nutzung der Seitenräume der Straßenräume durch nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer und Anwohner statt. Dabei bestehen vor allem in Wohn- und Einkaufsbereichen Konflikte zwischen dem durchgehenden und dem querenden Verkehr. Die Attraktivität der Erschließungsfunktion hängt daher wesentlich von umfeldverträglichen Geschwindigkeiten der motorisierten Verkehre ab.

3.4.1.3 Aufenthaltsfunktion

Straßen- und Wegeflächen sind Teil des innerstädtischen öffentlichen Raumes, dem zunächst eine erhebliche stadtgestalterische und damit auch imageprägende Wirkung für eine Stadt und ihre Quartiere zukommt. Für die Bewohner und Besucher dienen solche Verkehrsflächen auch dem Aufenthalt und bieten Gelegenheit zur Kommunikation. Die Art der Nutzung und die Nutzergruppen ergeben sich aus Nutzung und Bebauung der angrenzenden Flächen. Die Übergangszone zwischen den privaten, hausnahen Flächen und den öffentlichen Straßenseitenräumen bilden herausgehobene Aufenthaltsorte nicht nur für das Spielen von Kindern, sondern auch für Erwachsene zum Einkaufsbummel, Aufenthalt in Straßencafés, Besichtigen von Sehenswürdigkeiten oder zum Spazieren gehen und Ausruhen.

Ebenso wie mit der Erschließungsfunktion gehen mit einer ausgeprägten Aufenthaltsfunktion vermehrt Überquerungen der Verkehrswege einher. Zwischen diesen und dem durchgehenden Verkehr können sich vor allem bei Zugängen zu öffentlichen Gebäuden und Gemeinbedarfseinrichtungen wie Rathäusern, Museen, Kindergärten, Schulen, Krankenhäusern, Altersheimen und Erholungsanlagen erhebliche Konflikte ergeben. Dies ist bei der Netzgestaltung besonders zu beachten.

Die Aufenthaltsqualität der Straßenräume hängt sowohl von dem verfügbaren Flächenangebot als auch von der Verkehrsbelastung ab. Grundsätzlich besteht eine Unverträglichkeit mit höherrangigen Verbindungsfunktionen, aber durchaus auch mit ausgeprägten Erschließungsfunktionen. Die Aufenthaltsfunktion kann je nach Verkehrsbelastung und Querschnittsgestaltung durch einen Ausbau nach

dem Mischungs- oder Trennungsprinzip deutlich aufgewertet werden. Bei besonders ausgeprägten Aufenthaltsansprüchen sind beispielsweise ausreichend große und abwechslungsreich gestaltete Aufenthaltsflächen in Verbindung mit einer umfeldverträglichen Abgrenzung der Verkehrsflächen vorzusehen. Fehlt ein derartiges Flächenangebot und ist eine Funktionsüberlagerung bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten möglich, können die Fahrbahnen von Straßen und Radwegen nach eingehender Prüfung ganz oder teilweise in die Aufenthaltsnutzung integriert werden. Unter Sicherheitsaspekten sind die vorgenannten Verkehrsbelastungen zu beachten.

3.4.2 Überlagerung der Funktionen

Die verkehrlichen Funktionen wie Verbindung und Erschließung sowie die nicht-verkehrlichen Funktionen wie Aufenthalt und weitere Funktionen, die sich aus der Rand- und Umfeldnutzung ergeben, können schon aus Raumgründen nicht generell getrennt und auf unterschiedliche Netzelemente verteilt werden. Das ist aus städtebaulichen Gründen ohnehin nicht sinnvoll. Die Funktionsüberlagerung, also die Multifunktionalität der Straßenräume ist die Regel. Im Zuge der Straßennetzplanung ist daher eine möglichst verträgliche Überlagerung der verschiedenen Funktionen vorzunehmen. Je nach Bedeutung der nicht-verkehrlichen und verkehrlichen Funktionen ergeben sich so für jedes einzelne Netzelement unterschiedliche Kombinationen von Verbindungs-, Erschließungs- und Aufenthaltsfunktionen, die letztlich eine entsprechende Gestaltung verlangen.

Die Überlagerung führt regelmäßig zu Konflikten zwischen Aufenthalts-, Erschließungs- und Verbindungsfunktion. Besondere Probleme entstehen immer dann, wenn zwei der drei Funktionsbereiche mit hohen Qualitätsansprüchen zusammentreffen. Um unzumutbare Beeinträchtigungen zu vermeiden, sollte in diesen Fällen eine Trennung der Funktionen vorgesehen werden. Stehen keine alternativen Netzelemente zur Verfügung, muss durch die bauliche Gestaltung der Verkehrsanlage ein Interessenausgleich realisiert werden, der für alle Funktionsbereiche eine Mindestqualität sichert (siehe Abb. 3.5).

Im Rahmen der Netzgestaltung ist zu entscheiden, welche Funktionen vorrangig berücksichtigt und welche Strategien für einen Abbau von Funktionskonflikten ergriffen werden müssen. Plausible Kriterien für die Einordnung und Konfliktabschätzung der voraussichtlichen Funktionen auf einem Netzelement liefert die RIN. Für die Stadtverkehrsplanung ist den umweltfreundlichen Verkehrssystemen insbesondere hinsichtlich der Verbindungsfunktionen eine besondere Priorität einzuräumen. Bei der funktionalen Einordnung von Verkehrswegen soll verkehrsträgerübergreifend stets geprüft werden, ob Verbindungsfunktionen davon übernommen werden können, so ggf. beim Ausbau die Verbindungsfunktion unberücksichtigt bleiben kann.

3.4.3 Kategoriengruppen und Ableitung von Straßenkategorien

Die systematische planerische Bewältigung der Konflikte, die sich aus der Überlagerung der Funktionen ergeben, wird durch die Enteilung der Straßen und Wege in Kategoriegruppen wesentlich erleichtert. Als Kriterien werden dazu bei Straßen die Lage, das Straßenumfeld und die planerisch maßgebliche Funktion (siehe Abb. 3.6), bei Wegen für den Fußgänger- und Radverkehr der vorrangige Nutzungszweck der Wege sowie ebenfalls die planerisch maßgebliche Funktion herangezogen (siehe Abb. 3.7).

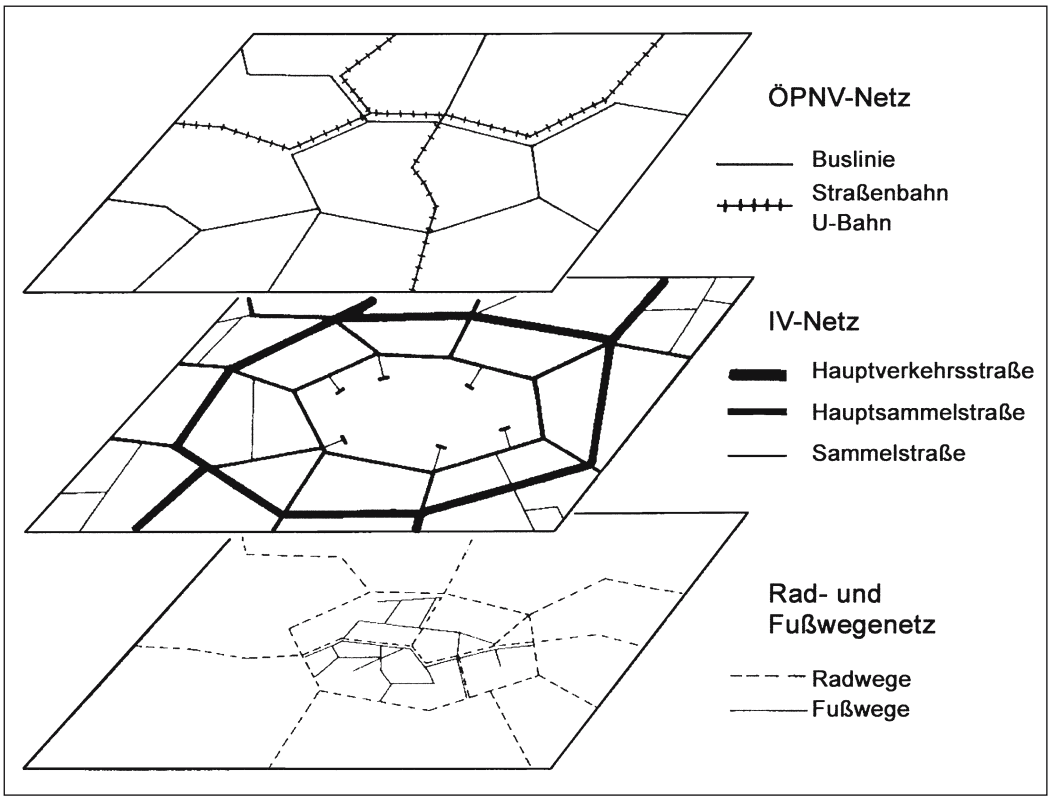


Abb. 3.5 Überlagerung der verkehrsartenspezifischen Netze. (FGSV, 1995b)

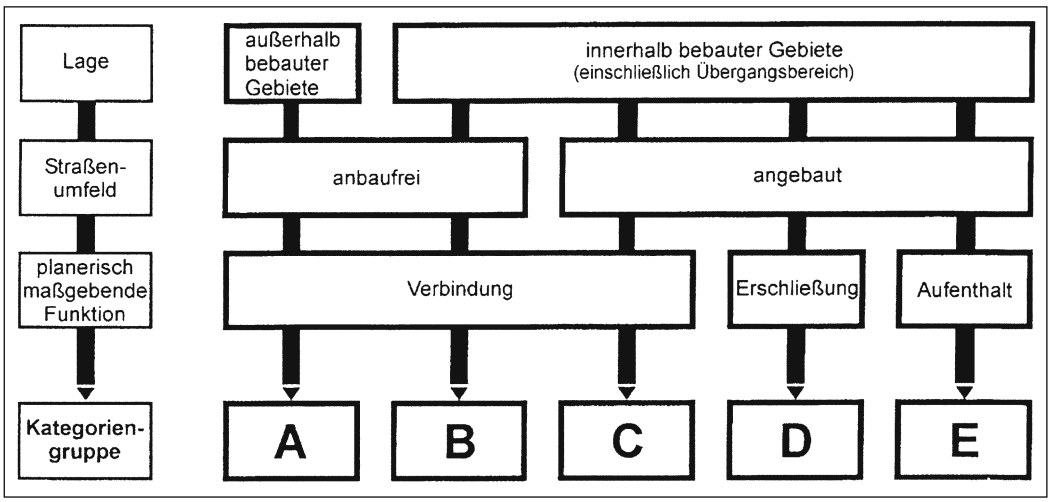


Abb. 3.6 Straßenkategorien, Entwurfs- und Betriebsmerkmale. (FGSV, 2003)

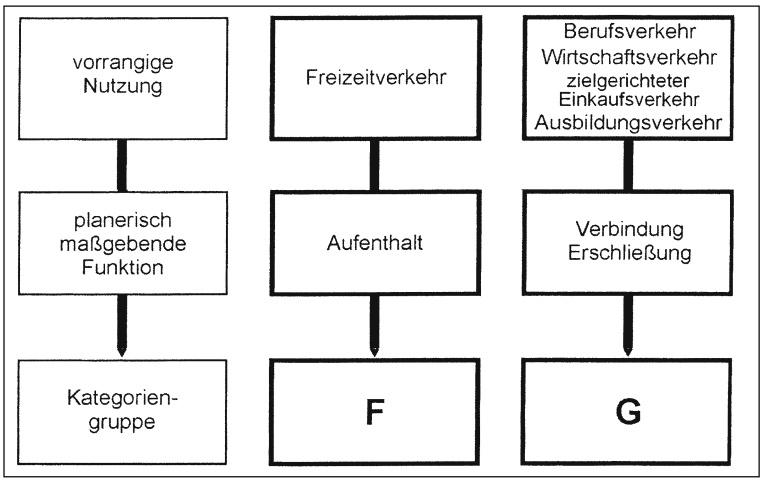


Abb. 3.7 Kategoriengruppen bei Rad- und Fußverkehrsanlagen. (FGSV, 2003)

In der Stadtverkehrsplanung überwiegen die angebauten Straßen der Kategoriegruppen B – E, da die Kategoriegruppe A lediglich außerhalb bebauter Ortschaften vorgesehen ist. Die Nutzungsansprüche an die Netzelemente werden vor allem von der Nutzungsart und -intensität der angrenzenden Bebauung und Flächen beeinflusst. Eine reine Wohnnutzung, eine Mischnutzung von Wohnen und Dienstleistungen oder eine ausschließlich gewerbliche oder industrielle Nutzung stellen jeweils sehr unterschiedliche Anforderungen an die Netzelemente. Öffentliche Einrichtungen wie Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Museen stellen besondere Anforderungen an die Einbindung in das Netz und die Gestaltung des Netzelements. Zur Bewältigung der planerischen und entwurfstechnischen Aufgaben ist ausgehend von einer städtebaulichen Typisierung des Umfeldes die maßgebliche Funktion des jeweiligen Netzelements festzulegen und die Kategoriegruppe für die Straße abzuleiten. Dabei reicht das Spektrum von anbaufreien Straßenabschnitten im Vorfeld und innerhalb des Stadtgebietes (Kategoriegruppe B), bei der die vorwiegende Verbindungsfunktion sich nur in geringem Umfang mit Erschließungs- und Aufenthaltsfunktionen überlagert, bis hin zu intensiv angebauten Straßenabschnitten, die überwiegend dem Aufenthalt und in gewissem Umfang zusätzlich der Erschließung dienen (Kategoriegruppe E).

Für die Rad- und Fußverkehrsanlagen bietet sich aufgrund der spezifischen Anforderungen für die Netzkonzeption und die bauliche Gestaltung eine Unterteilung danach an, ob diese Anlagen für den Freizeitverkehr (Kategoriegruppe F) oder für den Berufs-, Wirtschafts-, Einkaufs- oder Ausbildungsverkehr (Kategoriegruppe G) genutzt werden sollen. Während bei freizeitorientierten Routen ein immissionsarmes und erlebnisreiches, attraktives Umfeld für die Planung bedeutsam ist, sollte die Kategoriegruppe G direkte Verbindungen und zügig befahrbare bzw. begehbare Netzelemente bereitstellen.

Eine weitere Differenzierung der Netzelemente innerhalb einer Kategoriegruppe ist aufgrund der verkehrlichen Bedeutung im Netz möglich und sinnvoll. Je nach Stellenwert der Verbindungsfunktion lassen sich sieben Stufen unterscheiden (siehe Abb. 3.8). Die innerörtlichen Straßen mit Verbindungsfunktionen werden entsprechend ihrer Bedeutung den zwischengemeindlichen Verbindungsfunktionsstufen III oder IV, ausnahmsweise auch II, zu-

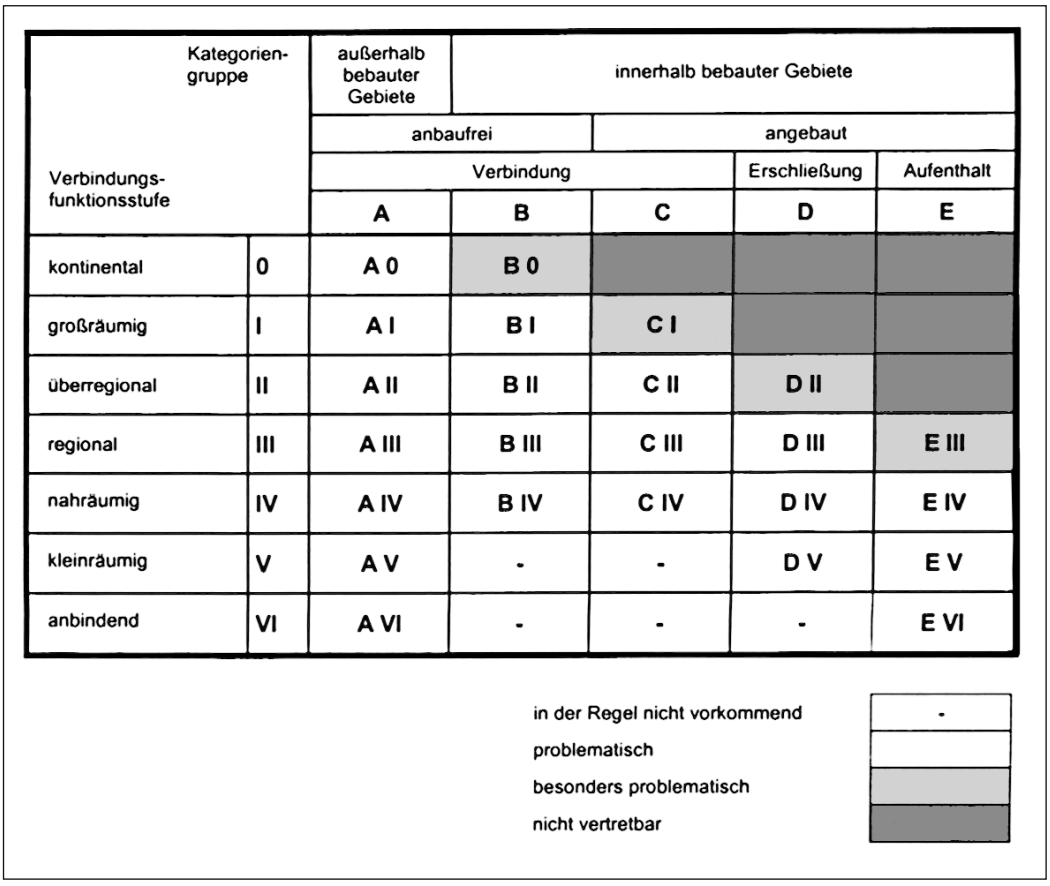
	Straßenfunktion			Zielgrößen für Fahrgeschwindigkeiten (km/h) [2]			
	Kategoriengruppe	Straßenkategorie		Standard-Entfernungs-bereich [1] km	Verbindung unterhalb	Verbindung im	Verbindung oberhalb
					Standard-Entfernungsbereich		
	1	2		3	4	5	6
A	anbaufreie Straßen außerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Verbindungsfunktion	A 0	Europastraße/ Fernstraße	60 - 500	60 - 90	70 - 100	90 - 110
		A I	Fernstraße	40 - 160	60 - 90	70 - 100	90 - 110
		A II	überregionale/ regionale Straße	10 - 70	50 - 80	60 - 90	70 - 90
		A III	zwischengemeindliche Straße	5 - 20	40 - 60	50 - 80	60 - 80
		A IV	flächenerschließende Straßen	0 - 15	---	40 - 60	50 - 70
		A V	untergeordnete Straße	---	keine		
		A VI	Wirtschaftsweg	---	keine		
B	anbaufreie Straßen im Vorfeld und innerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Verbindungsfunktion	B II	Schnellverkehrsstraße	---		50 - 70	
		B III	Hauptverkehrsstraße	---		40 - 60	
		B IV	Hauptsammelstraße	---		30 - 50	
C	angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Verbindungsfunktion	C III	Hauptverkehrsstraße	---		30 - 50	
		C IV	Hauptsammelstraße	---		30 - 40	
D	angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Erschließungsfunktion	D IV	Sammelstraße	---		20 - 30	
		D V	Anliegerstraße	---		keine	
E	angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Aufenthaltsfunktion	E V	Anliegerstraße	---		keine	
		E VI	Anliegerweg	---		keine	

Abb. 3.8 Straßenkategorien und angestrebte Geschwindigkeiten. (FGSV, 2003)

geordnet. Die folgende Verknüpfungsmatrix weist besonders die Kombinationen von Straßenkategorien und Verbindungsfunktionsstufen aus, bei denen in der Praxis durch bauliche Gestaltung eine weitgehend konfliktfreie Bewältigung der verkehrlichen und außerverkehrlichen Ansprüche erreicht werden kann (siehe Abb. 3.9).

Ein deutlicher Bruch in der Streckencharakteristik ist regelmäßig bei Ortsdurchfahrten anzutreffen. Hier kommt es zu ausgeprägten Konflikten zwischen der (herabzustufenden) Verbindungsfunktion sowie der Erschließungs- und Aufenthaltsfunktion. Soweit eine Verlagerung des Verkehrs nicht möglich ist, gilt es, durch Querungshilfen, seitliche Aufenthaltsflächen und geschwindigkeitsdämpfenden Maßnahmen die städtebauliche Integration der Straße zu verbessern und deren Trennwirkung zu minimieren.

Bei der Netzplanung und Gestaltung von Fuß- und Radwegen der Kategoriegruppe F ist eine Integration in städtische Grünzüge oder eine Führung entlang von Flussläufen oder durch Stadtteilparks anzustreben. Die Wege der Kategoriegruppe G sollten demgegenüber möglichst direkt und umwegarm geführt werden.



Kategoriengruppe / Verbindungsfunktionsstufe		außerhalb bebauter Gebiete	innerhalb bebauter Gebiete			
		anbaufrei		angebaut		
		Verbindung			Erschließung	Aufenthalt
		A	B	C	D	E
kontinental	0	A 0	B 0			
großräumig	I	A I	B I	C I		
überregional	II	A II	B II	C II	D II	
regional	III	A III	B III	C III	D III	E III
nahräumig	IV	A IV	B IV	C IV	D IV	E IV
kleinräumig	V	A V	-	-	D V	E V
anbindend	VI	A VI	-	-	-	E VI

in der Regel nicht vorkommend -
problematisch
besonders problematisch
nicht vertretbar

Abb. 3.9 Verknüpfungsmatrix zur Ableitung von Streckenkategorien. (FGSV, 2003)

3.5 Funktionale Netzstrukturen und Netzelemente

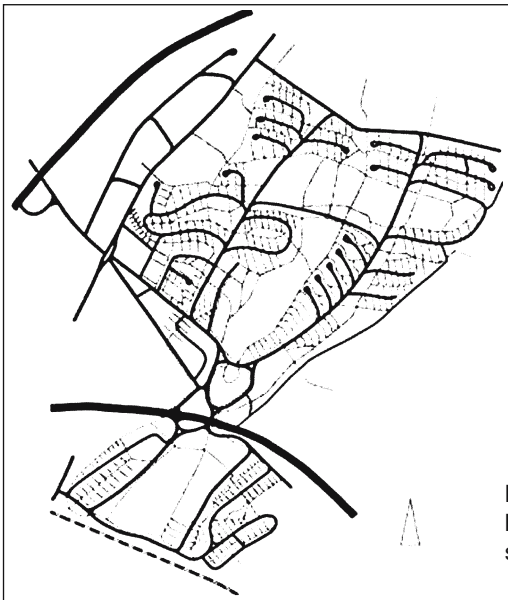
3.5.1 Grundsatzüberlegungen

Eine systematische Netzkonzeption auf Stadtteilebene erfordert für die verschiedenen Verkehrsarten zunächst einige grundsätzliche Überlegungen vor allem in Bezug auf die Anbindung an das höher rangige Netz der Verbindungsstraßen, die Lage der zentralen Einrichtungen, die Führung des ÖPNV und hinsichtlich der Durchlässigkeit für die einzelnen Verkehrsarten. Deshalb hat sich die Planung und Gestaltung von Straßen- und Wegenetzen in Städten und Dörfern mit folgenden Fragen auseinander zu setzen, um letztlich den Netztyp und dessen situationsgerechte Modifizierung festzulegen:

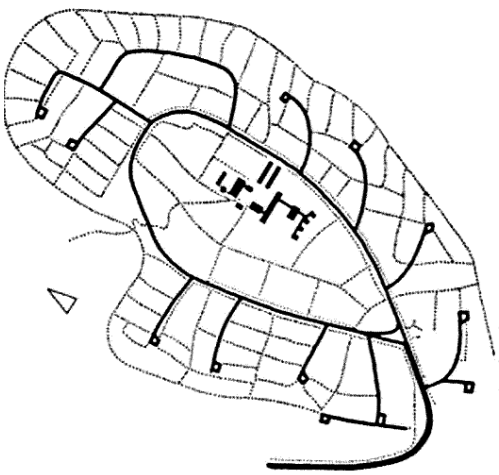
- Welche Ausdehnung (Maschenweite) dürfen funktionale Teilnetze aufweisen?
- Sollen für die verschiedenen Verkehrsarten getrennte oder deckungsgleiche Netze vorgesehen werden?
- Sind die Netze schwach oder stark hierarchisch zu gliedern?
- Bietet sich eine zentrale Erschließung durch

eine im Inneren des Gebietes geführte Hauptachse an oder ist eine periphere Haupterschließungsachse zweckmäßig?
- Sollen die Netzelemente vermascht oder nicht vermascht werden?
- *Ausdehnung funktionaler Teilnetze:* Die Maschenweite der Hauptverkehrsstraßen bestimmt die Ausdehnung der Teilnetze. Als erstes Kriterium sind die Bebauungsdichte und das daraus resultierende Verkehrsaufkommen heranzuziehen, das wegen der Gewährleistung einer guten Wohnqualität begrenzt bleiben muss. Weiterhin können die optimalen Einzugsbereiche für den ÖPNV herangezogen werden. Bus- und Straßenbahnlinien sollen grundsätzlich auf Hauptverkehrsstraßen liegen und beispielsweise möglichst Tempo-30-Gebiete tangential erschließen. So ergibt sich bei einem Einzugsbereich von 300-500 m für Bus- und Straßenbahnhaltestellen ein Durchmesser von maximal 2 · 300-500 m = 600-1.000 m für Tempo-30-Gebiete.
- *Getrennte oder deckungsgleiche Netze:* In Altbaugebieten sind deckungsgleiche Netze für alle Verkehrsarten die Regel. Häufig gibt es jedoch auch hier einzelne, nur Fußgängern und Radfahrern vorbehaltene Netzelemente (Gässchen, Treppen, Passagen usw.). Des Weiteren können die Netzelemente unterschiedliche Bedeutungen für die verschiedenen Verkehrsarten aufweisen. Hauptverbindungsachsen für Fußgänger und Radfahrer können für den Kfz-Verkehr hinsichtlich der Erschließungsfunktion angrenzender Grundstücke nur begrenzte Bedeutung aufweisen und umgekehrt. Typische Merkmale deckungsgleicher Netze sind:
  - Erreichbarkeit ist überall gleich gut,
  - die Nutzungsvielfalt führt zu belebten, urbanen Straßenräumen,
  - der Erschließungsaufwand sinkt infolge der Mehrfachnutzungen und
  - höhere Belästigungen und Gefährdungen von Fußgängern und Radfahrern durch den motorisierten Verkehr.

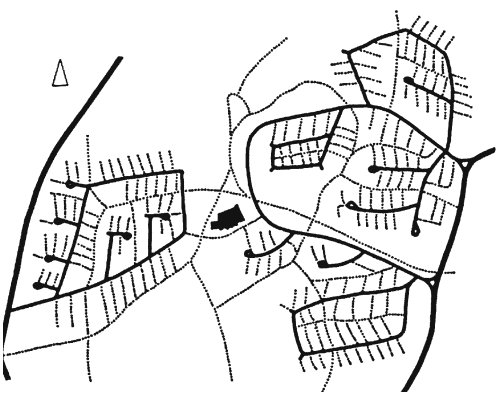
  Getrennte Netze für die verschiedenen Verkehrsarten lassen sich meistens nur in Neubaugebieten realisieren. Abbildung 3.10 zeigt einige Beispiele neuer Stadtteile mit konsequent getrennten Netzen für Fußgänger und Radfahrer sowie für den motorisierten Verkehr. Kennzeichen solcher getrennten Netze sind:
  - Konflikte zwischen langsamem und schnellem Verkehr sind seltener.
  - Geh- und Radwege sind oft wenig belebt.
  - Die „Straßen“ für den Kfz-Verkehr sind meistens schlechter gestaltet als die für den langsamen Verkehr vorgesehenen „Wege“: Es ist zu befürchten, dass es zu einer völligen Auflösung der Straßenräume kommt.
  - Die Erschließung verursacht im Regelfall höhere Kosten (siehe Abb. 3.10).
- *Hierarchische Gliederung:* Eine strikte Abstufung der Netzelemente entsprechend der Verbindungsfunktion und der Verkehrsbelastung führt zu einer Bündelung des Kfz-Verkehrs auf wenigen Hauptverkehrsstraßen und -sammelstraßen (Kategoriegruppen B und C, Kategorien III und IV). Diese Netzelemente weisen dann oftmals eine erhebliche Emissionsbelastung und städtebauliche Trennwirkung auf, und es besteht die Gefahr überhöhter Geschwindigkeiten. Positiv wirkt die Entlastung aller anderen Straßen.
- *Zentrale oder periphere Erschließung:* Bei Gebieten mit zentraler Erschließung liegen die Haupterschließungsanlagen im Gebietsinneren. Ferner sind die folgenden typischen Merkmale kennzeichnend:
  - gute Orientierung,
  - gute Erreichbarkeit der zentralen Einrichtungen,



Bielefeld Sennestadt: hierarchisches und stark verästeltes Netz



Trier Mariahof: zentrale Erschließung, vermaschtes Fuß- und Radwegenetz



Reutlingen, Orschel-Hagen: tangentiale Erschließung, Gliederung in Teilnetze

Abb. 3.10 Beispiele Funktionaler Netzstrukturen.
(Reinborn, 1996)

  - günstige Führung für den ÖPNV,
  - geringe Belastungen der Randbereiche,
  - im Zentrum (erhebliche) Beeinträchtigungen durch Verkehr.

  Gebiete mit peripherer Erschließung weisen eine Haupterschließung vom äußeren Rand auf und darüber hinaus folgende Charakteristika:
  - Kfz-Verkehr wird aus dem Zentrum ferngehalten,
  - das Zentrum ist für Fußgänger und Radfahrer gut erreichbar,
  - Wege für Kfz-Verkehr sind länger,
  - die Führung für Linienbusse ist häufig ungünstiger,
  - die Erschließung ist in der Regel kostenintensiv.
- *Vermaschte oder nicht vermaschte Netze:* Durchlässige Netze, d.h. Netze mit geringer „Maschenweite“ tragen vor allem den Anforderungen des umwegempfindlichen Fußgänger- und Radverkehrs Rechnung, während nicht vermaschte Netze dem gebietsfremden Verkehr einen „hohen Widerstand“ bieten und daher geeignet sind, Verkehrsbelastungen in schutzbedürftigen Wohngebieten zu minimieren. Wesentliche Merkmale solcher Netze sind:
  - Gute Orientierbarkeit wegen mehrfacher Anschlüsse an das höherrangige Verkehrswegenetz und wegen der vorwiegend beidseitig angeschlossenen Netzelemente,
  - uneingeschränkte Durchlässigkeit und direkte Erreichbarkeit aller Grundstücke,
  - weitgehende Gleichrangigkeit der Netzelemente mit zahlreichen Knotenpunkten sowie
  - die Eignung mehrerer Netzelemente zur Führung des öffentlichen Personennahverkehrs.

  Nicht vermaschte Netze sind gekennzeichnet durch:
  - Erschwerte Orientierbarkeit wegen der begrenzten Anzahl von Anschlüssen an das höher rangige Verkehrswegenetz sowie der häufig nur einseitig angeschlossenen Netzelemente,
  - die eingeschränkte Durchlässigkeit für eine oder mehrere Verkehrsarten,
  - Erschließungs- und Erreichbarkeitsprobleme bei Bauarbeiten,
  - häufige Umwege insbesondere für Versorgungsfahrzeuge sowie
  - die eingeschränkte Eignung bestimmter Netzelemente zur Führung des öffentlichen Personennahverkehrs.

3.5.2 Netzelemente

Ausschlaggebend für den Grad der Durchlässigkeit der Netze ist die Grundform der eingesetzten Netzelemente, die, wie in Abbildung 3.11 dargestellt, als Einhangstraßen, Stichstraßen, Schleifenstraßen oder als Mischformen ausgebildet sein können.

- *Einhangstraßen* sind Netzelemente, die bei vermaschten Netzen an beiden Enden an andere Straßen angeschlossen sind, also „eingehängte“ Straßen. Bei Einhangstraßen ergeben sich regelmäßig Vorteile für den ÖPNV sowie für Fußgänger und Radfahrer, aber kaum Möglichkeiten zur Begrenzung des Kfz-Verkehrs.

  Vorteile:
  - keine Umwege, hohe Durchlässigkeit,
  - geringere Störanfälligkeit bei notwendigen Sperrungen einzelner Abschnitte (viele Ausweichmöglichkeiten),
  - keine „toten Enden“ bei Versorgungsleitungen (Wasser, Strom),
  - kein Wenden erforderlich.

  Nachteile:
  - Schleichverkehr kann kaum unterbunden werden,
  - viele Knoten, und zwar meist Kreuzungen statt Einmündungen,

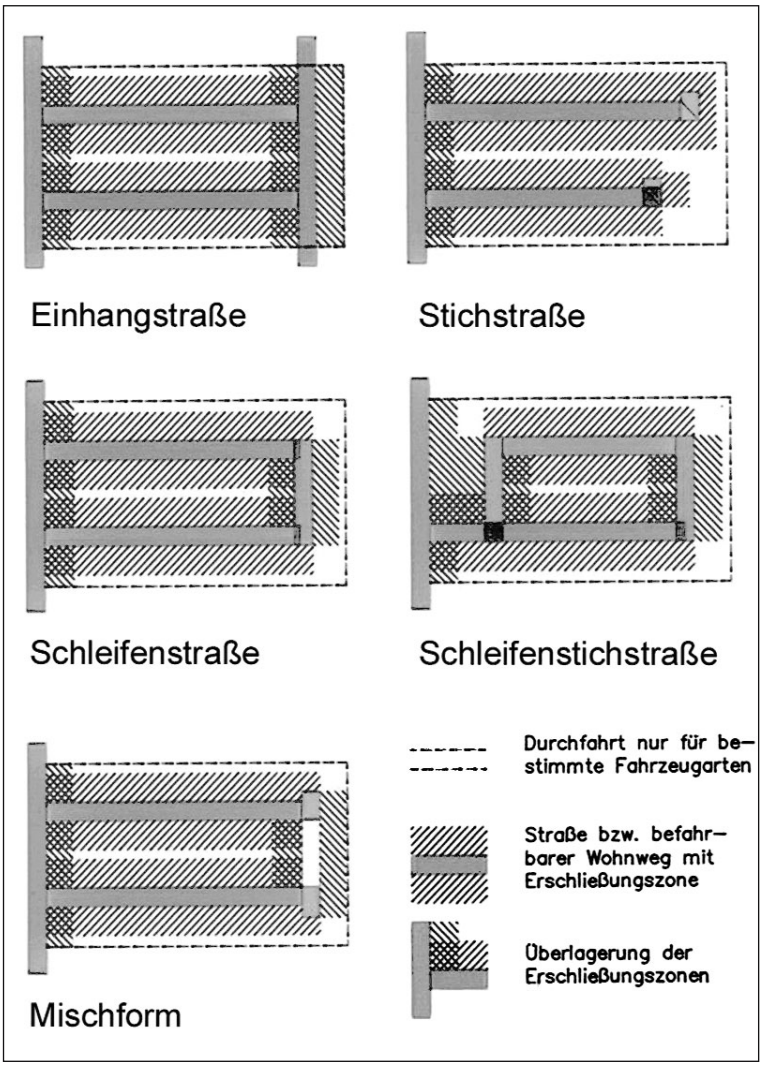


Abb. 3.11 Netzelemente und erschlossene Flächen. (Eigene Darstellung)

- höhere Erschließungskosten bei kurzen Einhangstraßen.

– *Stichstraßen* sind nur an einem Ende an eine andere Straße angeschlossen. Für die Länge von Stichstraßen gibt es keine festen Begrenzungen. Oft werden in der Literatur Grenzwerte von 300 m angegeben.
Vorteile:
- Ruhige Wohnlagen,
- Durchgangsverkehr ist ausgeschlossen,
- hohe Aufenthaltsqualität und Sicherheit für Kinder und
- relativ niedrige Erschließungskosten.

Nachteile:
- Die notwendigen Wendemanöver erfordern großflächige Anlagen, die jedoch als Plätze gestaltet auch für den Aufenthalt und für andere Zwecke genutzt werden können,
- Umwegfahrten sind zumindest für Kfz nicht vermeidbar, während für Fußgänger und Radfahrer Verbindungswege angeboten werden können,

  - bei Störungen steht nur ein Anschluss zur Verfügung,
  - in Versorgungsnetzen (Wasser und Strom) können „tote Enden“ entstehen.
- *Schleifenstraßen* sind im Grundriss u-förmig und werden daher grundsätzlich zweimal an dieselbe Straße angeschlossen.
  Vorteile:
  - Ruhige Wohnlagen,
  - Durchgangsverkehr ist weitgehend ausgeschlossen,
  - hohe Aufenthaltsqualität und Sicherheit für Kinder,
  - geringere Umwegfahrten als bei Stichstraßen, das Wenden und die Wendeanlagen entfallen, für Fußgänger und Radfahrer können zusätzliche Verbindungswege angeboten werden,
  - keine „toten Enden“ in Versorgungsnetzen (Wasser und Strom),
  - bei Störungen stehen zwei Anschlüsse zur Verfügung.

  Nachteile:
  - Schleifenstraßen verursachen höhere Erschließungskosten,
  - Durchgangsverkehre nicht auszuschließen.
- *Schleifenstichstraßen* sind im Grundriss schleifenförmig angeordnet und haben nur einen Anschluss an eine andere Straße (Kombination aus Stichstraße und Schleifenstraße). Die Vor- und Nachteile ergeben sich analog zu denen der von Stich- bzw. Schleifenstraßen.
- *Mischformen* entstehen z.B., wenn Stichstraßen mit „Überläufen“ für Müllautos und Versorgungsfahrzeuge verbunden werden. Die Überläufe werden durch Pfähle oder Poller abgesperrt, die von Berechtigten entfernt werden können.

3.5.3 Ausgewählte Netzstrukturen

In geometrischer Hinsicht lassen sich für die Stadtverkehrsplanung das Rasternetz, das axiale Netz, das Verästelungsnetz, das Innenringnetz und das Außenringnetz unterscheiden. Diese idealtypischen Formen werden in der Praxis entsprechend der lokalen Erfordernisse oft modifiziert und kombiniert. Hervorzuheben ist die orthogonale Rasterstruktur, die nachweislich erstmals beim Wiederaufbau von Milet 479 v. Chr. nach der Eroberung und Zerstörung durch die Perser 494 v. Chr. auf Grundlage der Pläne des Architekten Hippodamos systematisch eingesetzt wurde und daher auch als „Hippodamisches Raster“ bezeichnet wird. Auch das Rasternetz hat nicht nur den antiken griechischen und später auch römischen Städtebau stark beeinflusst, sondern ebenso die absolutistischen Stadtgründungen in Europa, die Stadtgründungen in der Kolonialzeit vor allem in Nord- und Südamerika sowie die gründerzeitlichen Stadterweiterungen geprägt. Bei aktuellen Stadtentwicklungsgebieten erlebt das Raster wegen der Flexibilität und rationellen Struktur wieder eine Renaissance.

Aus der Zuordnung von Einhang-, Stich- und Schleifenstraßen zu unterschiedlich gelegenen Sammelstraßen können sich die in Abbildung 3.12 dargestellten Netzformen ergeben:

- *Rasternetze* bestehen aus einer meistens regelmäßigen Struktur sich orthogonal schneidender Straßen und bilden eine regelmäßige Sonderform vermaschter Netze aus häufig gleichrangigen Einhangstraßen. Eine funktionale Differenzierung ist möglich, so dass einzelne Straßen eine größere funktionale Bedeutung haben, die mit geschwindigkeitsdämpfenden Maßnahmen verdeutlicht wird.
- *Axiale Netze* bestehen aus einer zentralen oder peripheren Sammelstraße, die entwe-

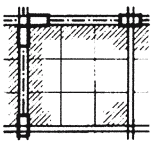
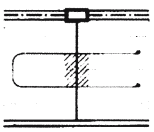
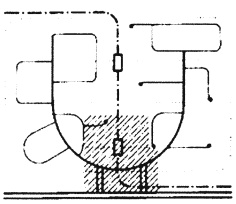
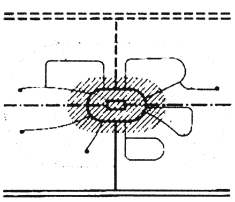
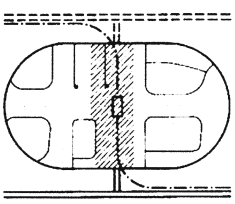
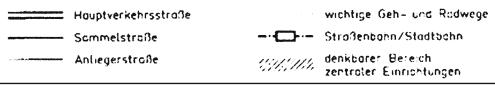
	Vorteile	Nachteile
 a) Rosternetz	- kurze Wege für alle Verkehrsarten - Flexibilität bei Störungen - gleich gute Erreichbarkeit der Grundstücke - viele Netzelemente für ÖV geeignet - gleichmäßige Verteilung der Verkehrsbelastungen - abschnittsweiser Ausbau einfach - einfache Orientierung - Eck- und Platzbildungen möglich	- Verteilung des Kraftfahrzeugverkehrs schwer zu beeinflussen - gebietsfremder Kraftfahrzeugverkehr nicht auszuschließen - bevorrechtigte Führung des ÖV erfordert Hierarchisierung - zahlreiche Überschneidungen zwischen Fahrbahnen und Wegen - bei geringer Maschenweite aufwendige Doppelerschließung
 b) achsiales Netz	- direkte Straßenführung - günstige Verbindung mit der Umgebung über das Wegenetz - günstige Erschließung durch Linienbusse möglich - einfache Orientierung	- schwierige Zuordnung zentraler Einrichtungen zur Bebauung - Trennwirkung der zentralen Sammelstraße, städtebaulich und für nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer - gebietsfremder Kraftfahrzeugverkehr bei beidseitigem Anschluß nicht auszuschließen
 c) Verastelungsnetz	- straßenbegleitende Geh- und Radwege leicht zu vermaschtem Netz ergänzbar - In Teilbereichen günstige Verbindung mit der Umgebung über das Wegenetz - gebietsfremder Kraftfahrzeugverkehr auf der Sammelstraße i.d.R. nicht möglich	- lange Wege im Binnenverkehr mit Kraftfahrzeugen - Verkehrskonzentrationen im Verknüpfungsbereich Sammelstraße/höherrangige Straße nicht auszuschließen - Erschließung durch Linienbusse ungünstig
 d) Innenringnetz	- Erschließung zentraler Einrichtungen über Sammelstraßen - fahrverkehrsfreie Zone im zentralen Bereich möglich - günstige Verbindung mit der Umgebung über das Wegenetz - Erschließung durch Linienbusse günstig (zweiseitiges Einzugsgebiet)	- Trennwirkung der Sammelstraße zwischen Wohnbereichen und Zentrum - starke Verkehrskonzentrationen im Bereich des Zentrums zu erwarten - geringe Knotenpunktabstände an Sammelstraßen - gebietsfremder Kraftfahrzeugverkehr bei mehrfachem Anschluß nicht auszuschließen
 e) Außenringnetz	- straßenbegleitende Geh- und Radwege leicht zu vermaschtem Netz ergänzbar - Erschließung des zentralen Bereiches durch zusammenhängendes Wegenetz - Randlage der stark belasteten Sammelstraße	- Erschließung der zentralen Einrichtungen im Kraftfahrzeugverkehr nur über Anliegerstraßen - Trennwirkung der Sammelstraße zur Umgebung - lange Wege im Binnenverkehr mit Kraftfahrzeugen - Erschließung durch Linienbusse ungünstig (einseitiges Einzugsgebiet) - gebietsfremder Kraftfahrzeugverkehr nicht auszuschließen - unwirtschaftliche periphere Erschließung
		

Abb. 3.12 Vor- und Nachteile typischer Netzformen großer Wohngebiete. (FGSV, 1995b)

der ein- oder beidseitig mit einer höherrangigen Straße verbundenen wird und die zugleich die zentralen Einrichtungen des Zentrums erschließt. Das weitere Netz wird durch ein- oder beidseitige stich- oder schleifenstraßenförmige Netzelemente (niederer Ordnung) gebildet.

– *Verästelungsnetze* bestehen aus sich weiter verzweigenden Sammelstraßen, die einseitig mit einer höherrangigen Straße verbundenen sind. Weitere stich- oder schleifenstraßenförmige Netzelemente (niederer Ordnung) zweigen ein- oder beidseitig ab. Eine Sonderform mit zwei jeweils peripheren Sammelstraßen und einseitig innen liegenden Stich- und Schleifenstraßen wird auch als *zangenförmiges Netz* bezeichnet.
– *Innenringnetze* bestehen im Wesentlichen aus einer relativ kurzen ringförmigen Sammelstraße, die mit höherrangigen Straßen verbunden ist und einen zentralen Bereich mit den wichtigsten Versorgungs- und Infrastruktureinrichtungen unmittelbar umschließt. Nach außen zweigen stich- und schleifenstraßenartige Netzelemente (niederer Ordnung) zur Erschließung der Bauflächen ab.
– *Außenringnetze* bestehen aus einer längeren ringförmigen Sammelstraße, die mit höherrangigen Straßen verbunden ist. Sie umschließt in peripherer Lage alle Baugebiete und den zentralen Bereich mit den wichtigsten Versorgungs- und Infrastruktureinrichtungen. Nach innen abzweigende stich- oder schleifenstraßenartige Netzelemente (niederer Ordnung) erschließen die einzelnen Bauflächen und die zentralen Einrichtungen.

Beim Einsatz dieser Netzformen sind deren spezifische Vor- und Nachteile gemäß Abbildung 3.12 zu beachten und situationsbezogene Modifikationen vorzunehmen.

3.6 Ausgewählte Beispiele der Straßen- und Wegenetzgestaltung

3.6.1 Konzeption von Hauptverkehrsstraßennetzen

Das Hauptverkehrswegenetz soll überörtlichen Durchgangsverkehr bündeln, die einzelnen Stadt- und Ortsteile miteinander verbinden und den nicht stadtteilbezogenen Verkehr aufnehmen. Ein solches Netz ist daher für wirksame Verkehrsberuhigungsmaßnahmen in den Quartieren unverzichtbar. Ferner bildet es im Allgemeinen das Grundgerüst für das Netz der Hauptlinien des ÖPNV (Bus, Straßenbahn, U-Bahn). Entwurfsgrundlagen und Gliederungsmerkmale seien beispielhaft am Gesamtnetz der Stadt Frankfurt a. M. „Straße 2000“ veranschaulicht (Abb. 3.13).

Auf der Grundlage des prognostizierten Verkehrsvolumens von 1,4 bis 1,7 Mio. Fahrten pro Tag werden im Gesamtnetz vier Straßenkategorien unterschieden, die den Verbindungsfunktionsstufen I bis III zugeordnet werden können. Dabei übernehmen die Autobahnen und die autobahnähnlichen Hauptverkehrsstraßen (Autobahnzubringer) vorwiegend regional bedeutsame Verbindungsfunktionen. Sie bilden den äußeren Ring und ihre Verlängerungen dienen als Hauptradialen für den Ziel- und Quellverkehr des Frankfurter Umlands.

Die Hauptverkehrsstraßen bilden den inneren Ring und erfassen vorwiegend den stadtteilfremden und den stadtteilquerenden Verkehr. Die Stadtteilverbindungsstraßen gewährleisten die äußere Erschließung der einzelnen Stadtteile und sollen überwiegend den stadtteilbezogenen Verkehr aufnehmen. Alle Straßen sollten nach den Zielsetzungen des Generalverkehrsplanes nach Möglichkeit am Rande der Stadtteile liegen, um verkehrsberuhigende

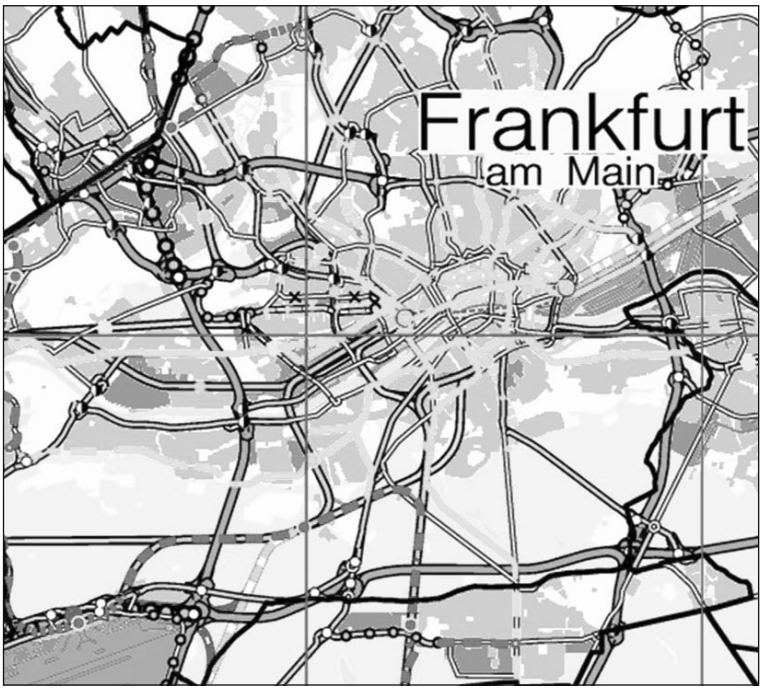


Abb. 3.13 Netz der Hauptverkehrsstraßen in Frankfurt. (Umlandverband Frankfurt, 2000)

Maßnahmen zu ermöglichen. Das Netz der Hauptverkehrsstraßen ist nahezu vollständig realisiert.

Welche typischen Probleme bei der Anbindung von dörflich geprägten Stadtteilen an das Stadtzentrum auftreten können, vermittelt ein Beispiel aus der Umgebung von Bonn (Hersel, Üdorf und Widdig, Stadteile von Bornheim) (siehe Abb. 3.14). Die Ortschaften liegen zwischen dem Rhein und der neben einer Stadtbahnlinie (Köln-Bonn, frühere „Rheinuferbahn“) verlaufenden Bundesstraße 9, die hier wegen der in geringer Entfernung parallel trassierten Autobahn Köln-Bonn nur die Bedeutung einer „zwischengemeindlichen Verbindungsstraße“ oder einer „flächenerschließenden Verbindung“ hat (Verbindungsfunktions-Stufe III bzw. IV nach RIN). Trotzdem war seit langem geplant, die Zahl der plangleichen Kreuzungen und Einmündungen der B 9 von über 30 auf vier oder fünf zu reduzieren. Dementsprechend hatte die Gemeinde in verschiedenen Bebauungsplänen vorgesehen, die alte Ortsdurchfahrt der B 9 (die jetzige B 9 ist schon eine Umgehungsstraße) zu verbreitern, um den Verkehr, der nach der beabsichtigten Schließung der meisten Anschlüsse nicht mehr direkt auf die Umgehung gelangen kann, aufzunehmen und zum nächsten Anschluss zu führen (obere Darstellung). Das hätte den Abbruch eines Großteils der alten dörflichen Bebauung zur Folge gehabt.

Im Rahmen der Bürgerbeteiligung wurde daher ein Alternativkonzept entwickelt, das vorsah, die Anzahl der Anschlüsse von Ortsstraßen an die B 9 nicht auf nur fünf zu reduzieren, sondern immerhin zehn oder zwölf zuzulassen (untere Darstellung). Dieser vertretbare Kompromiss gestattet es nunmehr, anstelle einer durch die drei Orte geführten innerörtlichen Hauptsammelstraße mit einem breiten Querschnitt ring- oder u-förmige Sammelstraßen zu konzipieren, die wegen der begrenzten Größe ihres Einzugsgebietes spar-

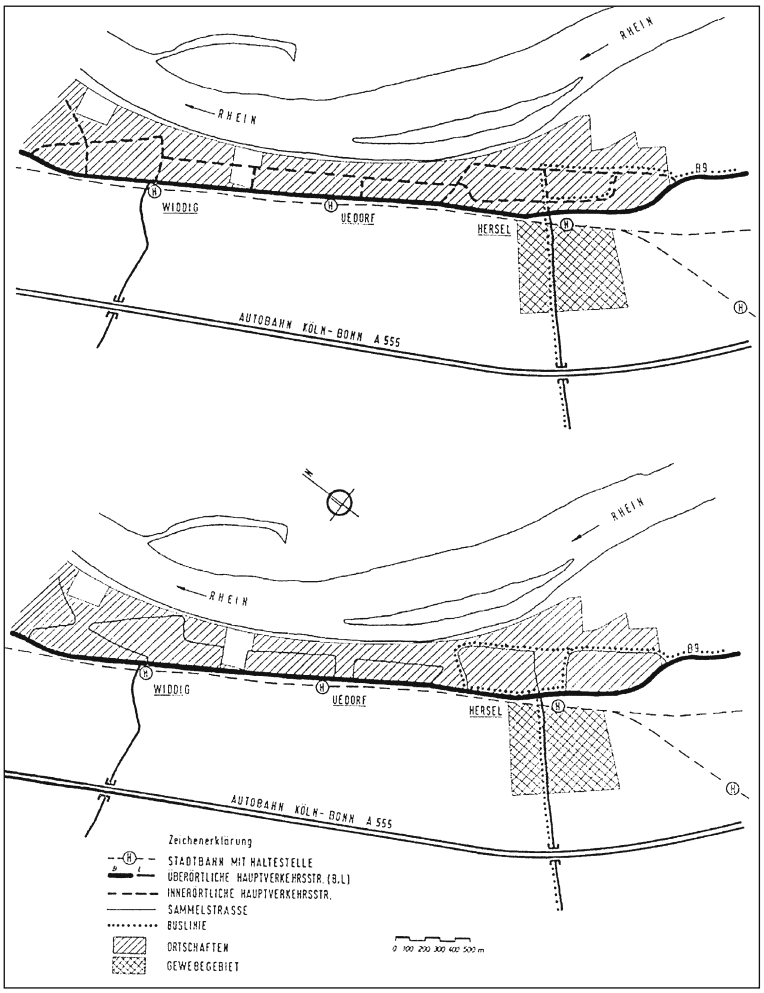


Abb. 3.14 Konzeption einer Stadtteilverbindungsstraße zur peripheren Erschließung von Stadtteilen in der Stadt Bornheim. (Eigene Darstellung)

sam bemessen werden können. So entfällt der Zwang, die alte Ortsdurchfahrt zu verbreitern und einschneidende Eingriffe in die Bausubstanz vorzunehmen. Gleichzeitig wird auch erreicht, dass die Wohnqualität in den drei Orten gegenüber der ursprünglichen Planung entscheidend verbessert werden kann.

3.6.2 Konzeption von Netzen für Stadt- und Stadtteilzentren

In zahlreichen Stadtteilen haben gerade die Hauptgeschäftsstraßen neben der Erschließungs- und Aufenthaltsfunktion wichtige Verbindungsfunktionen zu übernehmen. Die städtebauliche Integration solcher Netzelemente stellt wegen der oftmals erheblichen Konflikte zwischen diesen Funktionen eine schwierige Aufgabe auch für die Netzgestaltung dar. Typische Probleme und Lösungsmöglichkeiten lassen sich am Beispiel der

Hauptverkehrsstraße im Kölner Stadtteil Kalk veranschaulichen.

Das Versorgungs- und Dienstleistungszentrum Kalk verfügt mit seinen etwa 37.000 Einwohnern und rd. 10.000 Arbeitsplätzen über einen Einzugsbereich mit 110.000 Einwohnern und weist daher die vergleichbare Bedeutung eines Mittelzentrums auf. Ein Großteil der Versorgungseinrichtungen befindet sich direkt an der Kalker Hauptstraße. Darüber hinaus dient die Straße zu einem erheblichen Teil dem gebietsfremden Durchgangsverkehr als radiale Verkehrsverbindung (B 55, Verbindungsfunktionsstufe II) für das Umland zur Kölner Innenstadt. Aufgrund des Verkehrsaufkommens war der ohnehin durch die Gemengelagenproblematik belastete Stadtteil sowohl in seiner Funktion als Bezirkszentrum als auch als Wohngebiet stark beeinträchtigt.

Der Beginn umfassender städtebaulicher Erneuerungsmaßnahmen wurde durch eine Umgestaltung des Verkehrsnetzes eingeleitet. Eine wesentliche Entlastung vom überörtlichen Verkehr konnte zunächst durch eine verbesserte Anbindung an die im Norden und Süden parallel verlaufenden Autobahnen erzielt werden (Autobahnzubringer zur A 46 und A 59) (siehe Abb. 3.15). Gleichzeitig wurde die Straßenbahn durch eine U-Bahn mit gleicher Linienführung durch die Kalker Hauptstraße ersetzt, so dass sich die Möglichkeit ergab, die Anzahl der Fahrstreifen von vier auf zwei zugunsten verbreiterter Seitenräume (Parkstände, Alleebäume, Bürgersteige) zu reduzieren. Diese baulichen Maßnahmen der Netzumgestaltung haben entscheidend zur Verbesserung der ÖPNV-Bedienung und zur Verlagerung des Kfz-Verkehrs auf leistungsfähige Netzelemente begünstigt. Zudem war nunmehr auch eine hierarchische Differenzierung des übrigen Netzes (Kategoriegruppen C bis E) in den durch Verkehrsbänder und Gewerbegebiete eingegrenzten Wohngebieten des Stadtteils möglich. Die Hauptstraße ist als Stadtteilverbindungsstraße der Straßenkategorie C III zuzuordnen.

In Altbaugebieten sind aus baustrukturellen Gründen deckungsgleiche Netze für alle Verkehrsarten die Regel. Die einzelnen Elemente können jedoch sehr unterschiedliche Bedeutung für die verschiedenen Verkehrsarten haben, wie ein Beispiel verdeutlicht: Für die Verbindung des Vorortes Poppelsdorf mit dem Stadtkern von Bonn stehen vor allem zwei Straßenzüge zur Verfügung: Die Poppelsdorfer Allee und die Meckenheimer Allee (siehe Abb. 3.16). Während die Erstere im Laufe der letzten Jahre immer mehr zu einer Fußgänger- und Fahrradstraße umgestaltet wurde, dient die Meckenheimer Allee vor allem dem Kfz-Verkehr; auch einige Buslinien befahren diese stark belastete, zweispurige Straße. Der Querschnitt der einschließlich der Vorgärten etwa 65 m breiten Poppelsdorfer Allee gliedert sich wie folgt: 2 Anliegerfahrbahnen (Breite etwa 4 m), 2 seitliche Gehwege (Breite etwa 1,2 m) eine breite Mittelpromenade mit 4 Reihen Alleebäumen, je zwei breiten Geh- und Radwegen und einer mittig gelegenen Rasenfläche (Breite etwa 12 m). Die Meckenheimer Allee hat eine etwa neun Meter breite Fahrbahn und zwei knapp drei Meter breite Gehwege, in denen auch die Baumscheiben angeordnet sind. Die sehr unterschiedliche Aufteilung der Straßenräume spiegelt die Funktionen der beiden Straßen exakt wider.

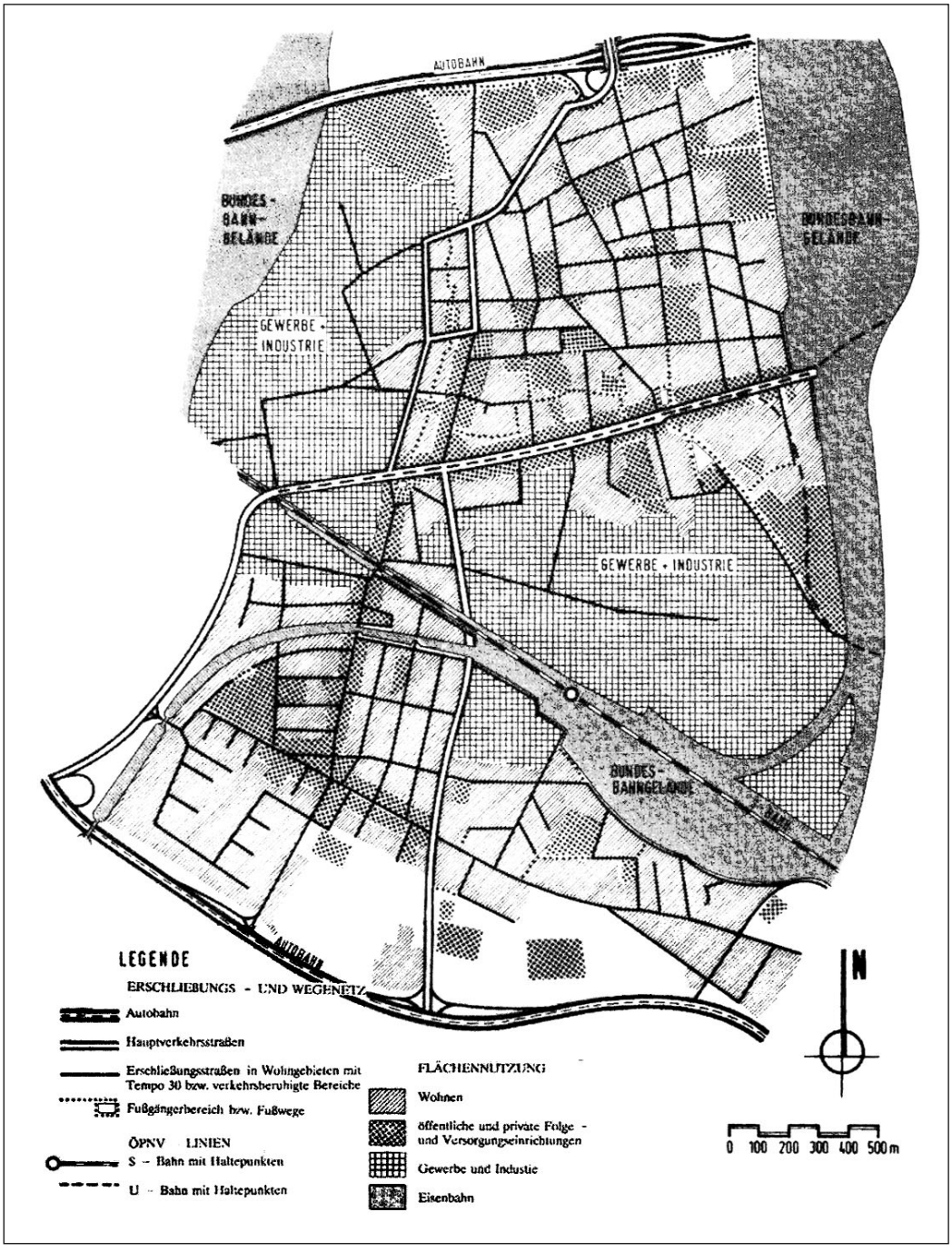


Abb. 3.15 Netzumgestaltung im Kölner Stadtteil Kalk zur Entlastung der Hauptgeschäftsstraße. (Eigene Darstellung)

Abb. 3.16 Netzverbindung Bonn Poppelsdorf-Innenstadt. (Eigene Darstellung)

3.6.3 Netzgestaltung in Tempo-30-Zonen

Grundlagen

Seit den ersten Modellvorhaben zu Tempo-30 im Jahr 1985 und der Aufnahme in die Straßenverkehrsordnung 1990 (STVO) hat eine erhebliche Anzahl von Städten im Innerortsbereich flächenhaft Tempo-30-Gebiete eingeführt. Seit 2000 können die Straßenverkehrsbehörden nunmehr auch Tempo-30-Zonen anordnen. Die deutliche Senkung des Geschwindigkeitsniveaus verbessert nachweislich die Verkehrssicherheit von Fußgängern, Radfahrern und besonders auch für Kinder in Wohngebieten. Insbesondere ist ein signifikanter Rückgang bei der Unfallschwere festzustellen. Ferner wird störender, gebietsfremder Verkehr aus den Quartieren herausgehalten, so dass sich gleichzeitig die Wohn- und Wohnumfeldsituation durch erheblich geringere Lärm- und Luftschadstoffbelastungen verbessert (BMRBS, 1989). Die langjährigen praktischen Tempo-30-Versuche in Modellstädten sowie die zwischenzeitlichen Erfahrungen haben gezeigt, dass diese Ziele allein durch eine entsprechende Beschilderung kaum zu erreichen sind. Vielmehr sind eine zielorientierte Netzgestaltung und ein Bündel flankierender planerischer, baulicher und verkehrslenkender Maßnahmen erforderlich.

Abgrenzung von Tempo-30-Zonen

Tempo 30 sollte vor allem in Gebieten mit einem besonderen Schutzbedürfnis wie Wohngebieten eingeführt werden. Solche Gebiete sollten eindeutig abgrenzbar sein sowie hinsichtlich der städtebaulichen Gestaltung und der Nutzung eine homogene Struktur aufweisen. Es kann sich beispielweise um Stadterweiterungsgebiete in der zweiten Hälfte des 19. Jh. handeln, die sich heute aufgrund der typischen Nutzungsmischung (Wohnen, Gewerbe, Versorgung) als „besonderes Wohngebiete“ von den angrenzenden Bereichen deutlich abheben. Die oftmals weitgehend erhaltenen historischen Grundrisse und die gründerzeitlichen Baustrukturen verleihen den Gebieten zudem einen einheitlichen Charakter, so dass sich eine eindeutige Abgrenzung vornehmen lässt und ein Gebietscharakter gegeben ist. Ein ebenso geschlossenes Bild weisen meistens auch die Siedlungen der zwanziger und dreißiger sowie der fünfziger und sechziger Jahre auf. In anderen Gebieten muss der Gebietscharakter von Tempo-30-Zonen durch entspre-

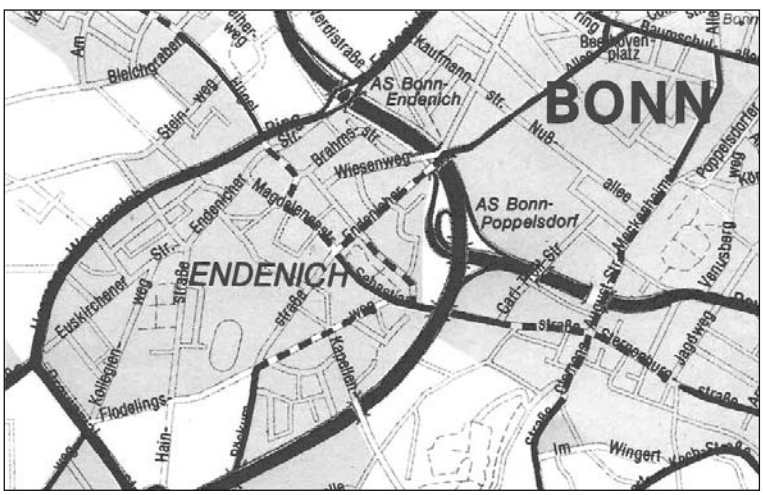


Abb. 3.17 Tempo-30-Gebiete im Netz der Hauptverkehrsstraßen. (Stadt Bonn, 1998)

chende bauliche Maßnahmen in den Straßenräumen hergestellt werden.

Netz der Hauptverkehrsstraßen und des ÖPNV

Eine erfolgreiche flächenhafte Senkung des Geschwindigkeitsniveaus setzt grundsätzlich voraus, dass gleichzeitig ein leistungsfähiges Netz tangential verlaufender Hauptverkehrsstraßen vor allem der Verbindungsfunktionsstufen III und IV (regionale und nahräumig) eingerichtet wird. Falls eine Verlegung derartiger Straßen an den Gebietsrand nicht möglich ist, muss die Zone unterteilt werden. Das Netz der Hauptverkehrsstraßen kann den gebietsfremden Verkehr sowie den ÖPNV aufnehmen und die Verbindung der innerstädtischen Raumeinheiten übernehmen. Daher sind die Maschenweiten auf 600 bis l.000 m zu begrenzen. Bei größeren Tempo-30-Zonen ist der ÖPNV durch dieses Gebiet zu führen, so dass die Maschenweite auf bis zu 2.000 m erhöht werden kann. Die Erreichbarkeit für den motorisierten Individualverkehr und eine flächendeckende Erschließung durch den ÖPNV bleiben dabei weiterhin gewährleistet. Falls die Verlegung von Buslinien auf den Gebietsrand im Einzelfall nicht realisierbar ist, können zur Reduzierung der notwendigen Fahrbahnbreiten im Gebiet Einbahnregelungen eingeführt werden.

Netzkonzeption innerhalb von Tempo-30-Zonen

Im Gegensatz zu Verkehrsberuhigungsmaßnahmen bleibt das Netz in Tempo-30-Gebieten grundsätzlich durchlässig. Die Straßen innerhalb der Gebiete sollen überwiegend Erschließungs- und Aufenthaltsfunktion wahrnehmen (Kategoriegruppen D V, E V oder E VI) und ein System gleichberechtigter Verkehrswege bilden. Bei der Netzkonzeption ist weiterhin von einer annähernd gleichen Belastung der Netzelemente auszugehen, und die Gestaltung der Straßenräume sollte nach einheitlichen Prinzipien erfolgen (maximale Breite 6,00 m). Die geltende STVO schreibt folgende Gestaltungsprinzipien bei der Einrichtung von neuen Tempo-30-Gebieten zwingend vor:

- Rechts-vor-Links-Regelungen an allen Einmündungen und Kreuzungen,
- ausschließlich Straßen ohne lichtsignalgeregelte Knotenpunkte,
- keine Fahrstreifenbegrenzungen und
- keine benutzungspflichtigen Radwege.

Aufgrund dieser Regelungen ist auch mit der wünschenswerten Verstetigung des Fahrtverlaufs zu rechnen. Zur Verdrängung des gebietsfremden Durchgangsverkehrs können Einengungen, punktuelle Absperrungen und Einbahnstraßenregelungen unterstützend eingesetzt werden.

Die Verknüpfungspunkte des internen Netzes mit dem der Hauptverkehrsstraßen sollten als Einfahrtstore mit Schwellen und verringerten Querschnitten gestaltet werden. Wegen der geringen Geschwindigkeitsdifferenz der Verkehrsteilnehmer ist das Netz für die Radfahrer dem Straßennetz zu überlagern. Die Höchstbelastungen der Straßen in Tempo-30-Zonen sollte zwar grundsätzlich 250 Kfz pro Spitzenstunde nicht überschreiten, Beispiele zeigen indessen, dass sich auch einzelne Netzelemente mit einer stärkeren Belastung (600 Kfz pro Spitzenstunde) in Tempo-30-Netze integrieren lassen.

3.6.4 Konzeption von Rad- und Fußwegenetzen

Der innerstädtische Radverkehr gewinnt als umweltorientierte (emissionsfreie und flächensparende) Fortbewegungsart für die Gestaltung der Straßen- und Wegenetze zunehmend an Bedeutung. Neben anderen ortsspezifischen Faktoren stellt vor allem das Angebot und die Qualität an radverkehrsspezifischer

Infrastruktur einen wichtigen Einfluss für das diesbezügliche Verkehrsaufkommen dar, so dass auch durch ein attraktives Radwegenetz der Modal-Split zugunsten dieser Verkehrsart verändert und ihre Akzeptanz bei den übrigen Verkehrsteilnehmern verbessert werden kann.

Als wesentliche Determinanten für eine Netzkonzeption sind die begrenzte Reichweite, die für den Radverkehr typischen Fahrtzwecke und Quelle-Ziel-Beziehungen zu betrachten. So sollte die Radnetzplanung bei Groß- und Mittelstädten im Gegensatz zu Kleinstädten aufgrund der durchschnittlichen Reichweite von etwa 5 km zweistufig durchgeführt werden. Zunächst sind für die zuvor nach funktionalen Gesichtspunkten abgegrenzten Raumeinheiten Teilnetze zu erstellen, aus deren Verbindung sich ein gesamtstädtisches Netz aus Haupt- und Nebenrouten ergibt.

Wesentliche Anforderungen an die innerstädtischen freizeitorientierten Wegeabschnitte des Radwegenetze (F III bis F IV) sind:
- Sicheres und bequemes Erreichen von Naherholungsgebieten,
- landschaftliche Attraktivität der Umgebung,
- Verbindung freizeitrelevanter Schwerpunkte und
- geringe Belästigung durch den übrigen Verkehr.

Demgegenüber sollten die Kategoriegruppen G III bis G VI folgende Aspekte berücksichtigen:
- Direkte und umwegarme Wegeführung,
- Gradlinigkeit der Trassierung ohne enge Kurven,
- möglichst wenig Haltepunkte,
- ganzjährig befahrbare glatte Oberflächen und
- geringe Belästigung durch den übrigen Verkehr.

Schon aus Wirtschaftlichkeitsgründen sind bei Netzkonzeptionen vorhandene Netzelemente der übrigen Verkehrsarten, soweit vertretbar, mit einzubeziehen. Dabei werfen die Kombination bzw. Überlagerung mit Hauptverkehrsstraßen und Fußgängerzonen besondere Probleme auf. Einerseits ist eine Umgehung dieser Bereiche wegen der Konzentration typischer Ziele des Radverkehrs (Geschäfte, Behörden etc.) nicht sinnvoll oder würde wegen der damit verbundenen Umwege auf eine geringe Akzeptanz stoßen. Andererseits wird eine Überlagerung der Netzelemente dem Sicherheitsbedürfnis von Radfahrern bzw. Fußgängern nicht immer gerecht.

Bei stark belasteten Hauptverkehrsstraßen ist deshalb im Hinblick auf das Unfallrisiko für Radfahrer nur dann eine Kombination vertretbar, wenn der Straßenquerschnitt eine selbständige Radwegeführung zulässt. Eine Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn bis zu einer Verkehrsbelastung von 10.000 Kfz/Tag ist als vertretbar anzusehen (Fischer-Schlemm, 2003). Die 85 Prozent Geschwindigkeit sollte indessen nicht mehr als 50 km/h betragen, bei Schulwegen nicht über 30 km/h. Bei Überschreitung der Grenzwerte sollte eine Verlegung auf parallel verlaufende Nebenstraßen erfolgen. Die Überlagerungsmöglichkeiten von Fuß- und Radverkehr in Fußgängerzonen hängen grundsätzlich vom jeweiligen Verkehrsaufkommen, der Größe der Zone und dem Straßenquerschnitt ab. Bei einer geringen Frequentierung und bei einem großzügigen Flächenangebot (bis zu 10 Fußgänger pro 100 m^2) ist Radverkehr insbesondere für den ortsbezogenen Ziel- und Quellverkehr möglich. Fußgängerzonen mit einer Breite von 10-12 m erlauben die Markierung von 2,00 m breiten Radwegen. Bei höheren Belastungen (z.B. mehr als 50 Radfahrer/h) oder beengten Verhältnissen ist eine zeitliche Beschränkung des Radverkehrs etwa während der Anlieferzeiten zur Konfliktminimierung denkbar. Hauptstrecken des Radverkehrs sollten jedoch möglichst um diese Bereiche herumgeführt werden. Als wesentliche Bestandteile eines attrak-

tiven Radwegenetzes sollten bedarfsgerechte, insbesondere ausreichend dimensionierte, benutzerfreundliche und diebstahlsichere Abstellanlagen an den Zielpunkten des Radverkehrs mit in die Netzkonzeption einbezogen werden, da bei der Linienfestlegung ihre genaue Lage bekannt sein muss.

Der Fußgängerverkehr ist für eine nachhaltige Stadtentwicklung unverzichtbar. Zur Erhöhung des Anteils der Fußgänger sind kurze und umwegfreie Wege zu den wichtigen Zielen, verkehrliche und soziale Sicherheit sowie attraktive und ausreichend dimensionierte Fußwege unverzichtbar. Daher sollten innerstädtische Fußwege der Kategorie F folgende Anforderungen erfüllen:

- Geringe Lärm- und Abgasbelästigung,
- ausreichende Netzdichte,
- komfortable und sichere Querung von Barrieren und Fahrbahnen,
- attraktives städtisches Umfeld,
- anspruchgerechte Ausstattung der Wege für die Aufenthaltsfunktion und
- keine Beeinträchtigung durch Radfahrer.

Wesentliche Qualitätsmerkmale von Netzelementen des Fußwegenetzes für den Berufs-, Wirtschafts-, Ausbildungs- und Einkaufsverkehrs sind:

- Kleinteiliges, durchlässiges, lückenloses und sicheres Wegenetz,
- komfortable Wegebreiten und Ausbau für alle Witterungen,
- behindertengerechter Ausbau,
- sichere Querungsmöglichkeiten von Fahrbahnen und
- ausreichende Beleuchtung.

Ein frühes Beispiel für eine Netzkonzeption mit getrennten Wegenetzen für langsamen Verkehr (Fußgänger und Radfahrer) und Kfz-Verkehr ist das Modell Radburn (Abb. 3.18) (Stein, 1951). Der Kfz-Verkehr, der über eine Schnellstraße die Siedlung erreicht, wird über eine ringförmige Randstraße und davon abzweigende Stichstraßen zu den einzelnen Häusern geführt. Für den Fußgänger- und Radfahrerverkehr steht ein Wegenetz zur Verfügung, das alle Grundstücke mit den zentralen Einrichtungen des Stadtteils direkt verbindet und auch den Anschluss an die umgebende Landschaft herstellt. Aus Sicherheitsgründen sind

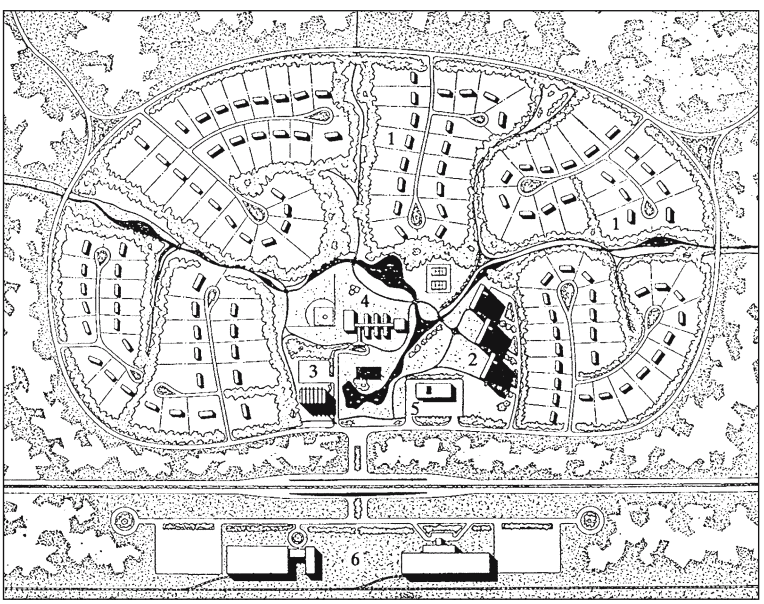


Abb. 3.18 Modell Radburn (1928). (Stein, 1951)

die Kreuzungen der Geh- und Radwege mit der Randstraße in zwei Ebenen ausgebaut. Die Siedlung Radburn wurde schon 1928 geplant.

Im Rahmen der Leitvorstellung der „gegliederten und aufgelockerten Stadt“, die bei der Entwicklung neuer Stadtteile von den sechziger bis in die achtziger Jahre starke Beachtung fand, entstanden ebenfalls vielfach getrennte Netze für motorisierte und nicht motorisierte Verkehrsarten. Die Abbildung 3.19 zeigt ein für diese Phase typisches Beispiel. Es handelt sich um das Entwicklungsgebiet Wulfen, Stadt Dorsten, in dem 1996 ca. 12.000 Einwohner in 4.600 Wohneinheiten lebten. Die Netze für den Fußgänger- und Radfahrerverkehr und für den Kfz-Verkehr sind räumlich vollständig getrennt und es wurden zwei nahezu kreuzungsfreie Systeme entwickelt. Etwa 30 Prozent des Bruttobaulandes sind öffentliche Grün- und Erschließungsflächen. Das weitmaschige Straßennetz ist stark hierarchisch gegliedert; die Haupterschließungslast trägt eine periphere vierspurige anbaufreie Hauptsammelstraße. Die Wohnbereiche werden durch ein wabenförmiges Netz von Erschließungsstraßen gegliedert und die Erschließung der einzelnen Baugruppen erfolgt über Wohnwege. Innerhalb der Erschließungsringe entstehen große verkehrsfreie Räume, die mit einem engmaschigen Netz von Fuß- und Radwegen überzogen sind und die öffentlichen Grünflächen miteinander verbinden (Maschenweite 40-70 m). Hauptfußgängerwege verbinden den Stadtteil mit dem Stadtzentrum von Dorsten. Während das Netz für Fußgänger und Radfahrer gute Orientierungsmöglichkeiten aufweist, trifft dies für das Straßennetz nicht zu, da die Straßen durch nicht unterscheidbare „grüne Korridore“ verlaufen. Zudem sind das Netz und die Querschnitte der Straßenräume aus heutiger Sicht überdimensioniert, da die Konzeption ursprünglich von ca. 50.000 Einwohnern ausging.

Die vielfältigen Vorteile des Erschließungsrasters zeigt das Beispiel des neuen Stadtteils Hannover-Kronsberg, ein Städtebauprojekt im Rahmen der Expo 2000. Von den geplanten 6.000 Wohnungen sind bereits 3.000 im Ge-

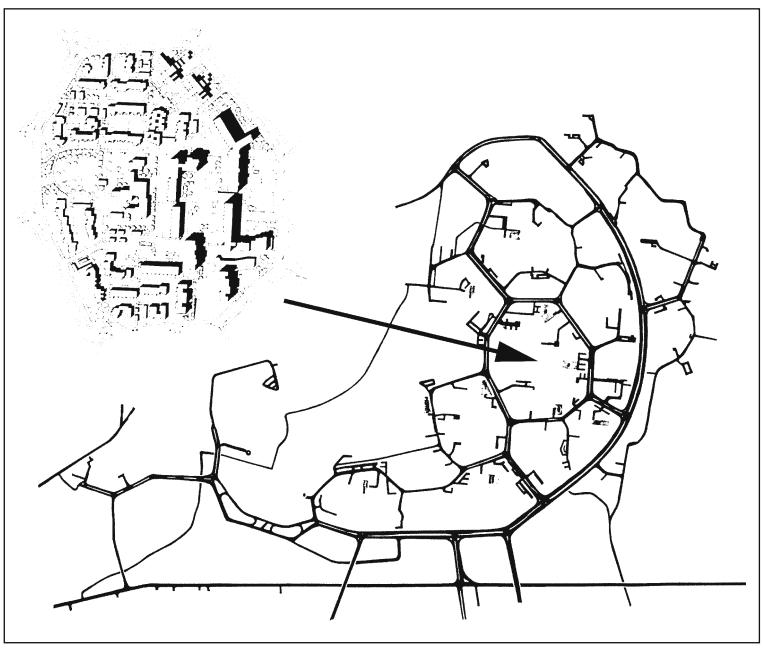


Abb. 3.19 Erschließungsnetz und Bebauungsstruktur für den Stadtteil Wulfen-Barkenberg, Stadt Dorsten (1963-1980). (Haffner et al., 1998)

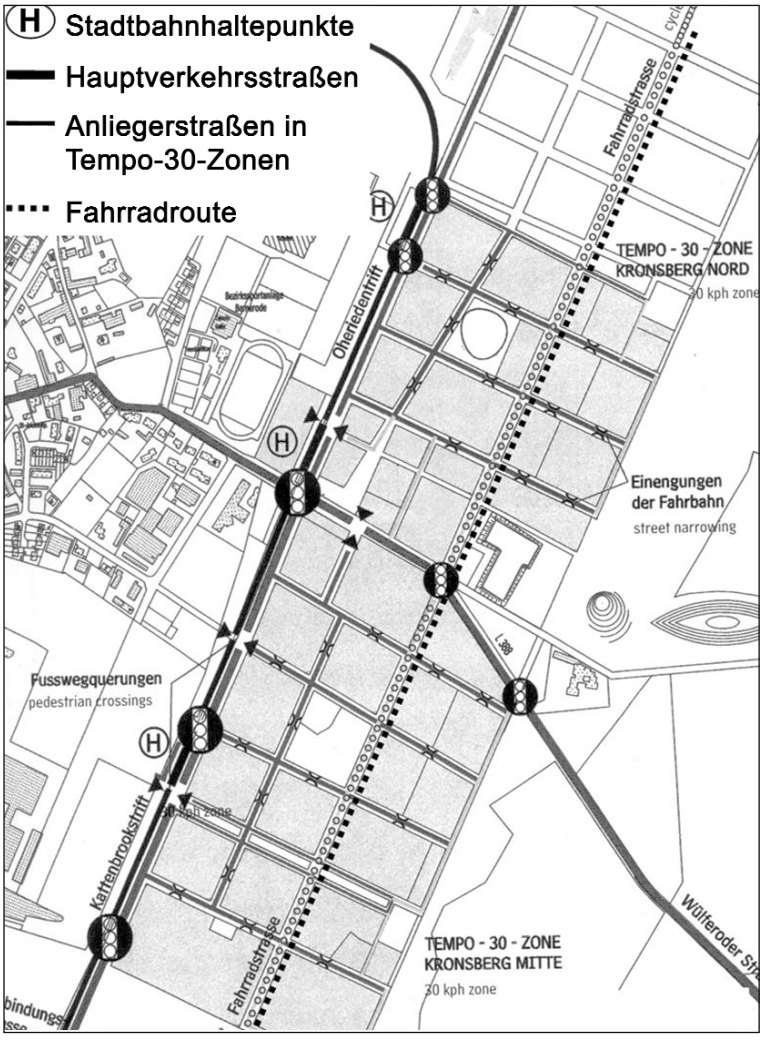


Abb. 3.20 Stadtteil Hannover-Kronsberg (1996-2000). (Landeshauptstadt Hannover, 2001).

schosswohnungsbau und im Einfamilienhausbereich in der ersten Baustufe fertiggestellt worden. Zugleich wurden 2.000 Arbeitsplätze in unmittelnahrer Nachbarschaft auf dem Expo-Gelände geschaffen (Landeshauptstadt Hannover, 2001). Das Straßennetz bündelt den Ziel- und Quellverkehr auf zwei orthogonalen Hauptverkehrsstraßen, von denen die bahnparallele Straße zugleich eine wichtige innerstädtische Verbindungsfunktion zwischen der Innenstadt und dem Expo-Gelände erfüllt. Das gesamte übrige Netz ist als Tempo-30-Zone mit flächendeckenden Rechts-vor-Links-Regelungen, zahlreichen Fahrverengungen sowie einigen Absperrungen konzipiert worden, so dass kein Durchgangsverkehr das Gebiet belastet (siehe Abb. 3.20). Eine 1,5 km lange Fahrradstraße durchquert den Stadtteil in nord-südlicher Richtung. Die vier Stadtbahnhaltestellen sowie die privaten Versorgungseinrichtungen und auch die Gemeinbedarfseinrichtungen lassen sich über das engmaschige Fußwegenetz in zumutbarer Entfernung nach ca. 300-400 m erreichen.

Die Einflussmöglichkeiten der Netzgestaltung auf die Verkehrsmittelwahl lassen sich

am Beispiel des Modellvorhabens Buxtehude verdeutlichen (Buxtehude, 1989). Durch umfassende Verkehrsberuhigungsmaßnahmen in der gesamten Innenstadt bei gleichzeitiger Einrichtung eines attraktiven Fuß- und Radwegenetzes nahm der Anteil der Fahrten des motorisierten Individualverkehrs um 20 Prozent ab, während beim Radverkehr eine Zunahme um 30 Prozent und beim Fußgängerverkehr eine um 20 Prozent zu verzeichnen war. Diese positiven Veränderungen des Modal-Splits zugunsten des nicht motorisierten Verkehrs, die trotz einer Zunahme des Kfz-Bestandes (Anstieg im Vergleichszeitraum von fünf Jahren um 17,5 Prozent) eingetreten sind, lassen sich sicherlich auch der veränderten Netzkonzeption zurechnen.

Literatur

Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (BMRBS) (Hrsg.) (1989): Tempo 30 – Städtebauliche Auswirkungen, Heft 470 der Schriftenreihe Forschung, Bonn

Buxtehude, der Oberstadtdirektor (Hrsg.) (1989): Flächenhafte Verkehrsberuhigung, Modellgebiet Buxtehude: Buxtehude

Fischer-Schlemm, Norbert (2003): Entwurf und überschlägige Bemessung innerörtlicher Straßenverkehrsanlagen. In: Kolks/Fiedler (Hrsg.): Verkehrswesen in der kommunalen Praxis, Bd. I: Planung – Bau – Betrieb, Berlin.

Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:
- FGSV (1995a):. Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 1995)
- FGSV (1995b): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen EAE 85/95, ergänzte Fassung
- FGSV (2002): Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen, (EFA 2002)
- FGSV (2003): Rahmenrichtlinie für die integrierte Netzgestaltung RIN, Entwurf 2003

Haffner, Thomas; Wohn, Barbara; Rebholz-Chaves, Karin (1998): Wohnsiedlungen-Entwürfe, Typen, Erfahrungen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. Basel

Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.) (2000): Modell Kronsberg – Nachhaltiges Bauen für die Zukunft. Hannover

Reinborn, Dietmar (1996): Städtebau im 19. und 20 Jahrhundert. Stuttgart

SSP-Consult, Universität GH Essen, IGS Ingenieurgesellschaft Stolz mbH, Bergische Universität Wuppertal, Junker und Kruse Stadtforschung – Stadtplanung (1997): Grundlagen einer Differenzierung der RAS-N, Teil Stadtregionen, Forschungsbericht, Essen

Stadt Bonn (Hrsg.) (1998): Tempo-30 in Bonn, Bonn

Stein, Clarence S. (1951): Toward New Towns for America: Chicago

Umlandverband Frankfurt (Hrsg.) (2000): Generalverkehrsplan 2000, Frankfurt

Weiterführende Literatur

ADAC (Hrsg.) (1998): Radverkehr in Städten und Gemeinden, Leitfaden für die Praxis, München

Jansen, Solveigh (2000): Flächensparende und kostengüstige Verkehrserschließung von Wohngebieten und Stadtquartieren. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswissenschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover (Hrsg.), Heft 29, Hannover

HUK-Verband (Hrsg.) (1990): Tempo 30-Zonen – Auswahl und Einrichtung: Empfehlungen der Beratungsstelle für Schadensverhütung, Heft 8, Köln

Krause, Juliane u.a. (1989): Modellvorhaben Flächenhafte Verkehrsberuhigung, Band l, Maßnahmendokumentation Buxtehude: Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Heft 206, Bergisch Gladbach

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2000): Szenarien und Potentiale einer nachhaltig flächensparenden uns landschaftsschonenden Siedlungsentwicklung. In Zusammenarbeit mit dem deutschen Institut für Urbanistik (DIFU), Berlin

4 Strecken und Knotenpunkte im Straßenverkehr

4.1 Grundlagen des Entwurfs

4.1.1 Entwurf von Straßenräumen im Wandel der Zeit

Im Städtebau des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts war der Straßenentwurf fest eingebunden in die städtebauliche Gesamtplanung. Der Entwurf von Straßenräumen war auch – und in manchen Bereichen sicher überwiegend – eine künstlerische Aufgabe und einer der wesentlichen städtebaulichen Gestaltungsbereiche. Entworfen wurden Straßen- und Platzräume, die vielfältige funktionale und repräsentative Aufgaben zu erfüllen hatten (Abb. 4.1). Da der Straßenbau überwiegend eine handwerkliche Arbeit war, wurden individuelle, regionale Lösungen begünstigt. Aus heutiger Sicht war damals zumindest bei Hauptverkehrsstraßen ein hohes Maß an individueller Gestaltqualität erkennbar.

Mit zunehmender Motorisierung wurde die städtebauliche Gesamtaufgabe in mehrere sektorale Fachplanungen aufgegliedert. Straßen wurden vorrangig nach den Anforderungen des Kraftfahrzeugverkehrs entworfen und gebaut. Die Multifunktionalität der Straßenräume geriet mehr und mehr ins Hintertreffen. Die Massenmotorisierung in der Phase des Wiederaufbaus nach dem Zweiten Weltkrieg führte zu Verkehrsmengen im Kraftfahrzeugverkehr, die die vorhandenen innerstädtischen Straßennetze nicht mehr befriedigend bewältigen konnten. Die Folge war eine weitgehende funktionale Separation in den Straßenräumen und der großmaßstäbliche Aus- und Neubau der Straßennetze. Diese Entwicklung wurde von der überwiegenden Mehrheit der Gesellschaft getragen und entsprach weitgehend dem städtebaulichen Leitbild des Wiederaufbaus.

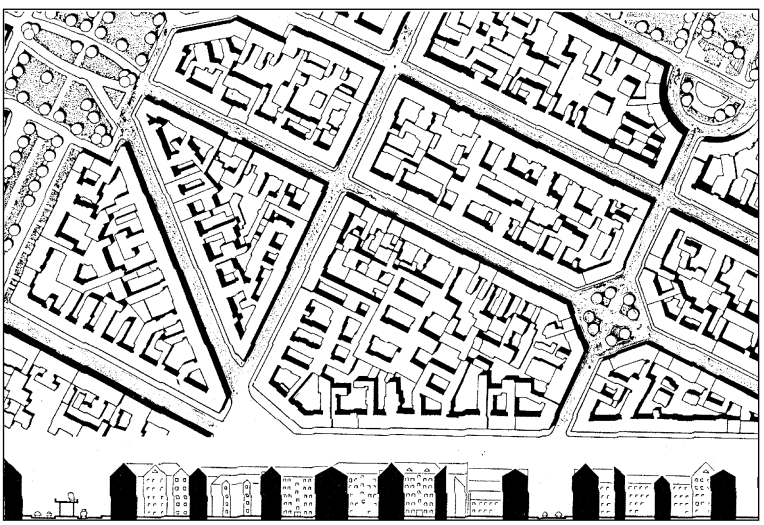


Abb. 4.1 Straßen- und Platzräume in einem gründerzeitlichen Stadtquartier. (Eigene Darstellung)

In Hauptverkehrsstraßen führte dies zu überwiegend monofunktional am Kraftfahrzeugverkehr ausgerichteten Straßenräumen. Aber auch in Anliegerstraßen wurden die sozialen Funktionen der Straßenräume weitgehend außer Acht gelassen.

Hauptgegenstand der Anfang der siebziger Jahre aufkommenden Kritik an der überwiegend verkehrstechnisch ausgerichteten Straßengestaltung war die mangelhafte städtebauliche Integration der Straßen, die ungenügende Berücksichtigung der nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer und der sozialen Funktionen der Straßenräume (Abb. 4.2). Diese Kritik führte in den achtziger Jahren zu einem fruchtbaren Dialog zwischen Stadtplanern, Freiraumplanern, Architekten und Verkehrsplanern. Als Ergebnis ist die Hinwendung zu interdisziplinären Planungsansätzen und die zunehmende Bereitschaft festzustellen, in fachübergreifenden Planungsgruppen zu arbeiten.

Abb. 4.2 Straßenraum mit dominanter Ausrichtung am Kraftfahrzeugverkehr. (Die in der Bildunterschrift mit (*) markierten Fotos stammen von den Verfassern)

Der kurze historische Rückblick zeigt eine grundlegende Veränderung der Planungs- und Entwurfsmethodik in der Straßenraumgestaltung von der integrierten städtebaulich-künstlerischen Aufgabe über überwiegend technisch-funktionale Fachplanungen bis zu interdisziplinären Planungsansätzen.

Auch die Betrachtung der Entwurfsrichtlinien für Straßenverkehrsanlagen zeigt, dass sich das Instrumentarium von multifunktional-städtebaulichen Entwurfsrichtlinien über vorwiegend monofunktional-technische Regelwerke zu integrierten städtebaulichen und verkehrlichen Planungs- und Entwurfshinweisen entwickelt hat. Stadtgestalterische Gesichtspunkte sowie Fragen der Raumbildung und -gliederung spielten in den Entwurfsrichtlinien der sechziger und siebziger Jahre gegenüber verkehrstechnischen Begriffen wie Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs, Leistungsfähigkeit der Verkehrsanlagen und Wirtschaftlichkeit so gut wie keine Rolle. Hinzu kommt, dass Aspekte wie Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs überwiegend auf den Kraftfahrzeugverkehr bezogen waren und Fußgänger und Radfahrer als nachrangig betrachtet wurden.

Mit den „Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen EAE 85“ (FGSV, 1985) ist im Jahre 1985 in Zusammenarbeit zwischen dem damaligen Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen erstmalig ein Regelwerk vorgelegt worden, das die Erschließungsplanung und den Entwurf von Straßenräumen wieder als eine städtebauliche Planungs- und Entwurfsaufgabe begreift und damit wegkommt von der überwiegend sektoralen und verkehrlichen Betrachtungsweise früherer Entwurfsrichtlinien. Die derzeit noch gültigen Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen EAHV (FGSV, 1993) aus dem Jahre 1993 betrachten den Straßenraumentwurf ebenfalls als integrierte städtebauliche und verkehrliche Aufgabe.

Wegbereiter des ganzheitlichen Entwurfs- und Gestaltungsansatzes waren eine ganze Reihe von kritischen Veröffentlichungen, die sich mit der Gestaltung von Straßenräumen auseinander setzten und dabei neben verkehr-

lich-funktionalen Aspekten gleichrangig die städtebaulich-gestalterische und soziale Belange reklamierten (Haller u. Schnüll, 1982; Haller u. Schnüll, 1984; ILS, 1984) .

Trotz dieser insgesamt positiven Einschätzung der Entwicklung sind in der Praxis aber auch heute immer noch sektorale Entwurfsansätze anzutreffen. Als Beispiel hierfür können die vielfältigen Ansätze zur Geschwindigkeitsreduzierung auf Ortsdurchfahrten im Zuge klassifizierter Straßen gelten. Auch wenn die dort im Mittelpunkt stehende Erhöhung der Verkehrssicherheit ein unbestrittenes Ziel ist, zeigt die stark elementbezogene Betrachtungsweise – welchen Beitrag leistet ein bestimmtes Entwurfselement zur Geschwindigkeitsreduzierung – einen erschreckenden Funktionalismus, der mit straßenräumlichem Gestalten wenig zu tun hat (MSVNRW, 1991). Auch Verkehrsberuhigungsmaßnahmen aus den achtziger und neunziger Jahren werden inzwischen zunehmend und zu Recht kritisiert. Es ist deshalb wichtig, dass entwurfsmethodische Überlegungen am Anfang des straßenräumlichen Gestaltens stehen und stärker als bisher in den Entwurfsrichtlinien verankert werden. Auch in den derzeit in Bearbeitung befindlichen Richtlinien für Stadtstraßen RASt (FGSV 2004a) haben entwurfsmethodische Ausführungen einen hohen Stellenwert.

4.1.2 Straßenraumentwurf als Entwurfsmethodik

Straßenplanung innerhalb bebauter Gebiete ist Teil des Städtebaus und kann nicht als isolierte Fachplanung gesehen werden. Straßenplanung ist Teil der Straßenraumgestaltung und wird im Straßenraumentwurf zu einer angemessenen Gesamtgestaltung zusammengeführt. Der Ablauf des Straßenraumentwurfes folgt der gängigen Struktur von Planungs- und Entwurfsprozessen (Abb. 4.3). Dabei ist zu beachten, dass der Entwurfsprozess nicht linear abläuft, sondern vielfältige Rückkopplungen auch in die gesamtplanerische Ebene hat.

Durch eine umfassende Analyse der straßenräumlichen Situation und der Nutzungsansprüche wird gewährleistet, dass sowohl die überörtlichen städtebaulichen und verkehrlichen Anforderungen an die Straßenräume als auch die kleinräumigen, örtlichen Belange ausgewogen berücksichtigt werden. Durch das Offenlegen der vielfältigen und konkurrierenden Ansprüche wird die Planungs- und Entwurfsbearbeitung transparent. Die nach der Abwägung und dem Ausgleich der Nutzungsansprüche erarbeiteten Planungs- und Entwurfskonzepte werden begründbar. Erst dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, in einen fachlichen Dialog mit den Betroffenen und den Entscheidungsträgern einzutreten.

Die „Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete ESG 87“ (FGSV, 1987) definieren ebenso wie die Neubearbeitung aus dem Jahre 1996 (FGSV, 1996) die Stellung des Straßenraumentwurfes im Spannungsfeld von Stadt- und Verkehrsplanung. Als inhaltliche Erweiterung gegenüber den Entwurfsempfehlungen EAE und EAHV fordern die ESG ergänzend zur umfassenden Behandlung der materiellen Anforderungen die integrale Berücksichtigung immaterieller Ansprüche an den Straßenraum im Rahmen des „Stadtgestalterischen Beitrages“. Die derzeit in der Bearbeitung befindliche RASt, die die beiden Entwurfsempfehlungen EAE und EAHV zusammenfassen wird, basieren entwurfsmethodisch auf dem Straßenraumentwurf.

Die Entwurfsmethodik des Straßenraumentwurfes kann helfen, an Einzelansprüchen orientierte, sektoral optimierte Entwürfe weitgehend zu vermeiden. Während der Entwurfsbearbeitung ist die inhaltliche Auseinandersetzung mit den divergierenden materiellen und immateriellen Ansprüchen in Straßenräumen

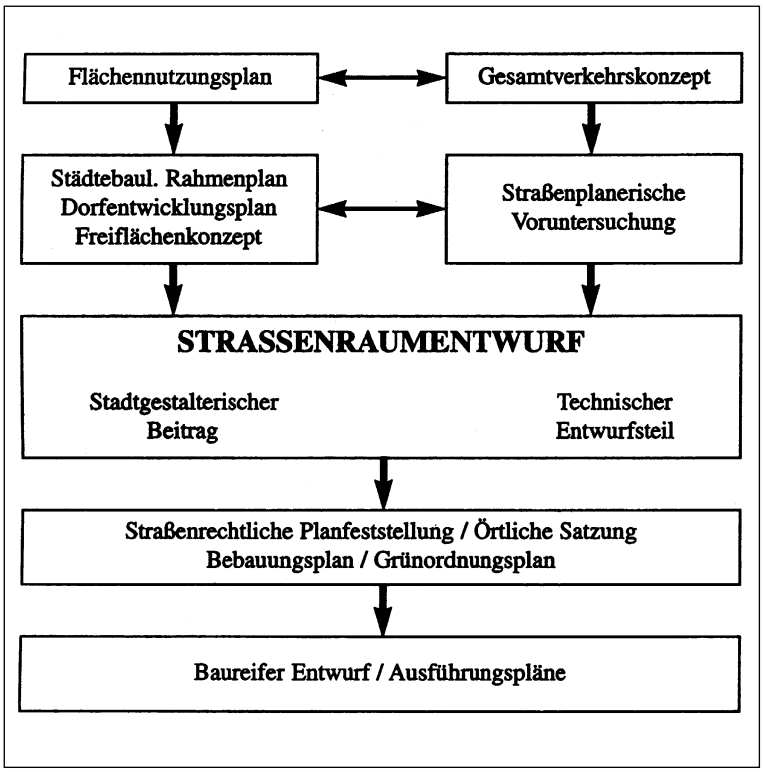


Abb. 4.3 Ablauf eines Straßenraumentwurfs (FGSV, 1996)

zu führen und eine konsensfähige Abwägung durchzuführen. Der Straßenraumentwurf bewirkt einen Ausgleich zwischen materiellen und immateriellen Ansprüchen und ist somit eine Synthese aus Funktionalität und individueller Gestaltqualität.

4.1.3 Ziele und Bewertungskriterien

Planung und Entwurf von innerörtlichen Straßenräumen orientieren sich an überörtlichen Vorgaben und an straßenraumspezifischen Zielen. Die Ziele unterliegen einem gesellschaftlichen Wandel. Wegen der hohen Wertigkeit von Verkehrssicherheit und straßenräumlicher Qualität, der Chancengleichheit bei der Verkehrsteilnahme und der Wohnqualität in den Städten und Gemeinden ist es häufig – wenn nicht in der Regel – unumgänglich, die Menge oder zumindest die Ansprüche des motorisierten Individualverkehrs an Geschwindigkeit und Komfort zu reduzieren und dadurch die umweltfreundlichen Verkehrsarten zu fördern.

Hauptziele des Straßenraumentwurfs sind die Funktionsfähigkeit des Straßenraumes und seine ortsspezifische Gestaltung. Voraussetzung für die Überprüfung der Funktionsfähigkeit ist, dass der Straßenraum in seiner ganzen Vielfalt erfasst und unter Abwägung aller Nutzungsansprüche und sozialen Erfordernisse in der jeweiligen Bedeutung bewertet wird. Die Einzelziele lassen sich folgenden Zielfeldern zuordnen:

- Verkehr,
- Umfeldverträglichkeit,
- Soziale Brauchbarkeit
- Straßenraumgestalt,
- Wirtschaftlichkeit.

Die Gewichtung der Zielfelder und der Ziele

untereinander kann in der Regel nur problemorientiert für eine konkrete Entwurfsaufgabe erfolgen. Generelle Anspruchsniveaus und Zumutbarkeitsgrenzen lassen sich für die Bewertungskriterien im Allgemeinen nicht angeben. Im Einzelfall können sich aufgrund örtlicher Besonderheiten auch weitere oder andere Ziele und Bewertungskriterien ergeben.

Die im Zielfeld *Verkehr* beschriebene verkehrliche Qualität eines Straßenraumes wird wesentlich von der Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmer und der Qualität des Verkehrsablaufes bestimmt. Besondere Bedeutung für die Verkehrssicherheit haben die Geschwindigkeiten des Kraftfahrzeugverkehrs, die Übersichtlichkeit im Straßenraum, ausreichend dimensionierte Verkehrsflächen für Fußgänger und Radfahrer und sichere Überquerungsmöglichkeiten. Den Kraftfahrern ist die auf Grund der übrigen Straßenraumnutzungen angemessene Fahrweise gestalterisch zu verdeutlichen. Allerdings kann diese Geschwindigkeit in der Regel baulich nicht erzwungen werden.

Schwächere Verkehrsteilnehmer, insbesondere ältere Menschen, Behinderte und Kinder, erfordern ein besonderes Augenmerk, da von diesen Personengruppen volle Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Reaktionsfähigkeit und Regelbeachtung nicht immer erwartet werden können.

Die Beurteilung der Verkehrsqualität erfolgt einheitlich nach den im HBS 2001 (FGSV, 2001a) angegebenen Verkehrsqualitätsstufen, die grundsätzlich für alle Verkehrsteilnehmer gelten. Die erwünschten Qualitäten des Verkehrsablaufes sind abhängig von der maßgebenden Funktion der Straßenräume, den Umfeldnutzungen und der straßenräumlichen Situation. Im Zuge von Hauptverkehrsstraßen sind in der Regel Geschwindigkeiten von 50 km/h anzustreben. In engen Ortsdurchfahrten oder vor sensiblen Einrichtungen können die nutzungsverträglichen Geschwindigkeiten aber auch bei 30 oder 40 km/h liegen (Abb. 4.4). Da Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes innerörtlicher Straßen in der Regel durch Knotenpunkte und nutzungsbedingte, örtliche und zeitlich wechselnde Störungen bestimmt werden, haben abschnittsweise geringere Geschwindigkeiten als 50 km/h nur wenig Einfluss auf die Reisegeschwindigkeit und die Verkehrsqualität im Kraftfahrzeugverkehr.

In Erschließungsstraßen steht die Qualität des Fußgänger- und Radverkehrs im Vorder-

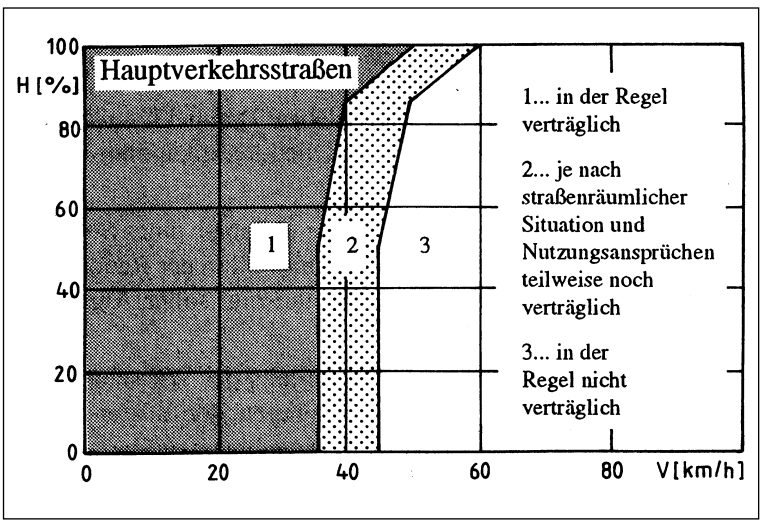


Abb. 4.4 Nutzungs- und sozialverträgliche Geschwindigkeiten auf Hauptverkehrsstraßen. (Eigene Darstellung)

grund. Der Verkehrsablauf im Kraftfahrzeugverkehr soll mit langsamen Geschwindigkeiten, aber trotzdem stetig erfolgen, um eine möglichst geringe Lärm- und Abgasemission zu erzielen. Bewährt haben sich Tempo 30-Zonen mit dem maßvollen Einsatz verkehrsberuhigender Elemente beim Neubau. In Altbauquartieren kann auf verkehrsberuhigende Einbauten auch verzichtet werden.

Die im Zielfeld *Umfeldverträglichkeit* beschriebene Umfeldqualität der Straßenräume wird maßgebend durch die Verkehrsimmissionen (Lärm, Luftverunreinigungen und Erschütterungen) bestimmt (siehe Kap. B 3). Da die Verkehrsimmissionen von der Verkehrsstärke, der Geschwindigkeit, der Fahrweise und der Verkehrszusammensetzung abhängen, lassen sie sich durch den Entwurf und die Gestaltung von Straßen nur bedingt beeinflussen. Von besonderer Bedeutung sind die Gleichmäßigkeit und Stetigkeit von Verkehrsabläufen im Kraftfahrzeugverkehr sowie eine verhaltene Fahrweise mit niedrigen Drehzahlen. Die Störwirkung von Verkehrslärm auf Anwohner und Straßenraumnutzer lässt sich psychologisch verringern, wenn der Straßenraum gut gestaltet ist (Kompensationseffekt) und der Kraftfahrzeugverkehr optisch nicht dominiert.

Die funktionale Trennwirkung ist besonders an Hauptverkehrsstraßen von Bedeutung. Die Trennwirkung ist aber nicht allein von Wartezeiten beim Überqueren abhängig, Trennwirkung wird auch subjektiv empfunden. Maßnahmen zur Straßenraumgestaltung können die Trennwirkung reduzieren und auch unter diesem Aspekt dazu beitragen, die soziale Brauchbarkeit zu verbessern.

Das Zielfeld *Soziale Brauchbarkeit* beschreibt in unterschiedlichen Teilzielen wie Orientierung, Identifikation, Identität oder Aneignung die immateriellen Qualitäten eines Straßenraumes. Die Kriterien sind zwar stark durch individuelle und gefühlsmäßige Bezüge geprägt, die Qualität eines Straßenraumes lässt sich aber eben nicht ausschließlich funktional und stadtgestalterisch bewerten.

Orientierung betrifft das Grundbedürfnis der Menschen, sich sowohl in räumlichen Strukturen als auch in Situationen, die ein bestimmtes Verhalten erfordern, zurechtzufinden. Die raumbezogene Orientierung basiert u.a. auf Prägnanz und Übersicht, Einprägsamkeit und Maßstab (Abb. 4.5).

Abb. 4.5 Orientierung im Straßenraum (Leipzig). (*)

Identifikation oder Aneignung setzt eine positive, individuelle emotionale Beziehung zu einem Ort voraus. Sie umfasst Interesse, Engagement, Verantwortungsgefühl und Stolz. Sie entwickelt sich insbesondere durch die Verantwortlichkeit für ein „Territorium“, die Möglichkeit der Darstellung eigener Werte und der Kreativität. Private oder privat benutzbare Bereiche fördern das Interesse auch für die öffentlichen Bereiche und die eigene Repräsentation im Straßenraum, für Selbstgestaltung und Veränderung. Beteiligung an der Planung und Verwirklichung von Veränderungen sind immer ein wirkungsvoller Ansatz für individuelle Identifikation (Abb. 4.6).

Identität entwickelt sich immer dann, wenn eine unzweifelhafte Vorstellung von ortsspezifischen oder ortstypischen Eigenschaften aufgebaut werden kann. Identitätsbildende Kom-

Abb. 4.6 Identifikation und Aneignung in einem Straßenraum. (*)

Abb. 4.8 Möglichkeiten zur Betätigung in einem Straßenraum. (*)

ponenten sind lokale Eigenart, Originalität, lokale Bedeutung, Milieu und Unverwechselbarkeit. Lokale Eigenart und Originalität lebt von den Unterscheidungs- und Abgrenzungsmöglichkeiten gegenüber anderen Orten. Standardisierung nivelliert lokale Eigenart (Abb. 4.7).

Abb. 4.7 Lokale Eigenart und Milieu prägen den Straßenraum. (*)

Anregung betrifft das Bedürfnis der Menschen, sich mit ihrer Umwelt auseinander zu setzen. Inwieweit ein Raum anregend wirkt, hängt davon ab, welche Möglichkeiten der Betätigung dort vorhanden sind; sie sollten begünstigt, aber nicht aufgezwungen werden. Der Spielraum für individuelle Interpretation sollte möglichst groß sein (Abb. 4.8).

Das Zielfeld *Straßenraumgestalt* beschreibt die stadträumlichen Qualitäten eines Straßenraumes. Jeder Straßenraum sollte ein Gestaltungsleitbild haben, dem straßenräumlich wirksame Elemente zugeordnet werden. Durch einprägsame ortstypische Merkmale wird die Orientierung im Quartier unterstützt. Darüber hinaus ist es wichtig, die Gebietscharakteristik zu stärken, die Möglichkeiten zur Identifikation mit dem Straßenraum zu fördern und wichtige historische Bezüge verständlich darzustellen (siehe Kap. C 2).

Die formale Ausprägung und Maßstäblichkeit der Entwurfselemente innerhalb eines Straßenraumes sollten mit der Bebauung übereinstimmen. Die Straßenhierarchie soll in der Raumfunktion zum Ausdruck kommen. Unter Verzicht auf gestalterischen Schematismus sollen Identität, Anregung und Schönheit vermittelt werden.

Die im Zielfeld *Wirtschaftlichkeit* aufgeführten Kriterien zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Straßenum- bzw. -neubaus beschränken sich nicht nur auf Fragen der Kosten oder des Flächenverbrauchs. Einzubeziehen sind vielmehr alle verkehrlichen und städtebaulichen Nutzen. Kosteneinsparungen können insbesondere durch Flächenreduzierungen, sparsame Entwurfs- und Baustandards und dar-

aus folgende niedrige Herstellungskosten erreicht werden. Jedoch ist zu prüfen, ob sich solche Beschränkungen nicht ungünstig auf die Betriebs- und Unterhaltskosten auswirken.

4.1.4 Städtebauliche und straßenräumliche Merkmale

Städtebauliche Merkmale und die straßenräumliche Situation sind in hohem Maße entwurfsprägend. Wegen ihrer im Rahmen des Straßenraumentwurfes oft beschränkten Veränderbarkeit sind sie in der Regel als örtliche Entwurfsvorgaben zu behandeln. Aus dem Gebietstyp ergeben sich erste Anhaltspunkte für den ganzheitlichen Entwurf von Straßen. In den Gebietstypen kommen vor allem städtebaulich-historische Bezüge zum Ausdruck. Das dem Gebiet zu Grunde liegende städtebauliche Leitbild bietet Anknüpfungspunkte zur Entwicklung eines möglichen Leitthemas für die Straßenraumgestaltung (Abb. 4.9).

Die straßenräumliche Situation wird geprägt durch die Begrenzung, die Breite und den Verlauf des Straßenraumes. Sie ist die wesentliche Grundlage für mögliche Flächendispositionen im Straßenraum sowie für die räumliche Konzeption und gestalterische Durcharbeitung des Straßenraumentwurfes. Die Straßenraumbreite wird in den Entwurfsbeispielen der künftigen RASt als maßgebliche Entwurfsvorgabe betrachtet.

Von der Breite des Straßenraumes hängt es ab, ob nur die Verteilung von Flächendefiziten oder die Verlagerung von Nutzungsansprüchen in andere Straßenräume in Frage kommt und mit welchen Mitteln eine stadtgestalterisch erwünschte Raumbildung und die Raumgliederung erreicht werden kann.

Aus dem Verlauf des Straßenraumes ergeben sich weitere Randbedingungen für den Straßenraumentwurf. Markante Änderungen im Straßenverlauf, wie z.B. räumlich wirksame Aufweitungen oder Einengungen des Straßenraumes, Einmündungen oder Kreuzungen

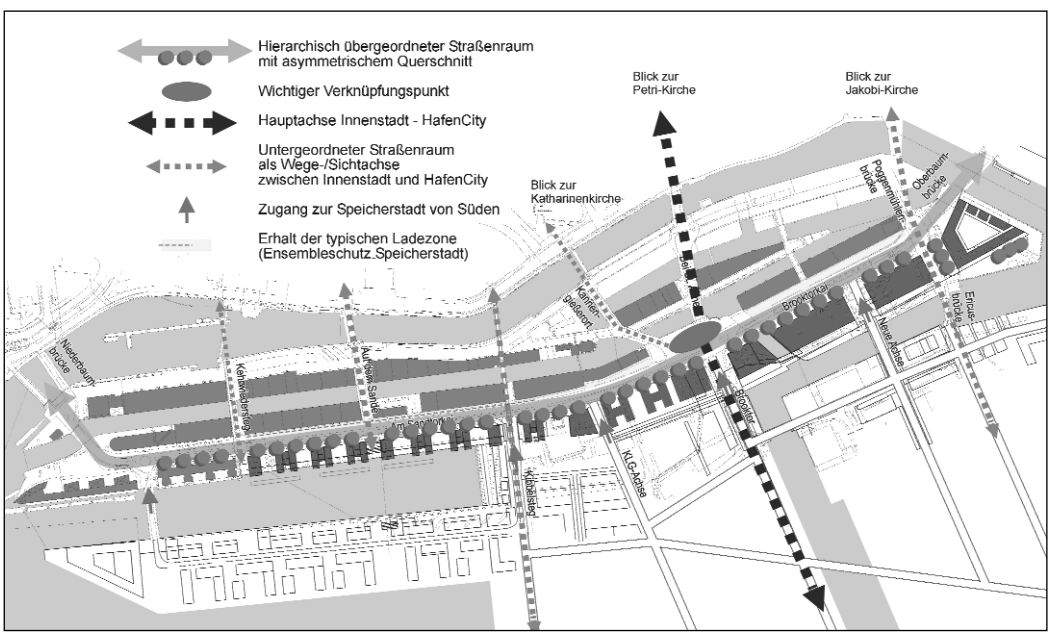


Abb. 4.9 Städtebaulich-straßenräumliches Konzept HafenCity Hamburg. (Eigene Darstellung)

mit anderen Straßen, erfordern eine besondere Aufmerksamkeit beim Entwurf und können in der Gestaltung von Plätzen oder in der Betonung der Raumfolge zum Ausdruck kommen. Im Verlauf längerer Straßenzüge, insbesondere an Hauptverkehrsstraßen und Sammelstraßen ergibt sich in der Regel eine Differenzierung in Abschnitte (Abb. 4.10). Anhaltspunkte für eine straßenräumliche Abschnittsbildung können sich als Änderungen der städtebaulich-historischen Bedeutung, der Art der Begrenzung, der Breite und des Verlaufes des Straßenraumes bzw. der Umfeldnutzungen ergeben.

4.1.5 Nutzungsansprüche

Beim Entwurf von Straßenräumen sind vielfältige, qualitativ und quantitativ beschreibbare Nutzungsansprüche zu berücksichtigen. Während die Quantifizierung der generellen Nutzungsansprüche und des Raumbedarfs für einige Nutzungen Schwierigkeiten bereitet, lassen sich für die motorisierten und nicht motorisierten Verkehrsarten aus den Abmessungen charakteristischer Verkehrsteilnehmer und ihrer Fahrzeuge sowie aus den fahrgeometrischen Möglichkeiten der Fahrzeuge Verkehrsräume, lichte Räume und Verkehrsflächen für unterschiedliche fahrdynamische und fahrgeometrische Komfortstufen entwickeln (Tabelle 4.1).

Kraftfahrzeugverkehr

Das im Einzelfall maßgebende Bemessungsfahrzeug muss aufgrund der Grundstücksnutzung und der maßgebenden Funktion der Straße ermittelt werden und ist in der Regel das größte regelmäßig vorkommende Fahrzeug. Bei der Kurvenfahrt – insbesondere von Lastkraftfahrzeugen und Bussen – sind die Schleppkurven der nachlaufenden inneren Hinterräder zu berücksichtigen (FGSV, 2001b). Mit den Rechenprogrammen zur Schleppkurvenermittlung kann der Mindestflächenbedarf für beliebig wählbare Fahrzeuge bestimmt werden. Dies ist vor allem dann von Bedeutung, wenn

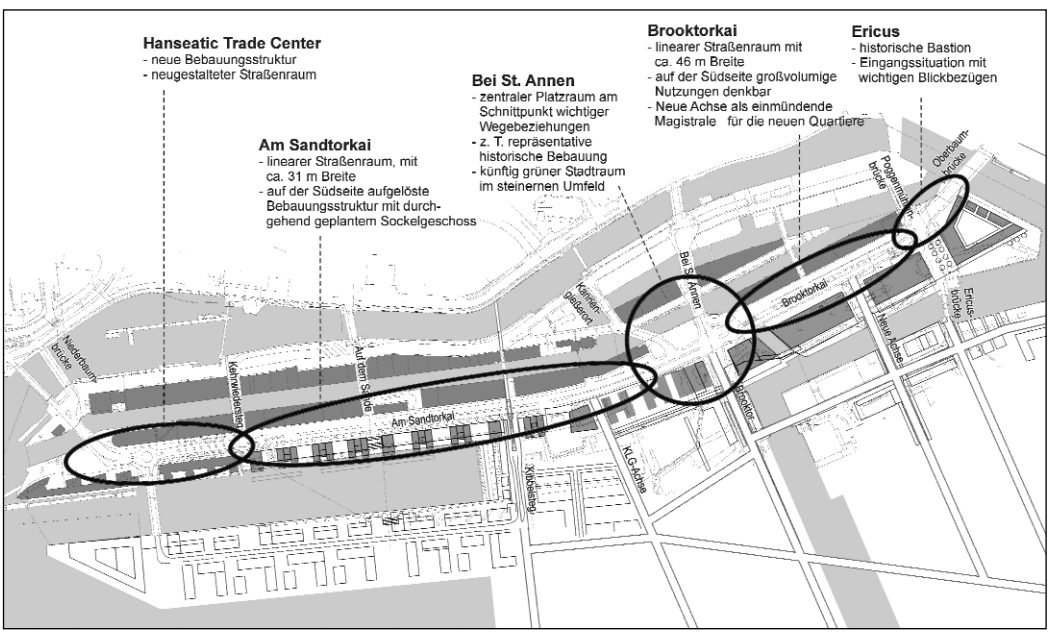


Abb. 4.10 Gliederung in straßenräumliche Abschnitte. HafenCity Hamburg. (Eigene Darstellung)

Tabelle 4.1 Grunddaten bemessungsrelevanter Fahrzeuge (FGSV, 2001)

Fahrzeugart	Außenabmessungen						
	Länge	Radstand	Überlänge		Breite	Höhe	Wende-kreisradi-us außen
			vorn	hinten			
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Personenkraftwagen	4,74	2,70	0,94	1,10	1,76	1,51	5,85
Lastkraftwagen:							
Transporter/Wohnmobil	6,89	3,95	0,96	1,98	2,17	2,70	7,35
Kleiner Lkw (2-achsig)	9,46	5,20	1,40	2,86	2,29	3,80	9,77
Großer Lkw (3-achsig)	10,10	5,30 [1])	1,48	3,32	2,50 [4])	3,80	10,05
Lastzug:	18,71						
Zugfahrzeug (3-achsig) [1])	9,70	5,28 [1])	1,50	2,92	2,50 [4])	4,00	10,30
Anhänger (2-achsig)	7,45	4,84	1,35 [3])	1,26	2,50	4,00	10,30
Sattelzug:	16,50						
Zugmaschine (2-achsig)	6,08	3,80	1,43	0,85	2,50 [4])	4,00	7,90
Auflieger (3-achsig) [1])	13,61	7,75 [1])	1,61	4,25	2,50	4,00	7,90
Kraftomnibusse:							
Reise-, Linienbus 12,00 m	12,00	5,80	2,85	3,35	2,50 [4])	3,70 [6])	10,50
Reise-, Linienbus 13,70 m [2])	13,70	6,35 [2])	2,87	4,48	2,50 [4])	3,70 [6])	11,25
Reise-, Linienbus 15,00 m [2])	14,95	6,95 [2])	3,10	4,90	2,50 [4])	3,70 [6])	11,95
Gelenkbus	17,99	5,98/5,99	2,65	3,37	2,50 [4])	2,95	11,80
Müllfahrzeuge:							
2-achsig (2 Mü)	9,03	4,60	1,35	3,08	2,50 [4])	3,55	9,40
3-achsig (3 Mü)	9,90	4,77 [1])	1,53	3,60	2,50 [4])	3,55	10,25
3-achsig (3 MüN) [2])	9,95	3,90	1,35	4,70	2,50 [4])	3,55	8,60
Höchstwerte der StVZO:							
Kraftfahrzeug	12,00						
Anhänger	12,00						
Lastzug	18,75				2,55 [4])[5])	4,00 [6])	12,50
Sattelzug	16,50						
Gelenkbus	18,00						

[1]) Bei 3-achsigen Fahrzeugen ist die hintere Tandemachse zu einer Mittelachse zusammengefasst
[2]) Bei 3-achsigen Fahrzeugen mit Nachlaufachse entspricht der Radstand dem Wert zwischen der vorderen Achse der hinteren Tandemachse
[3]) Ohne Deichsellänge
[4]) Ohne Außenspiegel
[5]) Aufbauten von klimatisierten Fahrzeugen bis 2,60 m
[6]) Als Doppelstock-Bus 4,00 m

selten vorkommende Fahrzeuge der Bemessung zugrunde gelegt werden sollen (z.B. landwirtschaftliche Fahrzeuge, Schwertransporter).

Grunddaten für den Raumbedarf von Kraftfahrzeugen ergeben sich aus den Fahrzeugabmessungen, der bei gerader Fahrt, bei Kurvenfahrt und beim Ein- und Ausparken zugrundegelegten Fahrweise (fahrdynamischer oder fahrgeometrischer Komfort) und den für die gewählten Fahrweisen erforderlichen Bewegungsspielräumen.

Die Wahl des Bemessungsfahrzeuges und des Begegnungs-, Überhol- oder Vorbeifahrtfalles, der dem Entwurf punktuell oder durchlaufend zugrunde gelegt werden soll, ergibt sich aus der Abwägung der unterschiedlichen Nutzungsansprüche. Die Wahl eines bestimmten Begegnungsfalles oder Bemessungsfahrzeuges schließt nicht aus, dass größere Fahrzeuge die Verkehrsflächen unter Mitbenutzung von Gegenfahrspuren oder Ausweichstellen befahren können (Abb. 4.11). Häufig kann auch die straßenräumliche Situation das Bemessungsfahrzeug und den maßgebenden Begegnungsfall beeinflussen. Dies ist besonders in eng bebauten Altstadtgebieten der Fall.

Öffentlicher Personennahverkehr

Ein gut funktionierender öffentlicher Personennahverkehr ist eine wesentliche Voraussetzung für einen umfeld- und sozialverträglichen Stadtverkehr, da bei gleicher Beförderungsleistung die Verkehrssicherheit im öffentlichen Personennahverkehr höher und die Umweltbelastung um ein Vielfaches geringer ist als im motorisierten Individualverkehr. Nutzungsansprüche des öffentlichen Personennahverkehrs sind insbesondere in Hauptverkehrsstraßen zu berücksichtigen, da sie in

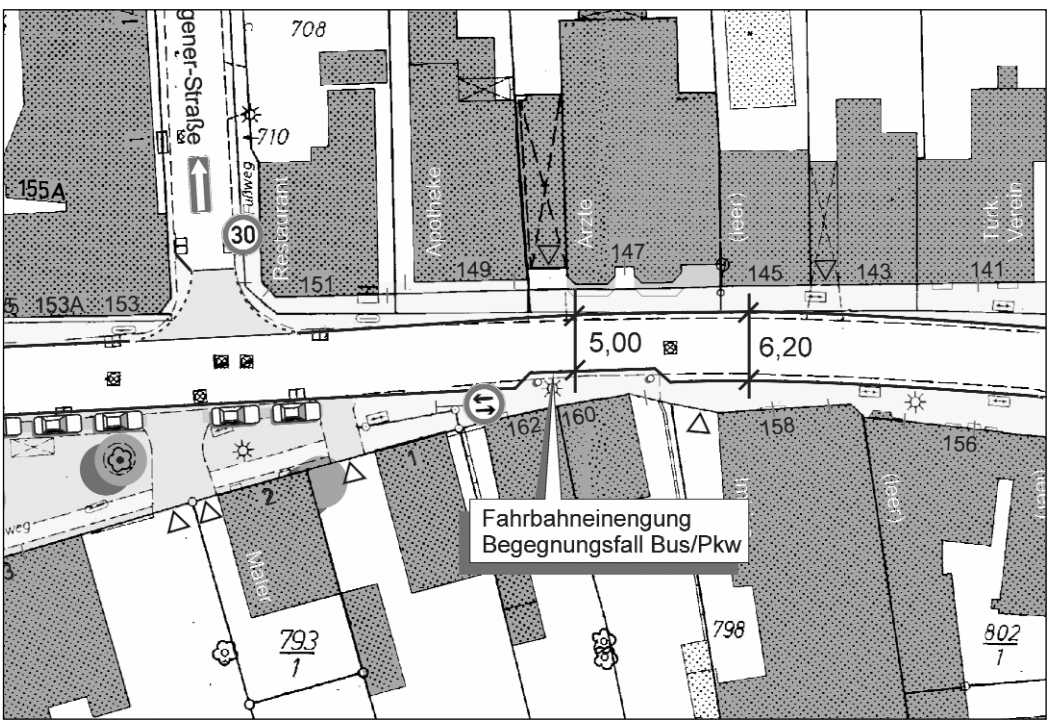


Abb. 4.11 Variable Fahrbahnbreite in Abhängigkeit von der Bau- und Nutzungsstruktur. (Eigene Darstellung)

der Regel wichtige Routen im Liniennetz von Bussen und Bahnen sind.

Bei der Quantifizierung des Raumbedarfs für den öffentlichen Personennahverkehr ist zu beachten, dass

- die aus Attraktivitätsgründen angestrebte geringe Beförderungszeit häufig zügige Fahrweisen erfordert, für die entsprechende Fahrbahnbreiten vorzusehen sind,
- Linienbusse Abmessungen haben können, die die Grenzwerte der StVZO erreichen und einschließlich der beidseitigen Außenspiegel bis zu 3,10 m breit sein können,
- für den Mindestflächenbedarf der Linienbusse bei Kurvenfahrt von großer Bedeutung ist, ob Gegenfahrspuren ganz oder teilweise mitbenutzt werden können,
- für die Fahrzeugüberhänge und Wagenkastenausschläge bei der Kurvenfahrt Mehrbreiten erforderlich sind und
- an Haltestellen zusätzliche Flächen für wartende Fahrgäste und für die Ausstattung der Haltestellen berücksichtigt werden müssen.

Aus den Fahrzeugbreiten der Busse und Breitenzuschlägen ergeben sich für Begegnen und Vorbeifahren Verkehrsräume von 6,50 m bzw. 6,00 m bei eingeschränktem Bewegungsspielraum (Abb. 4.12).

Aus den Fahrzeugbreiten der schienengebundenen Verkehrsmittel W (nach VDV-Empfehlung W = 2,40 m bei Straßenbahnen und W = 2,65 m bei Stadtbahnen) ergibt sich im Begegnungsfall eine Mindestbreite des Verkehrsraumes von 2W + 0,60 m (Abb. 4.13).

Die städtebauliche Integration schienengebundener Verkehrsmittel ist häufig schwierig,

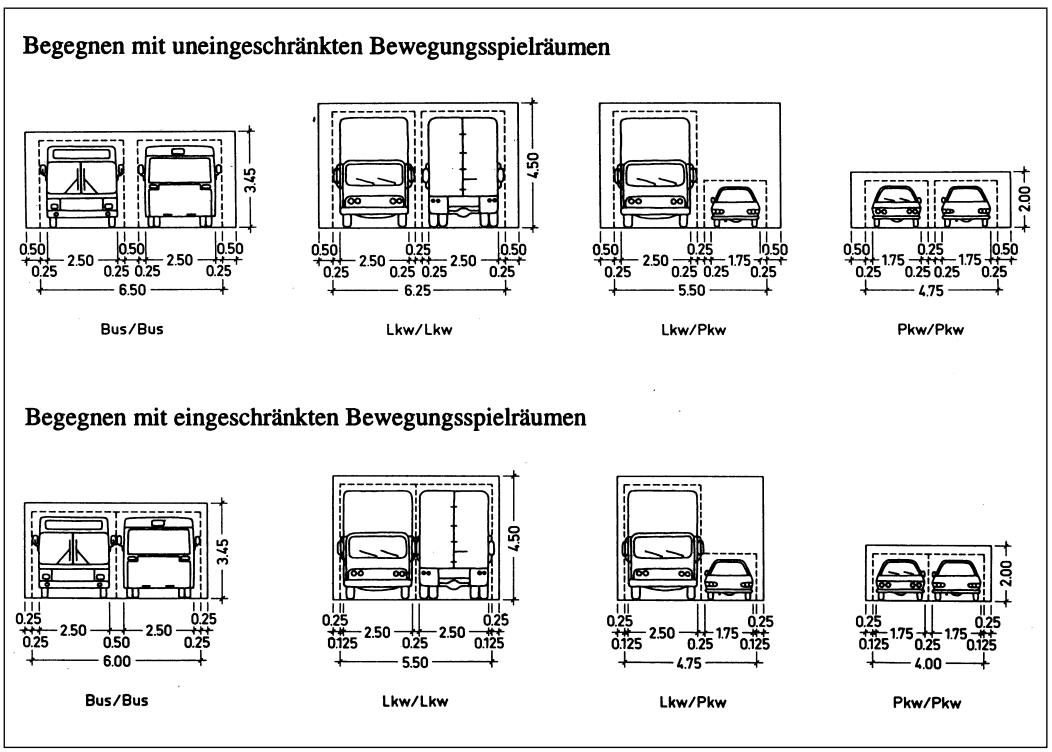


Abb. 4.12 Grunddaten für Verkehrsräume und lichte Räume bei Begegnungsfällen mit uneingeschränkten und eingeschränkten Bewegungsspielräumen (FGSV, 1993)

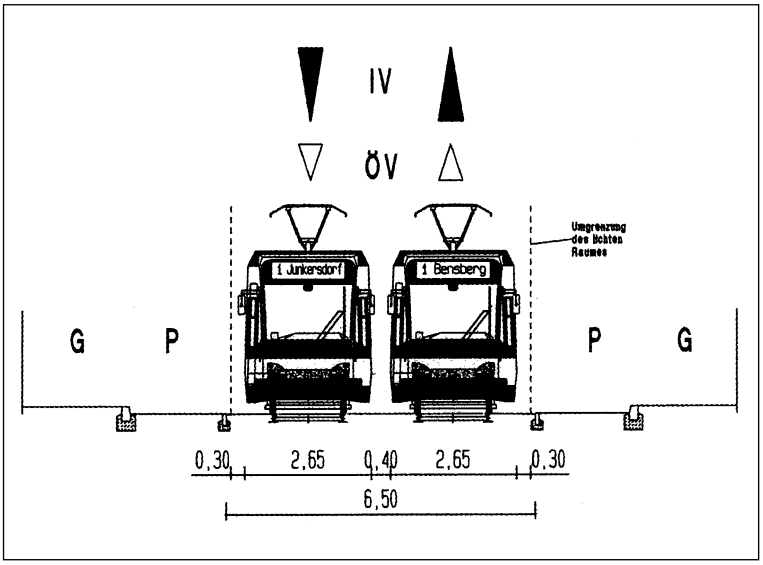


Abb. 4.13 Verkehrsraum für Straßen- und Stadtbahnen (FGSV, 2003b)

da die Anforderungen der schienengebundenen Verkehrsmittel nach einem möglichst unabhängigen Fahrweg und möglichst wenig Querungen den Anforderungen der anderen Straßenraumnutzer nach möglichst großer Durchlässigkeit in der Regel widersprechen. Der vielfach berechtigten Forderung der Verkehrsbetriebe nach besonderen Bahnkörpern stehen in der Praxis bewährte Beispiele mit teilweise überfahrbaren Bahnkörpern oder der gemeinsamen Nutzung des Straßenraumes durch den schienengebundenen Verkehr und den Kraftfahrzeugverkehr gegenüber (Albers, 1996; Schnüll u. Kloppe., 1998; Kloppe, 2000). Beispiele enthält das Merkblatt für die Gestaltung von Anlagen des schienengebundenen öffentlichen Personennahverkehrs (FGSV, 2003a).

Besonders problematisch sind Haltestellen der Straßen- und Stadtbahnen und hier wiederum insbesondere Hochbahnsteige, da sie den Straßenraum über die gesamte Länge der Haltestellen – mit barrierefreien Zugängen teilweise bis 100 m – in Querrichtung undurchlässig machen (Abb. 4.14). Straßen- oder Stadtbahnsysteme mit Niederflurtechnik weisen dabei große Vorteile auf, da die Barrierewirkung deutlich reduziert werden kann. Bewährt haben sich auch Einstiegshilfen und bereichsweise angehobene Fahrbahnen (Abb. 4.15).

Abb. 4.14 Städtebaulich schwer integrierbare Hochbahnsteige (Hannover). (*)

Abb. 4.15 Einstiegshilfe an einer Haltestelle bei Niederflurtechnik (Wien). (*)

Radverkehr

Nutzungsansprüche des Radverkehrs resultieren aus der Bedeutung und der Lage der Straße innerhalb des gesamtgemeindlichen Netzes von Wegebeziehungen für den Radverkehr. Die Ausprägung der Nutzungsansprüche wird vorrangig bestimmt durch die Verbindungsbedeutung, Sicherheitsaspekte und den angestrebten Fahrkomfort.

Differenziert man die Bedeutung einer Straße nach ihrer Verbindungs- bzw. Erschließungsfunktion für den Radverkehr, lassen sich zwei Teilkollektive von Radfahrern mit unterschiedlichem Fahrverhalten unterscheiden: durchfahrende, schnelle Radfahrer und seitenraumbezogene, langsame Radfahrer. Die häufig nahe liegende Lösung, die schnellen, routinierten Radfahrer auf der Fahrbahn zu belassen und die langsamen Radfahrer in die Seitenräume zu nehmen, scheitert auch nach der jüngsten StVO-Novelle an der Benutzungspflicht von ausgeschilderten Radwegen. Diese kann nur durch Hilfskonstruktionen überwunden werden (z.B. ausgewiesene Gehwege (Zeichen 241 StVO) zur Benutzung durch Radverkehr freigeben). Bei der Quantifizierung des Raumbedarfs für den Radverkehr ist zu beachten, dass auch bei beidseitigen Radverkehrsanlagen mit Radverkehr in Richtung und Gegenrichtung gerechnet werden muss.

Fußgängerverkehr und soziale Ansprüche

Fußgängerverkehr und soziale Ansprüche sind in Straßenräumen nur schwer gegeneinander abgrenzbar, weil diese Nutzungen oft ineinander übergehen und sich in der Raumnutzung überdecken können. Maßgebend für den Entwurf und die Gestaltung von Straßenräumen sind daher nicht so sehr linear durchlaufende Verkehrsräume konstanter Breite, sondern in ihren Abmessungen wechselnde, flexibel nutzbare Räume, die die notwendigen Verkehrsräume des Fußgängerverkehrs sowie die öffentlichen Aufenthalts- und Spielflächen enthalten, abschnittsweise aber auch die halböffentlichen Übergangsbereiche zwischen Straße und Bebauung (Hauseingangsbereiche, Nischen, hausnahe Ruhezonen) oder private Flächen einbeziehen können (Abb. 4.16).

Abb. 4.16 Halböffentlicher Bereich zwischen Straße und Bebauung (Osterholz-Scharmbeck). (*)

Die Ausprägung der Nutzungsansprüche variiert stark in Abhängigkeit von der Randbebauung, der Umfeldnutzung, der Lage und Bedeutung der Straße innerhalb des Wegenetzes für Fußgängerverkehr. Aber auch Tageszeit, Witterungsverhältnisse, Helligkeit und eine Vielzahl quantitativer Größen haben Einfluss auf die Ausprägung der Nutzungsansprüche.

Ein besonderer Nutzungsanspruch des Fußgängerverkehrs ist der Überquerungsbedarf (Abb. 4.17). Insbesondere in Straßenräumen mit intensiver Nutzungsmischung (z.B. Geschäftsstraßen) sind in überschaubaren Abständen geeignete Anlagen für den Fußgängerquerverkehr einzurichten.

Abb. 4.17 Überquerungsbedarf an einer Geschäftsstraße (Lyon). (*)

Grundmaße für die Verkehrsräume des Fußgängerverkehrs lassen sich aus der Grundbreite von 0,80 m und den mindestens erforderlichen Bewegungsspielräumen zusammensetzen (Abb. 4.18). Aus den Grundmaßen für die Verkehrsräume, den Breitenzuschlägen zur Berücksichtigung fester und beweglicher Hindernisse, den Zusatzbreiten für besondere Belange und dem Raumbedarf der im Gehbereich zu verlegenden Leitungen ergibt sich die Gehwegbreite, die bei straßenbegleitenden Gehwegen nach Möglichkeit 2,00 m nicht unterschreiten soll. Vielfach ist jedoch eine deutlich größere Breite zweckmäßig. Geringere Breiten sind vertretbar, wenn bei beengten Verhältnissen andernfalls auf Gehflächen verzichtet werden müsste.

Begrünung

Nutzungsansprüche der Begrünung von Straßenräumen resultieren aus ökologischen und gestalterischen Anforderungen. Hierbei ist zu

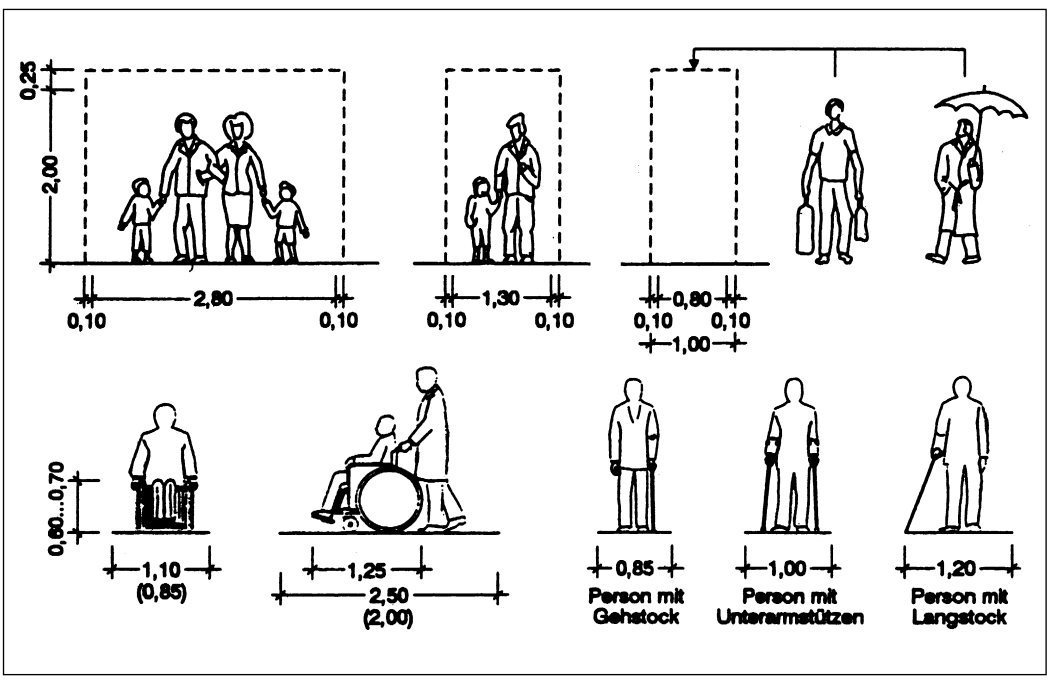


Abb. 4.18 Verkehrsraum für Fußgänger (FGSV, 1985/95)

unterscheiden zwischen großräumigen Gesichtspunkten (Trennung bzw. Zusammenhang stadtökologisch bedeutsamer Systeme und deren gestalterische Verdeutlichung) und kleinräumigen Gesichtspunkten (Anordnung, Erhaltung von Pflanzflächen und Bäumen, Begrenzung der Flächenversiegelung, gestalterische Verdeutlichung von Bereichen unterschiedlicher Funktion).

Grundmaße für den Raumbedarf der Begrünung ergeben sich aus den für günstige Lebensbedingungen erforderlichen unversiegelten Pflanzflächen und den Mindestabständen zwischen Pflanzen und anderen festen ober- und unterirdischen Bestandteilen des Straßenraumes. In bestehenden Straßen lassen sich diese Mindestabstände wegen der vorgegebenen Lage unterschiedlicher Leitungen und der verfügbaren Straßenraumbreite häufig nicht einhalten. In diesen Fällen kann der Abstand zu unterirdischen Leitungen auf 1,00 m verringert werden.

Für Bäume sollen eine wasser- und luftdurchlässige Fläche von mindestens 4,00 m² (besser 9,00 m²) zur Verfügung stehen. Ebenfalls von Bedeutung für die Lebensbedingungen der Bäume ist der Verschattungsgrad des Straßenraumes.

4.1.6 Entwicklung von Handlungskonzepten

Die Entwicklung von Handlungskonzepten erfordert in hohem Maße Kreativität und Einfühlungsvermögen in die spezifische straßenräumliche Situation. Die Vielzahl der Ziele, Nutzungsansprüche und Entwurfsvorgaben der Straßenräume zwingt in der Regel zu Kompromissen, um für alle Nutzungsarten die Mindestanforderungen zu gewährleisten und den spezifischen städtebaulichen und straßenräumlichen Ansprüchen gerecht zu werden.

Grundsätzlich zu fordern ist in allen Fällen die intensive Auseinandersetzung mit den Einsatzmöglichkeiten und -bedingungen der verschiedenen Entwurfselemente, insbesondere auch hinsichtlich ihrer Kombinationsmöglichkeiten und ihrer gestalterischen Einpassung. Unverzichtbar ist während der Entwurfsphase auch eine direkte Auseinandersetzung mit der Örtlichkeit und dem Gesamtraum.

Um die möglichen Auswirkungen unterschiedlicher Schwerpunkt- und Prioritätensetzungen anschaulich zu machen, wird es in der Regel notwendig sein, für einen speziellen Straßenraum mehrere Konzept- bzw. Entwurfsvarianten zu erarbeiten. Als Grundlage für die Bewertung sind die Auswirkungen alternativer Entwurfsmaßnahmen bzw. Handlungskonzepte abzuschätzen.

Eine transparente Dokumentation der mit dem Straßenraumentwurf verfolgten Ziele, Zielerreichung und Anspruchsniveaus bieten insbesondere den politischen Verantwortungsträgern eine Entscheidungsgrundlage. Sie hilft den Betroffenen und den Entscheidungsträgern, die Leitidee und die Ableitung des Entwurfes nachzuvollziehen sowie die notwendigen Entscheidungen zu treffen. Die praktischen Erfahrungen zeigen, dass vielfach eine Abwägung zwischen den Ansprüchen des Kraftfahrzeugverkehrs einerseits und den Ansprüchen des öffentlichen Personennahverkehrs, der nicht motorisierten Verkehrsarten und der nichtverkehrlichen Straßenraumnutzungen andererseits notwendig ist.

4.1.7 Entwurfsprinzipien für Straßen und Wege

Für die bauliche Gestaltung von Straßen und Wegen werden in den Entwurfsempfehlungen EAE (FGSV, 1985/95) und EAHV (FGSV, 1993) drei Entwurfsprinzipien unterschieden (Tabelle 4.2):

– Beim *Trennungsprinzip* wird für den Fahr-

verkehr eine in der Regel durch Borde, Bordrinnen oder Muldenrinnen baulich abgetrennte Fahrbahn geschaffen. Mischnutzung ist in den Seitenräumen möglich.
- Beim *Trennungsprinzip mit Geschwindigkeitsdämpfung* wird zusätzlich versucht, die Fahrgeschwindigkeit durch punktuelle Entwurfs- und Gestaltungsmaßnahmen gezielt zu beeinflussen und die Überquerbarkeit der Fahrbahn zu verbessern.
- Beim *Mischungsprinzip* wird versucht, durch nicht nur punktuelle Entwurfs- und Gestaltungsmaßnahmen auch in den Fahrbahnen/Fahrgassen mehrere Nutzungen möglichst weitgehend miteinander verträglich zu machen.

Bei Hauptverkehrsstraßen und Sammelstraßen ist in der Regel nur das Trennungsprinzip geeignet. Derartig gestaltete Straßen können entweder mit der innerorts üblichen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h (in besonderen Einzelfällen auch mit einer höheren Geschwindigkeit) oder in Abhängigkeit von der örtlichen Situation mit geringerer Geschwindigkeit betrieben werden. Straßen, die nach dem Trennungsprinzip mit Geschwindigkeitsdämpfung entworfen sind, können auch Bestandteile von Tempo-30-Zonen sein.

In Anliegerstraßen und -wegen wird vorrangig das Mischungsprinzip angewendet. Diese Straßen sind in der Regel Bestandteile von Tempo-30-Zonen oder können als Verkehrsberuhigte Bereiche (Zeichen 325/326 StVO) betrieben werden, wenn die hierfür erforderlichen Voraussetzungen vorliegen.

Mit der Wahl des Entwurfsprinzips erfolgt bereits eine gewisse Festlegung auf eine spätere Betriebsweise, da Entwurf und Betrieb grundsätzlich als Einheit zu sehen sind. Viele in der Praxis vorhandene Probleme mit Mischflächen, die mit Zeichen 325/326 StVO beschildert sind, beruhen auf Entwurfsfehlern (z.B. nicht kenntlich gemachte Stellplätze, ungenügende Maßnahmen zur Geschwindigkeitsdämpfung). Während der Entwurfsbearbeitung ist eine frühzeitige Abstimmung mit der die Verkehrszeichen anordnenden Behörde deshalb ratsam.

Tabelle 4.2 Einheit von Entwurf und Betrieb bei der Wahl der Entwurfsprinzipien. (Eigene Darstellung)

Entwurfsprinzip	**Straßentyp**			**Geschwindigkeitsbeschränkung**				
	Hauptverkehrsstraße	Sammelstraße	Anliegerstraße/-weg					
Trennungsprinzip	■	■		■	■	■		
Trennungsprinzip mit Geschwindigkeitsdämpfung	■	■	■			■	■	■
Mischungsprinzip			■				■	■

4.2 Entwurf von Hauptverkehrsstraßen

4.2.1 Grundsätze

Angebaute städtische Hauptverkehrsstraßen sind in der Regel wesentliche Bestandteile gesamtstädtischer Straßennetze und dadurch mehr oder weniger stark mit Kraftfahrzeugverkehr belastet. Sie sind gleichzeitig aber oft auch Hauptgeschäftsstraßen, kulturelles und kommunikatives Stadtteilzentrum mit vielfältigen Nutzungszusammenhängen und Verflechtungen zwischen den Gebieten beidseitig der Straße. Sie sind in der Regel nicht am Rand, sondern eher in der Mitte von Quartieren. Die damit verbundenen Konflikte zwischen Verbindungs-, Erschließungs- und Aufenthaltsfunktion machen diese Straßen besonders problematisch (Haller u. Schnüll., 1984; ILS, 1984).

Die Abwägung von Nutzungsansprüchen führt insbesondere bei stark eingeschränkter Flächenverfügbarkeit zu Kompromissen in der Flächenzuweisung, um für alle Nutzungsarten die Mindestanforderungen zu gewährleisten. Dazu sind im Straßenraum außer den reinen Verkehrsflächen auch ausreichend große Flächen für die nichtverkehrlichen Nutzungsansprüche bereitzustellen. Auch bei wenig eingeschränkter Flächenverfügbarkeit ergeben sich auf Grund der sich überlagernden und miteinander konkurrierenden Ansprüche Konflikte, die die soziale Brauchbarkeit der Straßenräume in Frage stellen.

Hauptziel der Entwurfsmaßnahmen ist in Hauptgeschäftsstraßen die Sicherung einer möglichst weitgehenden Nutzungsverträglichkeit auf begrenzten Flächen. Um dies zu erreichen, muss durch Entwurfs- und Gestaltungsmaßnahmen eine gute städtebauliche Integration angestrebt werden. Städtebauliche Integration bedeutet, auch verkehrlich stark belastete Straßen so zu gestalten, dass der Kraftfahrzeugverkehr unter vorrangiger Beachtung der Ansprüche des ÖPNV langsam, aber stetig fließt, die Straße leicht und sicher überquerbar ist und durch eine entsprechende Flächenaufteilung möglichst viel Platz für Radfahrer und Fußgänger, aber auch für Geschäftsauslagen, Kinderspiel und dergleichen geschaffen wird. Durch eine städtebaulich angemessene Gestaltung soll eine möglichst große Kompensationswirkung erzielt werden. Angebaute Hauptverkehrsstraßen werden in der Regel nicht fahrdynamisch, sondern fahrgeometrisch bemessen. Allerdings wird im Normalfall der Begegnungsfall Lastzug/Lastzug, Bus/Bus – ggf. mit eingeschränkten Bewegungsspielräumen – der Bemessung zu Grunde gelegt.

4.2.2 Entwurfs- und Gestaltungselemente für Hauptverkehrsstraßen

Die für den Entwurf von Hauptverkehrsstraßen maßgebenden „Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen – EAHV“ (FGSV, 1993) enthalten detaillierte Aussagen zu allen Entwurfs- und Gestaltungselementen. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf einige wesentliche Elemente.

Durchgehende Fahrbahnen

Entgegen den Festlegungen früherer Regelwerke enthalten die derzeitigen Entwurfsempfehlungen keine Regelquerschnitte. Dies wird auch bei den in Bearbeitung befindlichen „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“ RASt (FGSV, 2004a) voraussichtlich so bleiben, auch wenn stärker als bisher „typische“ Entwurfssituationen mit unterschiedlich möglichen Querschnitten dargestellt werden. Die praktischen Erfahrungen mit einer Vielzahl unterschiedlicher, gut funktionierender Lösungen zeigt, dass

- zweckmäßige Fahrbahnquerschnitte in der Regel nur aus dem Lageplan und dem Umfeld verständlich werden,
- Fahrbahnquerschnitte häufig aus dem Entwurfsstandard der angrenzenden Knotenpunkte herleitbar sind,
- insbesondere der ruhende und liefernde Verkehr sowie Fußgänger und Radfahrer angepasste Fahrbahnquerschnitte für den Einzelfall erfordern,
- die Funktionen einzelner Querschnittsbestandteile wegen der Abhängigkeit von den Umfeldnutzungen und den zeitlich veränderlichen Nutzungsansprüchen örtlich und zeitlich wechseln können und
- Leistungsfähigkeiten und Qualitäten des Verkehrsablaufes vorrangig von den Knotenpunkten und den örtlich wechselnden „Störungen“ (z.B. durch Ein- und Ausparker) abhängen und nicht vom Fahrbahnquerschnitt.

Als grobe Anhaltswerte für die Leistungsfähigkeit können die in Tabelle 4.3 zusammengestellten Verkehrsstärken gelten.

An zweistreifigen Straßen ist eine Fahrbahnbreite von 6,50 m die Regel. Bei geringem Linienbus- oder Schwerlastverkehr genügt eine Fahrbahnbreite von 6,00 m. Auch mit Zwischenmaßen, z.B. 6,20 m liegen in der Praxis gute Erfahrungen vor. Größere Fahrbahnbreiten als 6,50 m sind in der Regel nur bei dominierendem Schwerlastverkehr – beispielsweise in Industrie- und Gewerbegebieten – zweckmäßig und wenn die Belange der nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer eine untergeordnete Rolle spielen. Ferner ist zu beachten, dass neben schmalen Fahrbahnen liegende Verkehrsräume Regel- statt Mindestbreiten erhalten sollen (z.B. Parkstreifen 2,00 m breit statt 1,75 m).

Zunehmend an Bedeutung gewonnen haben in den letzten Jahren gegliederte zweistreifige Straßen. Diese bestehen aus einer mindestens 4,50 m breiten Fahrgasse mit angrenzenden Fahrbahnseitenstreifen (Ausweichstreifen) von 1,00 bis 1,25 m Breite. Ist der Ausweichstreifen mindestens 1,25 m breit, kann er als Schutzstreifen zur Aufnahme des Radverkehrs dienen. Die Fahrbahnseitenstreifen sind integrale Bestandteile der Fahrbahn, stehen allen Fahrzeugarten zur Verfügung und können bei seltenen Begegnungsfällen zwischen großen Fahrzeugen benutzt werden. Mit der Gliederung können auf einfache Weise Radverkehrsanlagen geschaffen werden.

Fahrbahnen mit Zwischenbreiten vermindern zumindest für überwiegenden Personenkraftwagenverkehr die großen Leistungsfähigkeitsdifferenzen zwischen zwei- und vierstreifigen Fahrbahnen. Sie sollen ständig oder zeitweise eine flexible Nutzung von Fahrbahnteilen ermöglichen und Störungen des fließenden Verkehrs durch Überbreiten verringern. Bewährt haben sich dreistreifige Querschnitte bei denen der mittlere Fahrstreifen abwechselnd als Linksabbiegestreifen oder für Mittelinseln als Überquerungshilfen genutzt wird. Überbreite Fahrbahnen ermöglichen zwar

Tabelle 4.3 Anhaltswerte für abwickelbare Verkehrsstärken [Kfz/h]. (FGSV; 1993)

Fahrbahn	normal	überbreit
Fahrbahn zweistreifig	1.400 bis 2.200	1.800 bis 2.600
Richtungsfahrbahn zweistreifig	1.800 bis 2.600	1.400 bis 2.200*

* einstreifig überbreit

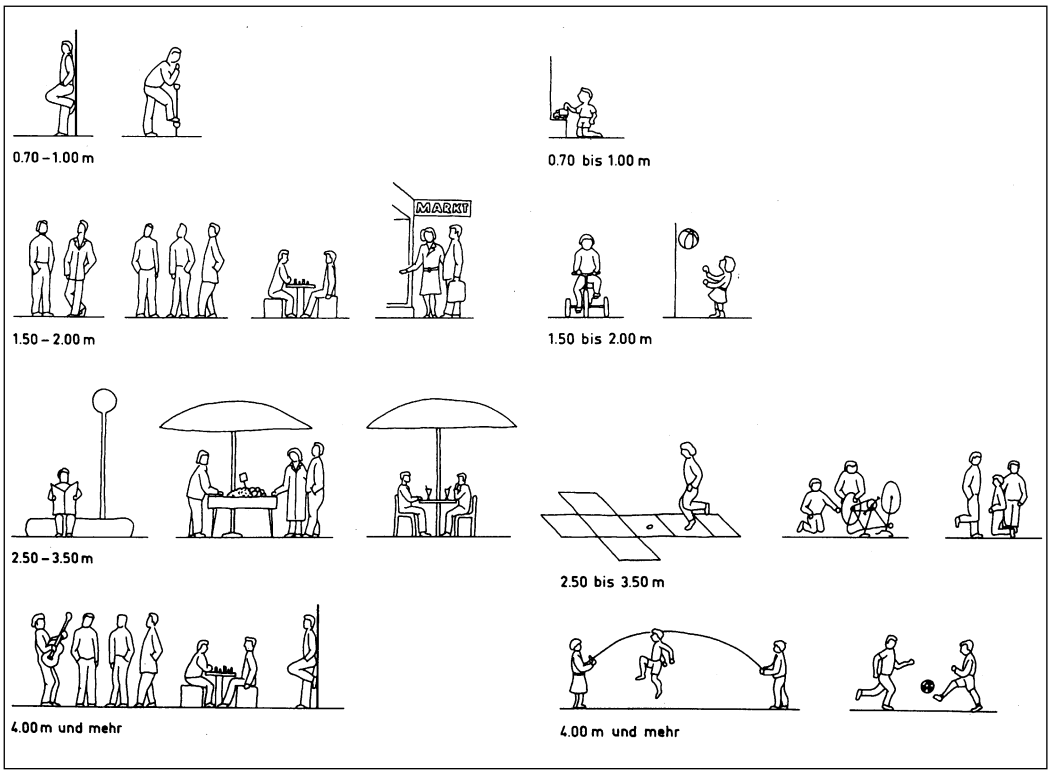


Abb. 4.19 Beispiele für den Flächenbedarf von Aufenthaltsformen im Straßenraum (FGSV, 1985/95)

auch eine flexible Nutzung der Fahrbahnfläche, haben aber oft den Nachteil der überhöhten Fahrgeschwindigkeiten und der schlechten Überquerbarkeit für Fußgänger.

Richtungsfahrbahnen müssen nicht grundsätzlich nach dem Überholfall Lkw/Lkw bzw. Bus/Bus bemessen werden, so dass im Einzelfall Fahrstreifenbreiten von weniger als 2,75 m zur Anwendung kommen können.

Abbiegestreifen und Aufstellbereiche

Linksabbiegestreifen und Aufstellbereiche werden innerhalb bebauter Gebiete vorrangig aus Gründen der Qualität des Verkehrsablaufes und der Leistungsfähigkeit angeordnet. An Knotenpunkten von Hauptverkehrsstraßen mit vier oder mehr Fahrstreifen sowie an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen sind Linksabbiegestreifen in der Regel erforderlich. An Knotenpunkten zweistreifiger Straßen richtet sich der Einsatz der unterschiedlichen Formen zur Führung der Linksabbieger vorrangig nach der Anzahl der Linksabbieger im Verhältnis zur Verkehrsstärke auf der übergeordneten Straße. Es ist zweckmäßiger, kurze Linksabbiegestreifen oder schmale Aufstellbereiche mit geringsten Abmessungen anzulegen, als ganz auf sie zu verzichten.

Prinzipiell sind an Hauptverkehrsstraßen drei Formen der Führung von Linksabbiegern anwendbar (Abb. 4.20). Linksabbiegestreifen und Aufstellbereiche setzen sich an Hauptverkehrsstraßen aus der Verziehungsstrecke L_Z und der Aufstellstrecke L_A zusammen. Die Länge der Verziehungstrecke L_Z ergibt sich aus dem notwendigen Verbreiterungsmaß i und der Entwurfsgeschwindigkeit V_e nach der Formel $L_Z = V_e \times \sqrt{i/3}$. Bei beengten Verhält-

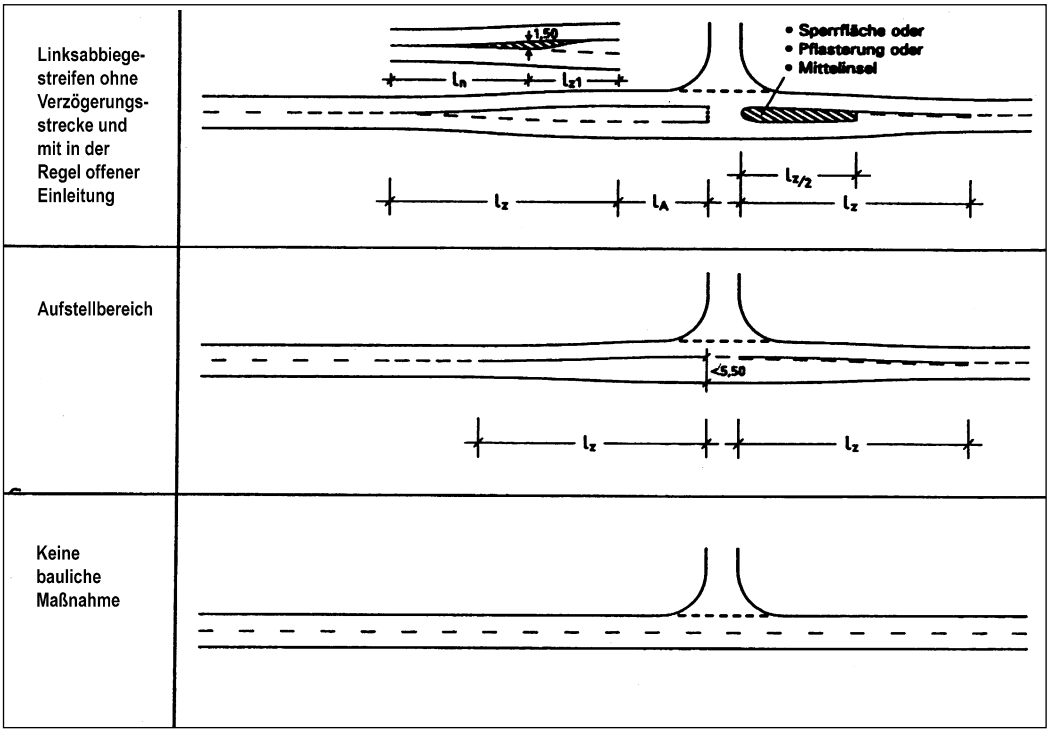


Abb. 4.20 Formen zur Führung von Linksabbiegern (FGSV, 1993)

nissen und aus Gründen der Geschwindigkeitsdämpfung können auch kürzere Verziehungsstrecken (≥ 20 m) wünschenswert und zweckmäßig sein. Eine Aufstellstrecke L_A von 20 m reicht in der Regel an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage aus. Aus gestalterischen Gründen ist der mehrfache Wechsel der Fahrbahnbreite für die Einrichtung von Abbiegestreifen und Aufstellbereichen häufig unerwünscht. Fahrbahnquerschnitte mit konstanter Fahrbahnbreite sind städtebaulich oft besser integrierbar und harmonieren mit den städtebaulichen Achsen und Kanten.

Zur Führung von Rechtsabbiegern sind an Hauptverkehrsstraßen Eckausrundungen, die fahrgeometrischen Anforderungen genügen, in den meisten Fällen ausreichend. Dreiecksinseln sollen an Knotenpunkten von zweistreifigen Verkehrsstraßen in der Regel nicht angewendet werden, da die zügige Führung im Widerspruch zur Wartepflicht gegenüber parallel geführten Fußgängern und Radfahrern steht. Bei sehr stark belasteten großflächigen Knotenpunkten von Hauptverkehrsstraßen mit vier oder mehr Fahrstreifen können Dreiecksinseln zur Führung des Fußgängerverkehrs und zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Lichtsignalanlagen jedoch zweckmäßig sein. Auch in diesen Fällen kann sich aus der Abwägung der erforderlichen Leistungsfähigkeit mit Belangen des Radverkehrs und des Umfeldes der Verzicht auf Dreiecksinseln und Rechtsabbiegestreifen ergeben.

Vorgezogene Seitenräume und Einengungen

Vorgezogene Seitenräume und Einengungen dienen vor allem dazu,

- Hauptrichtungen der Wege von Fußgängern und Radfahrern zu verdeutlichen,
- das Überqueren von Fahrbahnen für Fußgänger und Radfahrer zu erleichtern,
- den Sichtkontakt zwischen Kraftfahrern und überquerenden Fußgängern durch die Unterbrechung von Parkstreifen zu verbessern,
- das optische Übergewicht breiter Fahrbahnen in Straßenräumen zu mildern und
- Änderungen der Streckencharakteristik, z.B. an Ortseinfahrten, zu verdeutlichen.

Einengungen sollen etwa 5 bis 10 m lang sein. Sie sollen mindestens 1 m schmaler sein als die angrenzenden Streckenabschnitte. Größere Breitenreduktionen verbessern die Erkennbarkeit. Einengungen müssen durch Borde eingeleitet werden und durch ergänzende vertikale Elemente wie ausreichende Beleuchtung jeder Zeit eindeutig erkennbar sein (Abb. 4.21).

Abb. 4.21 Straßenräumliche Einengung mit vertikalen Elementen. (*)

Einengungen mit einer Fahrbahnbreite mit 4,75 m sind in der Regel nur bei Verkehrsstärken bis etwa 500 Kfz/h und geringen Schwerverkehrsanteilen anwendbar. Sie sollen funktional und gestalterisch begründbar sein und nicht als Schikane wirken.

Inseln

Inseln dienen an Streckenabschnitten und an Knotenpunkten von Hauptverkehrsstraßen generell

- der Führung von Kraftfahrzeugströmen,
- dem Schutz von Fußgängern und Radfahrern,
- der Verbesserung der Überquerbarkeit von Fahrbahnen durch die Teilung von Überquerungslängen und Trennung nach Fahrzeugströmen,
- als Standorte für Verkehrseinrichtungen,
- der Aufnahme von Bäumen und
- bei Ausstattung mit Bäumen auch der räumlichen Gliederung von Straßenräumen sowie der Verdeutlichung einer besonderen Situation (z. B. an Ortseinfahrten).

Mittelinseln können als Überquerungshilfen in kurzen Abständen eingesetzt werden. Dadurch kann auch bei großen Verkehrsstärken die Überquerbarkeit der Fahrbahn sichergestellt werden. In überfahrbare Mittelstreifen und optisch gegliederte Zwischenquerschnitte können zusätzlich Mittelinseln eingebaut werden, um außer der linearen Überquerbarkeit zusätzliche punktuelle Überquerungsstellen zu schaffen oder zu sichern (Abb. 4.22).

Abb. 4.22 Mittelinsel als Überquerungshilfe. (*)

Mittelinseln, die zu einer unsymmetrischen Verschwenkung führen, haben in der Regel eine größere geschwindigkeitsdämpfende Wir-

kung als symmetrisch ausgeführte Verschwenkungen. Allerdings sind unsymmetrische Verschwenkungen häufig aus gestalterischen Gründen nicht zu empfehlen, insbesondere dann, wenn die straßenbegleitende Bebauung und der Fahrbahnverlauf dadurch in Widerspruch zueinander geraten. Zur nachträglichen Unterbringung von Mittelinseln sind auch Sperrflächen gegenüber von Linksabbiegestreifen geeignet.

An Knotenpunkten soll bei nur einem Fahrstreifen je Richtung zumindest in untergeordneten Knotenpunktarmen auf den Einbau von Fahrbahnteilern verzichtet werden, da sonst die Befahrbarkeit des Knotenpunktes für Schwerlastfahrzeuge nur mit erheblichem Flächenaufwand sicherzustellen ist und der Fahrbahnteiler häufig mit dem Verzicht auf Warteflächen für querende Fußgänger an den Rändern erkauft werden muss. Neben Mittelinseln soll eine Fahrbahnbreite von 3,00 bis 3,50 m verbleiben.

Radverkehrsanlagen

Die Wahl der im Einzelfall zweckmäßigen Radverkehrsanlagen wird von einer Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmt. Insbesondere wegen der unbefriedigenden Sicherheitsbilanz von Radwegen an Knotenpunkten und bei schmalen Seitenräumen kann es zweckmäßig sein, an Streckenabschnitten und Knotenpunkten unterschiedliche Radverkehrsanlagen anzuwenden und bei Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn bzw. auf Radfahrstreifen die Freigabe der Seitenräume (Gehwege) für besonders schutzbedürftige und langsame Radfahrer des Erschließungsverkehrs zu erwägen (Zeichen 241 StVO mit Zusatzschild „Radfahrer frei!“) (Angenendt u. Wilken, 1997).

Die Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn kommt bei hohen Nutzungsintensitäten in engen Seitenräumen, geringem Geschwindigkeitsniveau im Kraftfahrzeugverkehr, geringen Verkehrsstärken (bis zu etwa 800 Kfz/h im Querschnitt bzw. in der Richtungsfahrbahn) und geringen Schwerverkehrsanteilen in Betracht. Obwohl die tatsächliche Verkehrssicherheit häufig für die Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn spricht, ist die Akzeptanz bei einem Teil der Radfahrer oft gering, so dass regelwidrig die Seitenräume befahren werden.

Radfahrstreifen kommen in Betracht, wenn

- zu schnellem Kraftfahrzeugverkehr ausreichende Sicherheitsabstände eingehalten oder die Geschwindigkeiten des Kraftfahrzeugverkehrs auf ein radverkehrsverträgliches Niveau gesenkt werden können,
- eine widerrechtliche Mitbenutzung durch ruhenden und liefernden Kraftfahrzeugverkehr unwahrscheinlich ist und
- Radwege in den Seitenräumen bei hohen Nutzungsintensitäten problematisch sind.

Häufig können durch die Verschmälerung von Fahrstreifen sowie durch den Verzicht auf Fahrstreifen bzw. Parkstreifen schnell und kostengünstig vollwertige Radverkehrsanlagen oder Zwischenlösungen bis zum Bau von Radwegen geschaffen werden. Radfahrstreifen haben sich bei Verkehrsstärken bis zu 1.500 Kfz/h an zweistreifigen Straßen bzw. 2.500 Kfz/h an vierstreifigen Straßen bewährt. An Knotenpunkten werden linksabbiegende Radfahrer auf Radfahrstreifen direkt ohne vollen Signalschutz (freies Einordnen und Spurwechseln), direkt mit vollem Signalschutz (Radfahrerschleuse) oder indirekt mit/ohne vollem Lichtsignalschutz (auf Radfahrerfurten) geführt (Hupfer et al., 2000).

Straßenbegleitende Radwege werden empfohlen, wenn

- das Parken und Laden auf der Fahrbahn nicht zu vermeiden ist,
- in Parkstreifen häufig ein- und ausgeparkt wird,
- die Seitenraumbreiten oder die Nutzungsintensitäten Konflikte zwischen Radfahrern

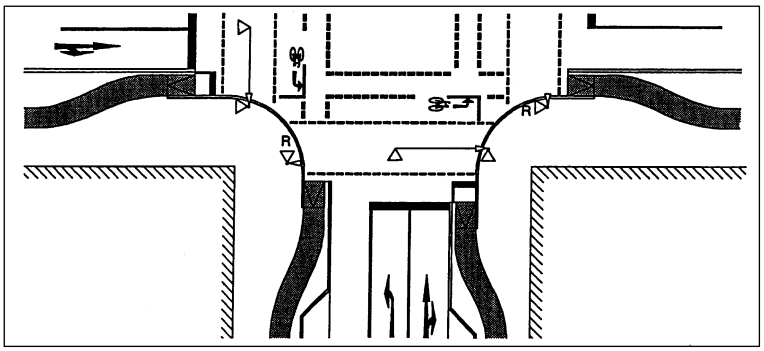


Abb. 4.23 Radverkehrsführung mit Heranführung der Radwege an den Fahrbahnrand und Absenkung auf Fahrbahnniveau (FGSV, 1995b)

und Fußgängern im Längs- und Querverkehr nicht erwarten lassen,
- der Anteil ungeübter Radfahrer groß ist und das Freihalten der erforderlichen Sichtfelder an Knotenpunkten und Grundstückszufahrten vom ruhenden Kraftfahrzeugverkehr zu gewährleisten ist.

Nachteilig ist die insgesamt unbefriedigende Sicherheitsbilanz von unattraktiven Radwegen, die nachträglich in den Gehbereichen abmarkiert werden, und von Radwegeführungen an Knotenpunkten. Zur Ausschaltung dieser Nachteile ist es günstig, Radwege etwa 10 bis 20 m vor der einmündenden Straße an den Fahrbahnrand heranzuführen und auf Fahrbahnhöhe abzusenken (Abb. 4.23).

Fußgängerverkehrs- und Aufenthaltsflächen

Die Seitenräume städtisch geprägter Straßenräume weisen häufig voneinander getrennte Raumteile wie Gehwege, Verweilflächen, Wirtschaftsflächen, Radwege auf (Abb. 4.24). Demgegenüber vermischen sich die Nutzungen in den Seitenräumen dörflich geprägter Straßenräume (Abb. 4.25). Oberflächengestaltung und Materialwahl für die Seitenräume sind von den jeweiligen Funktionen und Nutzungsbedingungen und aus der stadtgestalterischen Einordnung der Flächen abzuleiten. Die verwendeten Materialen sollen die beabsichtigten Funktionsbereiche verdeutlichen.

Straßenbegleitende Gehwege sind in der Regel an allen Hauptverkehrsstraßen erforderlich. Sie sollen nicht schmaler als 2,00 m sein. Vielfach ist aber eine deutlich größere Breite zweckmäßig. In Bereichen mit intensiven Umfeldnutzungen (z.B. Geschäfts- und Wohnnutzungen in Stadtkerngebieten) ist für Gehwege

Abb. 4.24 Städtischer Straßenraum. (*)

Abb. 4.25 Dörflicher Straßenraum. (*)

entlang der Hauptverkehrsstraßen eine durchlaufende Mindestbreite von 3,00 m anzustreben (Alrutz u. Bohle, 1999). Die über die erforderlichen Gehstreifen oder Gehbereiche hinausgehenden Aufweitungen und Vorflächen sollen nach Möglichkeit unabhängig von den Eigentumsgrenzen in integrierte Seitenraumgestaltungen einbezogen werden.

Furten und Überwege an Fahrbahnen sind gesicherte Überquerungshilfen für gebündelten Fußgängerlängsverkehr. Sie werden angewendet, wenn auf Grund der Stärke des Kraftfahrzeugverkehrs ungesicherte Überquerungshilfen nicht mehr ausreichen oder wenn bei linienhaftem Überquerungsverhalten für schwache Verkehrsteilnehmer (Kinder, alte Menschen) zusätzlich gesicherte Überquerungsstellen zweckmäßig sind (z.B. an Haltestellen oder im Zuge von Schulwegen). Diese Anlagen sind jedoch nicht in der Lage, die Fußgängerüberquerungen generell auf wenige Überquerungsstellen zu bündeln. Abbildung 4.26 zeigt die Einsatzgrenzen für Fußgängerüberwege, Fußgängerfurten und andere Überquerungshilfen.

Nach wie vor umstritten sind Fußgängerüberwege (Zebrastreifen). Nach neueren Untersuchungen (Mennicken, 1999) kann davon ausgegangen werden, dass sich die Konflikte zwischen Fußgängern und Kraftfahrern deutlich verringern, wenn Fußgängerüberwege häufig und systematisch eingesetzt werden und sie damit zu den ortsüblichen Entwurfselementen gehören. Dies ist derzeit in Deutschland überwiegend nicht der Fall. Dadurch sind Konflikte und Unfälle an Fußgängerüberwegen zwischen überquerenden Fußgängern und Kraftfahrzeugen auch bei Einhaltung der Einsatzbereiche nach Abbildung 4.26 trotz der rechtlich eindeutigen Vorrangregelungen nicht zuverlässig zu vermeiden. Die Sicherheit kann verbessert werden, wenn Fußgängerüberwege durch vertikal wirkende Entwurfselemente (Mittelinseln, Einengungen,

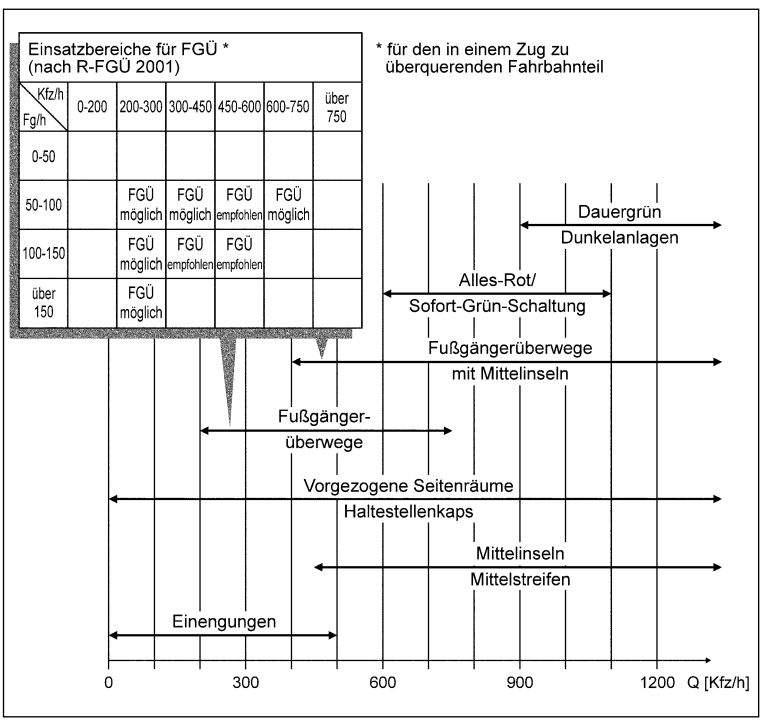


Abb. 4.26 Einsatzgrenzen für Fußgängerüberwege und andere Überquerungshilfen (BMVBW, 2001)

vorgezogene Seitenräume, Bäume, Leuchten und dergleichen) auch bei starkem Kraftfahrzeugverkehr gut erkennbar sind. Die Kombination von Fußgängerüberwegen mit Mittelinseln ist auch bei großen Verkehrsstärken als besonders günstig einzuschätzen.

Furten mit Lichtsignalanlage sind die sichersten Überquerungsstellen für Fußgänger und Radfahrer. Nachteilig sind die steuerungsbedingten Erhöhungen der Wartezeiten für Fußgänger im Vergleich zu anderen Überquerungshilfen und die dadurch entstehende Missachtung des Rotlichtes.

Eckausrundungen

An Knotenpunkten werden die Fahrbahnränder mit Eckausrundungen verbunden. Für die Bemessung der Eckausrundung ist zu beachten, dass das situationsabhängig gewählte Bemessungsfahrzeug die Eckausrundung zügig befahren kann. Das größte nach der StVZO zulässige Fahrzeug muss den Knotenpunkt zumindest mit geringer Geschwindigkeit und gegebenenfalls unter Benutzung von Gegenfahrstreifen befahren können. Inwieweit die Mitbenutzung von Gegenfahrstreifen beim Ein- und Abbiegen in Kauf genommen werden kann, richtet sich nach der Häufigkeit und dem Maß der Mitbenutzung sowie nach den dadurch verursachten Behinderungen auf der durchgehenden Fahrbahn.

Als Eckausrundung kommen generell der einfache Kreisbogen und die dreiteilige Kreisbogenfolge (Korbbogen) in Betracht. Die dreiteilige Kreisbogenfolge hat insbesondere an Knotenpunkten stark belasteter Hauptverkehrsstraßen Vorteile, da sie der Schleppkurve der Kraftfahrzeuge besser angepasst ist als der Kreisbogen. Ein Vorteil des einfachen Kreisbogens ist dagegen die kürzere Tangentenlänge der Eckausrundung (Abb. 4.27).

Sichtfelder

Knotenpunkte, Gehwegüberfahrten und Überquerungsstellen müssen aus einer Entfernung erkennbar sein, die es den Kraftfahrern gestattet, gegebenenfalls vor ein- und ausbiegenden Kraftfahrzeugen sowie vor überquerenden Radfahrern und Fußgängern anzuhalten. Zusätzlich müssen an diesen Stellen aus Gründen der Verkehrssicherheit für wartepflichtige Kraftfahrer, Radfahrer und Fußgänger Mindestsichtfelder zwischen 0,80 m und 2,50 m Höhe von ständigen Sichthindernissen, par-

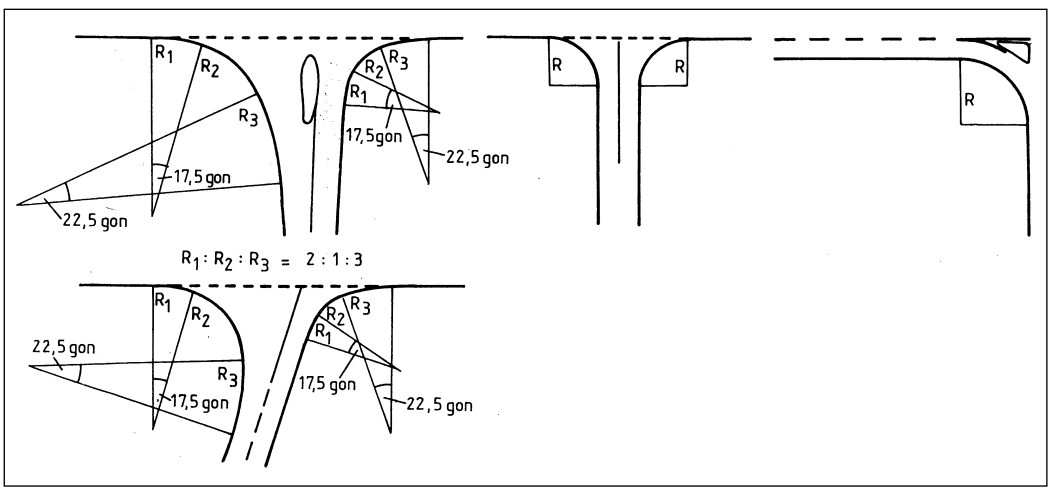


Abb. 4.27 Eckausrundungen an Knotenpunkten (FGSV, 1993)

kenden Fahrzeugen und sichtbehinderndem Bewuchs freigehalten werden. Bäume, Lichtmasten, Signalgeber und ähnliches sind innerhalb der Sichtfelder möglich.

Die Größe der Sichtfelder richtet sich nach der im Annäherungsbereich des Gefahrenpunktes gefahrenen Geschwindigkeit V_{85}. Nachzuweisen sind an Hauptverkehrsstraßen Sichtfelder für die Haltesicht, die Anfahrsicht sowie Sichtfelder für Fußgänger und Radfahrer. Für die Sicherheit des Radlängsverkehrs sind darüber hinaus gute Sichtbeziehungen zwischen rechts- bzw. linksabbiegenden Kraftfahrern und Radfahrern an Knotenpunkten und Gehwegüberfahrten von Bedeutung.

Die Haltesicht ist eine für die Sicherheit einer Straßenverkehrsanlage notwendige Mindestanforderung. Ein rechtzeitiges Anhalten von Kraftfahrzeugen ist möglich, wenn die in Tabelle 4.4 angegebenen Haltesichtweiten s_h zur Verfügung stehen.

Als Anfahrsicht wird die Sicht bezeichnet, die ein Kraftfahrer haben muss, der mit einem Abstand von 3,00 m vom Fahrbahnrand der übergeordneten Straße wartet, um mit einer zumutbaren Behinderung bevorrechtigter Kraftfahrzeuge aus dem Stand in die übergeordnete Straße einfahren zu können (Abb. 4.28). Dies ist gewährleistet, wenn Sichtfelder freigehalten werden, deren Schenkellänge L in der übergeordneten Straße die in Tabelle 4.5 enthaltenen Werte aufweisen.

Für die Übersichtlichkeit auf Überwegen und Warteflächen von Fußgängern und Radfahrern sind an Überquerungsstellen Sichtfelder mit 1,00 m Schenkellänge senkrecht zur Fahrtrichtung und mit der Haltesichtweite nach Tabelle 4.4 in Fahrtrichtung des Kraftfahrzeugverkehrs sicherzustellen (Abb. 4.29). Bei Überquerungsstellen an Knotenpunkten sind die Sichtfelder für Fußgänger und Radfahrer in der Regel kleiner als sie die Sichtfelder der Anfahrsicht für den Kraftfahrzeugverkehr.

Tabelle 4.4 Erforderliche Haltesichtweite s_h [m] (FGSV, 1993)

V [km/h]	30	40	50	60	70
s_h [m]	15	25	40	60*	80*

* bei Straßenlängsneigung von 0 %

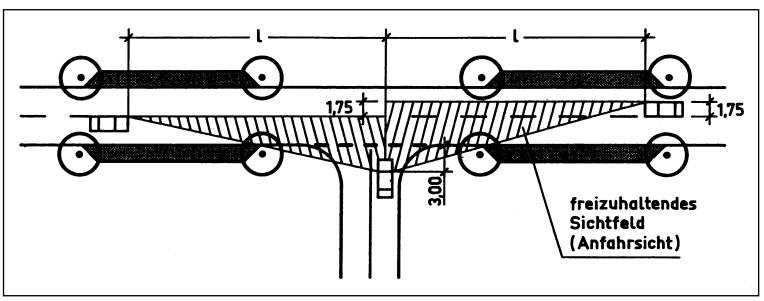


Abb. 4.28 Anfahrsicht an Knotenpunkten (FGSV, 1993)

Tabelle 4.5 Schenkellänge L [m] der Sichtfelder für die Anfahrsicht (FGSV, 1993)

Kategorie-gruppe	Geschwindigkeit V_{85} bzw. V_{zul} [km/h]				
	70	60	50	40	30
B	110	85	70	-	-
C	-	-	70	50	30

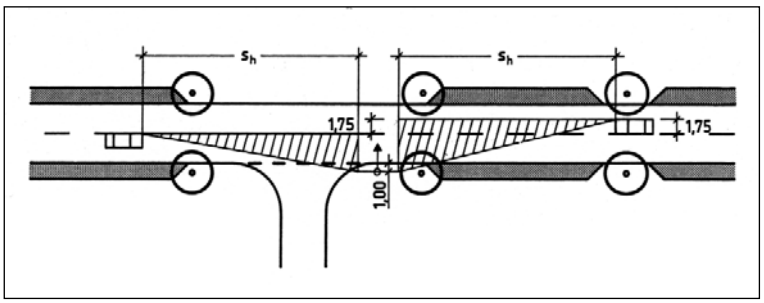


Abb. 4.29 Sichtfelder an Überquerungsstellen (FGSV, 1993)

4.2.3 Typische Entwurfssituationen – Beispiele

Dörfliche Ortsdurchfahrten

Dörfliche Ortsdurchfahrten sind gekennzeichnet durch eine landwirtschaftlich geprägte Bau- und Siedlungsstruktur. Sie führen in der Regel durch den örtlichen Kernbereich, wodurch sich Nutzungskonflikte mit der verkehrlichen Funktion der klassifizierten Straße ergeben. Die straßenräumliche Gliederung in ablesbare Teilabschnitte und die wirksame Dämpfung der Geschwindigkeiten im Kraftfahrzeugverkehr sind wichtige Entwurfsziele.

Beispiel: Gemeinde Marklohe (L351) Niedersachsen

Ziel war es, unter Erhalt der verkehrlichen Funktionsfähigkeit der mit ca. 6.000 Kfz/24 h belasteten Landesstraße die Verkehrssicherheit für Fußgänger und Radfahrer zu verbessern, die Oberflächenentwässerung neu zu ordnen sowie die Aufenthaltsqualität im Straßenraum zu erhöhen.

Entsprechend dem dörflichen Charakter wurde der etwa 1 km lange Streckenabschnitt nach dem „weichen" Trennungsprinzip mit halbhohen Borden (6 cm) bzw. Muldenrinnen umgestaltet (Abb. 4.30, 4.31). Im Hinblick auf die relativ seltenen Busbegegnungsfälle, den zeitweise aber höheren Anteil an landwirtschaftlichem Verkehr wurde eine Fahrbahnbreite von 6,20 m gewählt. Im zentralen, kurvigen Bereich ergeben sich punktuell Engstellen. Alle Bushaltestellen sind barrierefrei ausgebildet, im Ortskern halten die Busse auf der Fahrbahn.

Die relativ geringe Verkehrsstärke hätte prinzipiell eine Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn erlaubt, ergänzt durch die Freigabe der Seitenräume für Radfahrer; wegen der bereichsweise kurvigen Straßenführung und der bewegten Topografie wurde aus Gründen der Verkehrssicherheit jedoch die Anlage

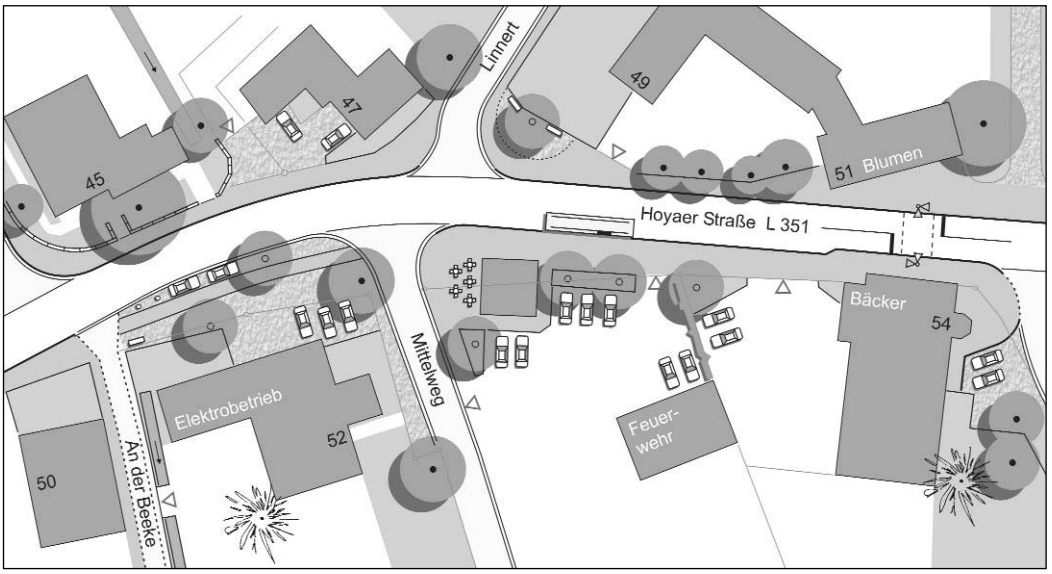


Abb. 4.30 Dörfliche Ortsdurchfahrt mit straßenräumlicher Einengung für etwa 6.000 Kfz/24 h (Lageplan). (Eigene Darstellung)

Abb. 4.31 Ortsdurchfahrt Marklohe nach der Umgestaltung. (*)

beidseitiger, gemeinsamer Rad- und Gehwege favorisiert. Am Übergang zum abschnittweise einseitig geführten gemeinsamen Rad- und Gehweg sowie an der Ortseinfahrt sind Mittelinseln als Überquerungshilfen bzw. zur Geschwindigkeitsdämpfung angeordnet. Im Ortskern wurde – auch zur Schulwegsicherung – eine bedarfsgesteuerte Fußgängerfurt angelegt.

Halbhohe Rundborde erlauben den weitgehenden Verzicht auf Bordabsenkungen an Grundstückszufahrten. In aufgeweiteten Straßenraumbereichen wurden keine „klassischen" Parkbuchten angelegt, sondern entsprechend der dörflichen Situation multifunktional nutzbare, durch eine Muldenrinne zur Fahrbahn begrenzte Flächen mit Natursteinpflaster, Schotterrasen oder wassergebundener Oberfläche ausgebildet, in die der mit Klinkerpflaster befestigte Rad- und Gehweg integriert ist. Punktuelle Baumpflanzungen unterstützen die ortstypische Gestaltung.

Städtische Hauptgeschäftsstraßen

Städtische Hauptgeschäftsstraßen sind in der Regel die zentralen Stadträume mit vielfältigen geschäftlichen und kulturellen Funktionen. Die verkehrliche Funktion kann sehr unterschiedlich sein: Sie reicht vom Fußgängerbereich über eine dem ÖPNV vorbehaltenen Straße bis zur Hauptverkehrsstraße. Charakteristisch sind aber immer die hohen Nutzungs-

ansprüche im Fußgänger- und Radverkehr, die sich aus dem Geschäftsbesatz ergeben. In Stadtteilzentren werden Parkmöglichkeiten im Straßenraum häufig als Voraussetzung für den geschäftlichen Erfolg betrachtet und sind deshalb in der Praxis die am meisten diskutierte Entwurfsfrage.

Beispiel: Pappelstraße in Bremen

Die Pappelstraße ist die zentrale Geschäftsstraße des Stadtteils Bremen-Neustadt mit wichtiger örtlicher Erschließungs- und Aufenthaltsfunktion. Zwei- bis viergeschossige, geschlossene Bebauung begrenzt den nur ca. 17 m breiten Straßenraum. Durch die Umgestaltung sollte das Nebenzentrum attraktiviert und, unter Abwägung der Interessen des örtlichen Einzelhandels, eine Reduzierung des gebietsfremden Durchgangsverkehrs und der Verkehrsbelastung von bis zu 8.000 Kfz/24 h erreicht werden.

Die Straße wurde nach dem „weichen" Trennungsprinzip mit niedrigen Borden (ca. 4 cm) umgestaltet (Abb. 4.32, 4.33). Die Fahrbahn ist im Hinblick auf die häufigen Busbegegnungsfälle 6,50 m breit. Die Bushaltestellen wurden barrierefrei als Buskaps ausgebildet. Der Radverkehr wird auf der Fahrbahn geführt. Eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h dient der Verkehrssicherheit und unterstützt die Aufenthaltsfunktion des Straßenraumes. Durch eine Bewirtschaftung der Parkstände konnte die Situation im ruhenden Kraftfahrzeugverkehr und im Lieferverkehr trotz einer Reduzierung der Stellplatzanzahl verbessert werden.

Wegen des engen Straßenraumes war nur eine einseitige Baumreihe möglich. Daraus ergab sich – in Anlehnung an die historische Situation – ein asymmetrischer Querschnitt, der am zentralen Marktplatzbereich verspringt und den Straßenzug in zwei Teilbereiche gliedert. Eine einheitliche, fußgängerfreundliche Gestaltung wird durch die niedrigen Borde und die niveaugleich im Seitenraum angeordneten Parkstände erreicht, die bei Nichtbelegung durch Kraftfahrzeuge von Fußgängern genutzt werden können oder – auch zeitweise – als Freisitzbereiche von gastronomischen Einrichtungen dienen. Ein attraktives Erscheinungsbild entsteht durch die einheitliche Materialwahl mit einem hohen Anteil an Natursteinkleinpflaster, das für die Parkstände, die Rinnen und die Bänderung des Betonsteinplattenbelages verwendet wurde.

Abb. 4.32 Städtische Hauptgeschäftstraße mit Verkehrsfunktion (8.000 Kfz/24 h). (*)

Abb. 4.33 Niveaugleich im Seitenraum angeordnete Parkstände. (*)

Hauptverkehrsstraßen mit Straßenbahn

Der Führung von Straßenbahnlinien im Zuge von Hauptverkehrsstraßen ist in starkem Maße entwurfsprägend, da die verkehrliche Zielset-

zung der Beschleunigung des ÖPNV hohe entwurfstechnische und betriebliche Anforderungen stellt. In der planerischen Abwägung spielt in der Regel die Führung der Straßenbahn auf einem besonderen Bahnkörper oder straßenbündig gemeinsam mit dem Kraftfahrzeugverkehr eine zentrale Rolle. Die Ausgestaltung der Haltestellen ist maßgeblich von der fahrzeugbedingten Einstiegshöhe abhängig. Vorteilhaft für die städtebauliche Integration sind niedrige Einstiegshöhen und Bahnkörper, die möglichst wenig trennend wirken. Die konkurrierenden Nutzungsansprüche, wie die Überquerbarkeit der Straße für Fußgänger und Radfahrer oder der Flächenanspruch des ruhenden Verkehrs, können dann besser berücksichtigt werden.

Beispiel: Königsbrücker Straße in Dresden

Die Königsbrücker Straße in Dresden ist eine radiale, gründerzeitliche Hauptverkehrs- und Hauptgeschäftsstraße mit Straßenbahn (zwei Linien, jeweils 10-Minuten-Takt) im Norden der Dresdner Neustadt. Sie ist mit 23.000 bis 30.000 Kfz/24 h verkehrlich stark belastet. Örtliche und überörtliche Nutzungsansprüche konkurrieren um den knappen Straßenraum. Die aus gesamtstädtischer Sicht bedeutende verkehrliche Verbindungsfunktion muss mit den Funktionen eines Stadtteilzentrums in Einklang gebracht werden.

Da die Verkehrsstärken einerseits deutlich über der Leistungsfähigkeit einer zweistreifigen Straße liegen, andererseits der Leistungsfähigkeitssprung zu einer vierstreifigen Straße erheblich ist, sieht das Entwurfs- und Gestaltungskonzept in ausreichend breiten Streckenabschnitten einen besonderen Bahnkörper (6,50 m) sowie jeweils überbreite einstreifige Richtungsfahrbahnen (5,50 m) vor, die 4-streifigen Pkw-Verkehr, das Überholen von Lkw durch Pkw bzw. das Vorbeifahren von Lkw an haltenden Lieferwagen ermöglichen (Abb. 4.34). Im zentralen Geschäftsbereich ist die Anlage eines besonderen Bahnkörpers auf Grund der eingeschränkten Flächenverfügbarkeit unter Abwägung aller Nutzungsansprüche jedoch nicht angemessen. Hier soll ein 4-streifiger Fahrbahnquerschnitt mit straßenbündigem Bahnkörper – mit dynamischer Straßenraumfreigabe und Pulkspitzensteuerung für die Straßenbahnen an den angrenzenden Knotenpunkten – realisiert werden. Anstelle von flächenintensiven Inselhaltestellen sind dynamische Haltestellen mit einstreifiger Fahrbahnanhebung und Einstiegsstreifen (0,80 bis 0,90 m) mit Hochbord zwischen dem äußeren und dem inneren Fahrstreifen angeordnet. Die Simulation des Verkehrsablaufes (Programmsystem VISSIM) zeigte, dass die Beschleunigung des ÖPNV erreicht werden kann und sich insgesamt eine wesentliche Verbesserung des Verkehrsablaufes ergeben wird.

Der Radverkehr wird überwiegend auf straßenbegleitenden Radwegen geführt. Obwohl die Einsatzgrenze für Radfahrstreifen nach den derzeitigen „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen ERA 95“ (FGSV, 1995b) bei ca. 25.000 Kfz/24 h (vierstreifige Straßen) liegt, ist bereichsweise – zur Vermeidung von Konflikten mit Fußgängern im intensiv genutzten Seitenraum mit Geschäftsauslagen, Freisitzbereichen und vielen Fußgängern – eine räumliche Trennung des Rad- und Fußgängerverkehrs vorteilhaft.

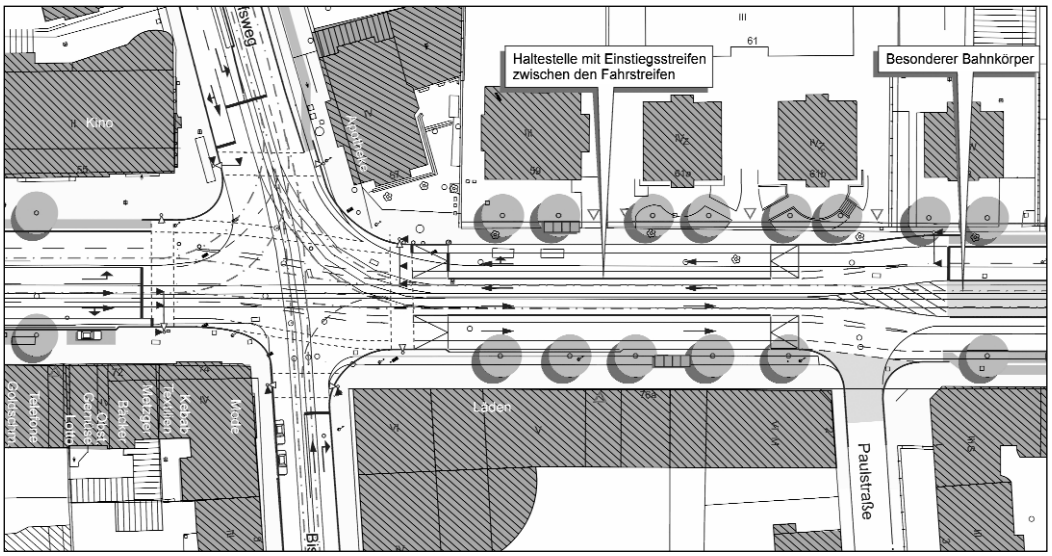


Abb. 4.34 Hauptverkehrsstraße mit teilweise straßenbündiger Führung der Straßenbahn (Königsbrücker Straße in Dresden). (Eigene Darstellung)

4.3 Entwurf von anbaufreien Hauptverkehrsstraßen

4.3.1 Grundsätze

Anbaufrei geführte Hauptverkehrsstraßen innerhalb bebauter Gebiete (Kategoriengruppe B) sind heute in den meisten deutschen Städten unverzichtbare Bestandteile der städtischen Hauptverkehrsstraßennetze. Ein Großteil dieser Straßen ist in der Phase des Wiederaufbaues oder in den siebziger und achtziger Jahren entstanden. Ein Beispiel hierfür ist das Tangentennetz der Stadt Hannover. Aber auch viele Klein- und Mittelstädte verfügen abschnittsweise über anbaufrei geführte Hauptverkehrsstraßen, die häufig die Innenstädte oder andere Stadtquartiere entlasten.

Beim Entwurf dieser Straßen haben Verkehrssicherheit, Leistungsfähigkeit, Leichtigkeit des Verkehrsablaufes und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund gestanden. Das Straßenumfeld, die Straßenraumgestalt und die Auswirkungen auf die unmittelbaren Anwohner solcher Straßen hatten einen vergleichsweise geringen Stellenwert. Anbaufrei geführte Hauptverkehrsstraßen lassen sich insbesondere dann schlecht integrieren, wenn planfreie oder teilplanfreie Knotenpunkte angewendet werden. Die starke Trennwirkung und die negativen Auswirkungen auf das Stadtbild, bedingt durch das Bauwerk Straße selbst und seine zugehörigen Ausstattungselemente sowie die schlechte Umweltqualität im Nahbereich derartiger Hochleistungsstraßen, sind die wesentlichen Gründe hierfür. In vielen Städten gibt es Bemühungen, teilplanfrei geführte Straßen zumindest abschnittsweise wieder in plangleich geführte Straßen zurück zu wandeln, um die städtebauliche Integration zu verbessern. Beispiele hierfür sind die Konrad-Adenauer-Straße in Stuttgart (Planung) oder der bereits realisierte Umbau des

Ägidientorplatzes in Hannover (Abb. 4.35, 4.36).

Abb. 4.35 Der Ägidientorplatz in Hannover mit Hochstraße vor dem Umbau. (*)

Abb. 4.36 Nach dem Umbau ist der Ägidientorplatz wieder als städtischer Platzraum erlebbar. (*)

Untertunnelungen können abschnittsweise zu einer Verbesserung der Umfeldqualität beitragen, im Bereich der unvermeidlichen Tunnelportale massieren sich jedoch visuelle Brüche im Stadtbild und konzentrierte Emissionen. Auch die enormen Folgekosten von Tunnelstrecken machen dieses Element nur vereinzelt einsetzbar.

Anbaufrei geführte Straßen dienen innerhalb bebauter Gebiete als Stadtautobahnen oder Hauptverkehrsstraßen vorrangig dem Nahverkehr. Die Bündelung von Kraftfahrzeugverkehr zur Entlastung bebauter Gebiete, die Bewältigung großer Verkehrsstärken auf kurzen Entfernungen und die Umfeldqualität haben daher eine größere Bedeutung als hohe Geschwindigkeiten und eine zu allen Tageszeiten gute Qualität des Verkehrsablaufes (Durth et al., 1989).

Im Gegensatz zu angebauten Hauptverkehrsstraßen können anbaufreie Hauptverkehrsstraßen fahrdynamisch bemessen werden. Größere Entwurfsgeschwindigkeiten als 80 km/h sollen innerhalb bebauter Gebiete auch dann nicht gewählt werden, wenn auf Grund des Umfeldes ein höherer Ausbaustandard möglich wäre. In der Regel verbessert eine Entwurfsgeschwindigkeit von 60 km/h die Möglichkeiten zur städtebaulichen Integration. Aus Gründen des Immissionsschutzes ist eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf 60 km/h, in Ausnahmefällen bis 80 km/h zwingend erforderlich.

Die Möglichkeiten zur sinnvollen Anwendung anbaufrei geführter Hauptverkehrsstraßen sind im Übergangsbereich zu Außerortsstrecken – also in der Regel im Weichbild der Städte – erheblich größer als in dichter besiedelten Räumen, da im Übergangsbereich häufig großmaßstäbliche Bebauung vorherrscht und durch die disperse Bebauungsstruktur funktionale Beziehungen, die durch die Straße gestört werden könnten, selten ausgeprägt sind.

Fahrbahnen

Anbaufrei geführte Hauptverkehrsstraßen können zweistreifig oder vier- und mehrstreifig ausgebildet werden, wobei die Trennwirkung der Straße mit zunehmender Fahrstreifenanzahl ebenfalls ansteigt. Bei vier- und mehrstreifigen Straßen sollte auf einen Mittelstreifen nicht verzichtet werden, da die Trennung der Fahrtrichtungen einen erheblichen Sicherheitsgewinn bewirkt, der Mittelstreifen zur Aufnahme von Begrünung dienen kann

und die Überquerbarkeit in Verbindung mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung verbessert werden kann.

Knotenpunkte

Die Charakteristik anbaufrei geführter Hauptverkehrsstraßen wird innerhalb bebauter Gebiete maßgebend durch die Knotenpunkte geprägt. Deshalb kommt der Auswahl der Knotenpunktsysteme besondere Bedeutung zu. Grundsätzlich sind folgende Knotenpunkte möglich:

- *Planfreie Knotenpunkte:* Die „klassische" Stadtautobahn hat – in der Regel ausschließlich – planfreie Knotenpunkte. Die Knotenpunkte werden nach den RAL-K-2-B (FGSV, 1995a) entworfen und bemessen. Damit wird den gegenüber Autobahnen unterschiedlichen Entwurfs- und Betriebsmerkmalen von Straßen der Kategoriengruppe B und den deutlich geringeren Fahrgeschwindigkeiten Rechnung getragen. Dies gilt für die Längen von Ein- und Ausfädelungsspuren (150 m statt 250 m), den Einsatz von Verflechtungsspuren, für Radien von Rampen und für Ausstattungselemente wie die Wegweisung.
- *Plangleiche Knotenpunkte:* Die in bebaute Bereiche am besten integrierbare Hochleistungsstraße weist plangleiche Knotenpunkte auf. Die Knotenpunkte sind in der Regel signalisiert. Bewährt haben sich auch signalisierte Kreisverkehre (Schnüll u. Goltermann, 2000).
- *Planfreie und plangleiche Knotenpunkte gemischt:* Infolge der großen Entwicklungslängen planfreier Knotenpunkte ist die häufig erwünschte dichte Knotenpunktfolge bei ausschließlich planfreien Knotenpunkten entweder gar nicht oder nur mit großem Aufwand möglich. Auch das nachträgliche Einfügen von Knotenpunkten ist häufig nur dann möglich, wenn zwischen planfreie Knotenpunkte ein plangleicher Knotenpunkt eingerichtet werden kann. Damit kann der unterschiedlichen Sensibilität der Umfelder und den unterschiedlichen verkehrlichen Anforderungen flexibel begegnet werden. Die Praxis zeigt, dass sich solche Lösungen bewähren und gerade auf innerörtlichen Hochleistungsstraßen eine durchgehend einheitliche Strecken- und Knotenpunktcharakteristik nicht erforderlich ist, wenn als flankierende Maßnahmen Geschwindigkeitsbeschränkungen angeordnet werden.

4.4 Entwurf von Erschließungsstraßen und -wegen

4.4.1 Grundsätze

Erschließungsstraßen und -wege sind im Gegensatz zu Hauptverkehrsstraßen in der Regel weniger stark mit Kraftfahrzeugverkehr belas-tet und haben keine verkehrlichen Verbindungsfunktion. Die Bemessung erfolgt grundsätzlich unter Verzicht auf fahrdynamische Gesichtspunkte. Verkehrsberuhigende Elemente sind in Erschließungsstraßen und -wegen – abgesehen von Straßen in Industrie- und Gewerbegebieten – die Regel. Die Straßen und Wege sind überwiegend Bestandteile von Tempo-30-Zonen oder Verkehrsberuhigten Bereichen (Zeichen 325/326 StVO). Auf separate Radverkehrsanlagen kann in der Regel verzichtet werden.

Noch stärker als beim Entwurf von Hauptverkehrsstraßen sind bei der Gestaltung von Erschließungsstraßen und -wegen der Gebietstyp und das straßenräumliche Umfeld entwurfsprägend. In der Praxis hat sich die in den derzeit gültigen EAE 85/95 (FGSV, 1985/95) vorgenommene Einteilung in die Gebietstypen

– Stadtkerngebiete
– stadtkernnahe Altbaugebiete
– Wohngebiete in Orts- und Stadtrandlage
– Industrie- und Gewerbegebiete
– dörfliche Gebiete
– Freizeitwohngebiete

hat sich bewährt, auch wenn Unterschiede, wie beispielsweise die Stadtgröße, darin nicht den ihnen gebührenden Niederschlag finden. Immerhin wird damit dokumentiert, dass bei Entwurf von Erschließungsstraßen und -wegen Merkmale beachtet werden müssen, die sich aus der Entstehungszeit, der Lage im Stadtgebiet und der städtebaulichen Nutzungsstruktur ergeben.

Neben der Beachtung allgemeiner verkehrlicher, städtebaulicher und wirtschaftlicher Ziele stellen auch bei Erschließungsstraßen und -wegen die Nutzungsansprüche an die Straßenräume die wesentliche Entwurfsgrundlage dar. Da auch hier die Nutzungsansprüche nicht immer voll befriedigt werden können, bedarf es der Abwägung und des Ausgleichs von Nutzungsansprüchen. Als Ergebnis ist immer ein Wohnumfeld zu schaffen, das ein Höchstmaß an individueller Attraktivität bietet.

4.4.2 Entwurfs- und Gestaltungselemente für Erschließungsstraßen und -wege

Die EAE 85/95 (FGSV, 1985/95) enthalten detaillierte Aussagen zu allen Entwurfselementen. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf einige wesentliche und für Erschließungsstraßen typische Entwurfselemente in ausgewählten Gebietstypen.

In *stadtkernnahen Altbaugebieten* ist eine ausgeprägte Straßennetzhierarchie häufig nicht vorhanden. Anliegerstraßen sind „normale“ Stadtstraßen mit Wohnfunktion und können verkehrlich sehr unterschiedlich sein. Die EAE 85/95 enthalten daher mehrere Varianten für Anliegerstraßen, mit denen unter Beachtung der oft gravierenden Nutzungskonkurrenzen spezielle örtliche Gegebenheiten und unterschiedliche Verkehrsverhältnisse berücksichtigt werden können.

In die Überlegungen eines im Einzelfall zweckmäßigen Straßen- und Wegetyps und zur Gestaltung des Straßenraumes ist die Nutzungs- und Freiflächensituation auf den angrenzenden Grundstücken einzubeziehen. Insbesondere ist zu klären, welche Freiflächenangebote in den Innenhöfen geschaffen oder erhalten werden können und welche Möglichkeiten zur Unterbringung der Stellplätze der Anwohner außerhalb des Straßenraumes (Sammelstellplätze, Innenhöfe, Wohnparkhäuser) bestehen. Die befriedigende Beantwortung der Parkraumnachfrage ist in stadtkernnahen Altbaugebieten von zentraler Bedeutung. Die Unterbringung des ruhenden Verkehrs im Straßenraum kann angesichts der konkurrierenden Anforderungen nicht die Lösung sein. Langfristig werden flächensparende, mechanische Wohnparkhäuser einen wesentlichen Beitrag zur Lösung der Parkraumprobleme leisten müssen.

Impulse zur Attraktivierung des Wohnumfeldes sind auch von Stadtplatzprogrammen zu erwarten, bei denen Teile von Straßenräumen dem Verkehr entzogen und gezielt als Freiräume gestaltet werden. Ein erfolgreiches Beispiel hierfür ist das Stadtplatzprogramm der Stadt Hannover (Landeshauptstadt Hannover, 2002) (Abb. 4.37).

In *Wohngebieten in Orts- oder Stadtrandlage* sind zwei wesentliche Aufgabenbereiche zu unterscheiden: Die Planung neuer Baugebiete und der Umbau von Straßen und Wegen in bestehenden Baugebieten, überwiegend der fünfziger und sechziger Jahre. Entsprechend zahlreich sind die für diese Aufgaben anwendbaren Straßen- und Wegetypen.

In *neuen Baugebieten* werden durch die

Abb. 4.37 Neue, attraktive Freiräume in dicht bebauten Quartieren durch das „Stadtplatzprogramm“ in Hannover. (*)

Abb. 4.38 Erschließung neuer Wohngebiete mit Mischflächen. (*)

Straßennetzstruktur bereits Aspekte der flächenhaften Verkehrsberuhigung berücksichtigt. Häufig lassen sich große Bereiche flächenhaft mit Anliegerwegen erschießen, die nach dem Mischungsprinzip entworfen sind (Abb. 4.38). Nachdem Rasternetze bei neuen Baugebieten lange keine große Rolle gespielt haben, erleben diese seit einigen Jahren wieder eine Renaissance. Positive Merkmale sind die Klarheit der dadurch entstehenden Straßenräume, die deutliche Abgrenzung öffentlicher und privater Räume, die hierarchische Neutralität und die Offenheit gegenüber Nutzungsänderungen (Abb. 4.39). Neuere Untersuchungen zeigen, dass unter dem Gesichtspunkt des kosten- und flächensparenden Bauens in der Praxis die Möglichkeiten der EAE 85/95 bei weitem nicht ausgeschöpft werden (Janssen, 2000). In der Regel werden die Erschließungsanlagen eine Hierarchiestufe zu groß ausgebildet und auch bei kleineren Baugebieten wird schnell zum Trennungsprinzip gegriffen, obwohl dies nicht erforderlich ist.

Beim *Umbau von Straßen und Wegen* in bestehenden Baugebieten der fünfziger Jahre und später geht es primär um die Reduzierung der Verkehrsflächen zu Gunsten anderer Nutzungen. Ferner können die Straßenräume durch die Umgestaltung eine höhere Aufenthaltsqualität erreichen. Allerdings ist bei der Umgestaltung darauf zu achten, dass das Typische des Straßenraumes durch allzu schematisch angewandte Elemente nicht verloren geht. Gerade Straßenräume der sechziger Jahre zeichnen sich durch eine formale Großzügigkeit aus, die durch kleinteilige verkehrsberuhigende Elemente schnell verloren gehen kann.

Ein weiteres Betätigungsfeld zum Umbau von Erschließungsstraßen bieten die Großwohnsiedlungen in den neuen Bundesländern. Neben einer Neuordnung des Parkens geht es primär um eine Neudefinition der Freianlagen als unmittelbare Wohnumfeldsituation und Hauseingangszone. Lösungsansätze sind in der Regel nur in der Zusammenarbeit von Verkehrsplanern und Freiraumplanern zu entwickeln (Abb. 4.40).

In *dörflichen Gebieten* ist die weitgehende Differenzierung der Netzelemente schwierig, weil die meisten Dorfstraßen direkt in die Ortsdurchfahrten einmünden und die Straßenhierarchie nur schwach ausgeprägt ist. Die in den EAE 85/95 zusammengestellten Entwurfselemente berücksichtigen die in dörflichen Bereichen typische Durchmischung unterschiedlicher Funktionsbereiche und die häufig durch unregelmäßige Strukturen ge-

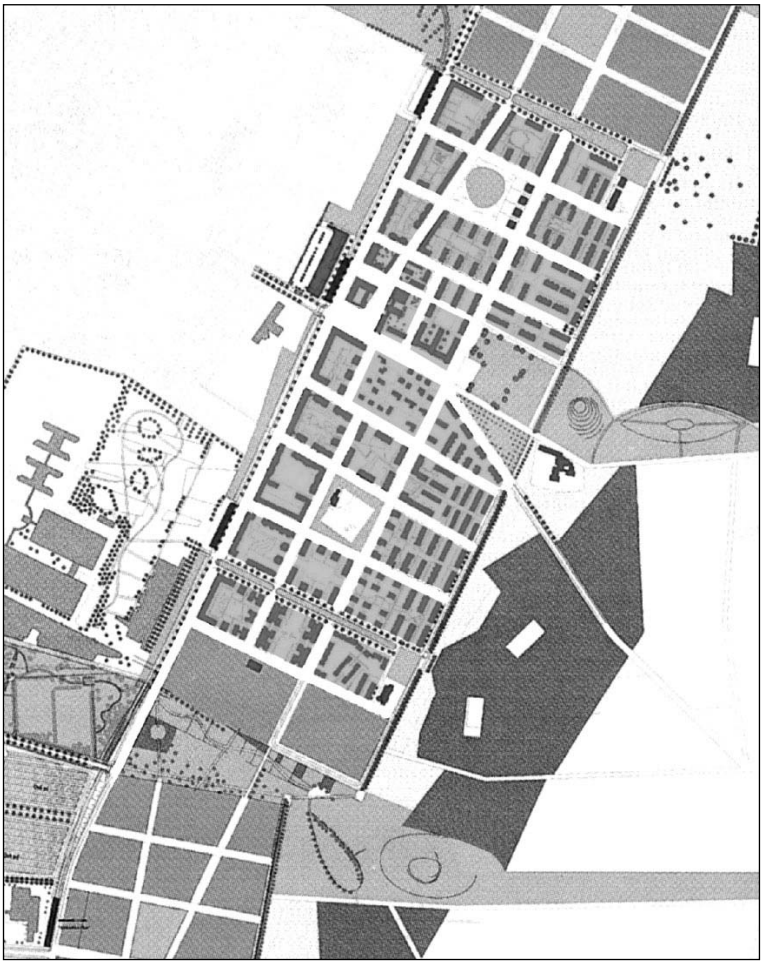


Abb. 4.39 Rasternetz als hierarchisch neutrale Erschließungsstruktur; Beispiel: Kronsberg Hannover (Landeshauptstadt Hannover, 1999)

Abb. 4.40 Umgestaltung der Erschließungsstraßen in einer Plattenbausiedlung zur Stärkung der Freiraumfunktion; Beispiel: Gaußstraße in Leinefelde (Informationsbroschüre Leinefelde, 2002)

prägten straßenräumlichen Situationen. Gerade in dörflichen Straßenräumen ist eine hohe gestalterische Sensibilität erforderlich, um das Dorftypische zu erhalten und es nicht durch vorstädtische Elemente zu überformen (Abb. 4.41).

Abb. 4.41 Erhaltung der dorftypischen Elemente trotz funktionaler Umgestaltung. (*)

Fahrbahnen, Fahrgassen und Einengungen

Verkehrlich ergibt sich die wünschenswerte Fahrbahn- /Fahrgassenbreite aus den gewählten Bemessungsfahrzeugen, den maßgebenden Begegnungsfällen und der angestrebten Geschwindigkeit. Diese Ansprüche sind mit städtebaulichen und stadtgestalterischen Belangen abzuwägen. Fahrbahnen und Fahrgassen von Erschließungsstraßen müssen nicht in einheitlicher Breite durchlaufen, vielmehr ist sowohl aus verkehrlicher als auch aus städtebaulicher Sicht eine variable Fahrbahn-/Fahrgassenbreite häufig wünschenswert (Abb. 4.42).

Bei Linienbusverkehr ist eine Fahrbahnbreite von 6,00 m ausreichend, wenn ein Begegnen mit verminderter Geschwindigkeit vertretbar ist. In der Praxis fordern allerdings viele Verkehrsbetriebe bei Linienbusverkehr eine Fahrbahnbreite von 6,50 m, um die Leichtigkeit des ÖPNV zu erhöhen. Sind Ausweichstellen vorhanden und ein regelmäßiges Begegnen von Linienbussen nicht zu erwarten, genügt eine Breite von 4,75 m. Eine Fahrbahnbreite von 4,75 m reicht immer dann aus, wenn weniger als 30 Lkw/Sp-h anzunehmen sind, in Abständen von etwa 50 m bis max. 100 m für die Begegnung von zwei Lastkraftwagen geeignete Ausweichstellen, platzartige Aufweitungen, mitbenutzbare Grundstückszufahrten oder entsprechend bemessene Versätze zur Verfügung stehen und die einzelnen Straßenabschnitte überschaubar sind.

Die für Fahrgassen in Mischflächen häufig anwendbare Breite von 4,00 m erlaubt das Befahren von Personenkraftwagen im Gegenverkehr. Beobachtungen zeigen allerdings, dass viele Kraftfahrer den Begegnungsfall vermeiden und in einem aufgeweiteten Teilbereich halten. Als Kompromiss kann eine Breite von 4,25 m bis 4,50 m gelten.

Durch Einengungen in Fahrbahnen/Fahrgassen entstehen in Verbindung mit vertikalen Elementen optisch abgeschlossene Teilräume, die Kraftfahrer zum Fahren mit gleichmäßig niedrigen Geschwindigkeiten und zur Konzentration auf die unmittelbar überschaubaren Bereiche des Straßenraumes veranlassen. Im Gegensatz zu Versätzen und Verschwenkungen ergeben sich durch Einengungen im Allgemeinen keine gestalterischen Widersprüche zu den Baufluchten bestehender Straßenräume. Einengungen verbessern die Überquerbarkeit und sollen daher insbesondere im Zuge von Hauptrichtungen der Wege von Fußgängern und Radfahrern angeordnet werden. Einengungen sollen mindestens 1,00 m schmaler als die anschließenden Fahrbahnen und 5 bis 10 m lang

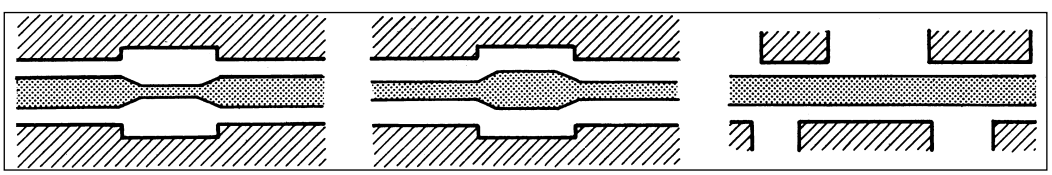


Abb. 4.42 Variable Fahrbahnbreite in Abhängigkeit von der Bau- und Nutzungsstruktur (Baier et al., 1985)

sein. Kurze einspurige Einengungen sind bei Verkehrsstärken bis zu etwa 500 Kfz/h anwendbar.

Versätze

Durch Versätze entstehen in Längsrichtung optisch abgeschlossene Teilräume, die die Kraftfahrer veranlassen sollen, langsam zu fahren und sich auf die unmittelbar überschaubaren Bereiche im Straßenraum zu konzentrieren. Insbesondere bei einer deutlichen Versatztiefe ist die geschwindigkeitsdämpfende Wirkung von Versätzen unbestritten. Versätze sind jedoch häufig gestalterisch problematisch, insbesondere dann, wenn sie ohne Bezug zur straßenräumlichen Situation angeordnet werden. Überzeugender sind Versätze, die mit der Bebauung oder Bepflanzung übereinstimmen, z.B. durch Verbindungen mit wechselseitig angeordneten, gut begrünten und gestalteten Parkständen oder durch die Gestaltung als eigenständige Bereiche.

Teilaufpflasterungen

Teilaufpflasterungen sollen Kraftfahrern optisch und fahrdynamisch zu langsamer Fahrweise veranlassen und die Überquerbarkeit von Fahrbahnen/Fahrgassen für Fußgänger und Radfahrer erleichtern. Sie sollen daher im Zuge von Hauptrichtungen der Wege von Fußgängern und Radfahrern angeordnet werden. Teilaufpflasterungen bestehen aus einer ganz oder annähernd auf die Gehbereiche angehobenen Fläche und zwei Rampen, deren Länge sich nach der Höhe des Bordes und der Rampenneigung richtet. Teilaufpflasterungen von 1:25 bis 1:15 sind prinzipiell auch von Linienbussen befahrbar. Allerdings sollte die Zweckmäßigkeit des Elementes bei Linienbusverkehr sehr sorgfältig geprüft werden, da bei Teilaufpflasterungen immer schalltechnische Nachteile auftreten können und auch die bautechnischen Probleme häufige Ärgernisse in der Praxis sind. Fahrdynamisch wirksame Teilaufpflasterungen sollen Rampenneigungen von 1:10 bis 1:5 aufweisen. Teilaufpflasterungen sind in Knotenpunkten, Versätzen und an Übergangsbereichen zu höheren Straßen anwendbar. In Verbindung mit Belagswechseln können sie den Übergangsbereich vom Hauptverkehrsstraßennetz von Tempo-30-Zonen wirkungsvoll verdeutlichen (Abb. 4.43). Bewährt haben sich Teilaufpflasterungen auch in den Einmündungsbereichen von Erschließungsstraßen in Hauptverkehrsstraßen, womit der Beginn der Tempo 30-Zone gut verdeutlicht wird und der Radverkehr auf Radwegen entlang der Hauptverkehrsstraße deutlich bevorrechtigt werden kann (Abb. 4.44).

Abb. 4.43 Eine Teilaufpflasterung markiert den Übergang zu einem Stadtteilpark. (*)

Abb. 4.44 Teilaufpflasterung als Übergang in eine Tempo-30-Zone. (*)

Wendeanlagen

Wendeanlagen sind am Ende von Stichstraßen und -wegen erforderlich, wenn Wendevorgänge nicht anderweitig vorgenommen werden können. Wegen der Gefährdung der übrigen, insbesondere der nicht motorisierten Straßenraumnutzer, dürfen Kraftfahrer durch den Verzicht auf Wendemöglichkeiten nicht gezwungen werden, eine Stichstraße oder einen Stichweg regelmäßig und ohne Einweisung rückwärts zu befahren.

Wendeanlagen sollen immer in Plätze einbezogen werden (Abb. 4.45). Sie müssen daher neben den fahrgeometrischen Erfordernissen in der Regel auch städtebaulich begründeten Anforderungen genügen. Die Größe von Wendeanlagen ist maßgebend von der Größe des Bemessungsfahrzeuges und der erwünschten Fahrweise abhängig. In Wohngebieten ist das örtliche Müllfahrzeug in der Regel das Bemessungsfahrzeug.

Abb. 4.45 Städtebaulich integrierte Wendeanlage. (*)

4.5 Entwurf von Knotenpunkten und Plätzen

4.5.1 Grundsätze

Knotenpunkte sind Schnittpunkte im städtischen Raumnetz und von daher städtebaulich immer besondere Orte. Sie sind auch verkehrlich besondere Orte, da sich an Knotenpunkte Verkehrsströme schneiden und zur verkehrssicheren und qualitätvollen Abwicklung des Verkehrs besondere Entwurfsmaßnahmen ergriffen werden müssen. Verkehrliche Knotenpunkte sind häufig städtebaulich wichtige Plätze, bedeutende Freiräume einer Stadt und oftmals wesentliche Identifikationspunkte in der Stadt. Beispielsweise sind in gründerzeitlichen Stadtquartieren Plätze oft Schmuckplätze mit eigenständigem repräsentativem Charakter (vgl. Abb. 4.1). Das Raumnetz einer Stadt wird in der Regel stärker über die Plätze als über die sie verbindenden Straßenräume beschrieben. Plätze weisen besondere Eigenheiten auf, sei es über die Gestaltung, die Randnutzung oder die historische Bedeutung.

Beim verkehrlichen Entwurf von Knotenpunkten ist die städtebauliche Bedeutung des Ortes immer angemessen zu berücksichtigen. Da sich an Knotenpunkten auch die verkehrlichen Anforderungen kumulieren, ist der Knotenpunktentwurf immer eine anspruchsvolle Aufgabe. Dies gilt vor allem für Entwurfsaufgaben in Bestandsgebieten. Die funktionalen Randbedingungen, beispielsweise in gründerzeitlichen Platzräumen haben sich im Laufe der Zeit gewandelt. Die heutigen verkehrlichen Anforderungen sind bestimmt durch den Kraftfahrzeugverkehr, den ÖPNV sowie die verkehrssichere und qualitätvolle Führung der Fußgänger und Radfahrer. Zur umfassenden Bewertung der Verkehrsabläufe werden zunehmend Verfahren der Verkehrssimulation angewendet.

4.5.2 Knotenpunktformen – Beispiele

In städtischen und dörflichen Bereichen grundsätzlich anwendbar sind die Knotenpunktformen Kreuzung/Einmündung und Kreisverkehr. Die Notwendigkeit einer Lichtsignalanlage ergibt sich aus der erforderlichen Verkehrsqualität und Überlegungen zur Verkehrssicherheit.

Einfache Kreuzungen und Einmündungen sind sowohl im Hauptverkehrsstraßennetz (Abb. 4.46) als auch zwischen Anlieger- und Sammelstraßen (Abb. 4.47) die gebräuchlichste Knotenpunktform. Mit Lichtsignalanlagen sind große Kapazitäten und eine vergleichsweise gute Verkehrssicherheit zu erzielen.

Kleine Kreisverkehre (FGSV, 1998) haben in den letzten Jahren in Deutschland eine Renaissance erfahren. Gründe hierfür sind die hohe Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmer, der flüssige Verkehrsablauf mit geringen Wartezeiten und der Verzicht auf sonst notwendige Lichtsignalanlagen (Haller, 1998; Alrutz et al., 2000). Erwähnenswert ist auch die gute Akzeptanz der Knotenpunktform in der Bevölkerung. Eine Übersicht über die bei unterschiedlichen Kreisverkehren abwickelbaren Verkehrsstärken gibt Abbildung 4.48.

Kreisverkehre sind richtungsneutral und führen von daher in vielen hierarchischen Straßennetzen zu einem Verlust an Orientierung. Da sie durch den Flächenanspruch und die Formgebung auch gestalterisch dominant wirken, sind sie in städtischen Straßen- und Raumnetzen nur vereinzelt und gezielt anwendbar. Trotzdem werden sich kleine Kreisverkehre wegen der unbestreitbaren verkehrlichen Vorteile in Zukunft noch stärker verbreiten. Typische Anwendungsfälle ergeben sich in klassifizierten Ortsdurchfahrten, an Ortsein-

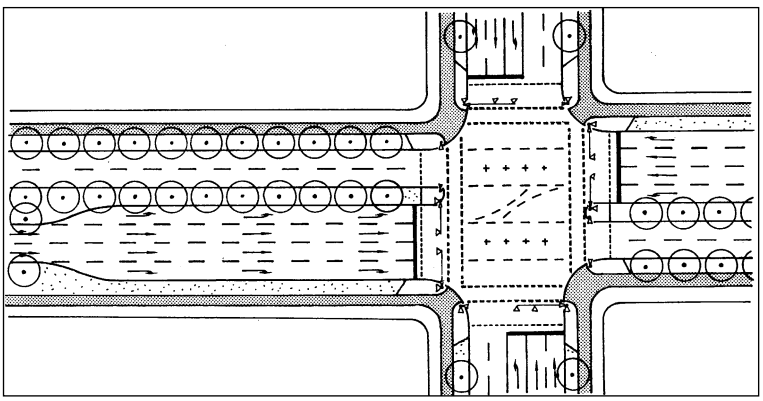


Abb. 4.46 Kreuzung zweier Hauptverkehrsstraßen (FGSV, 1993)

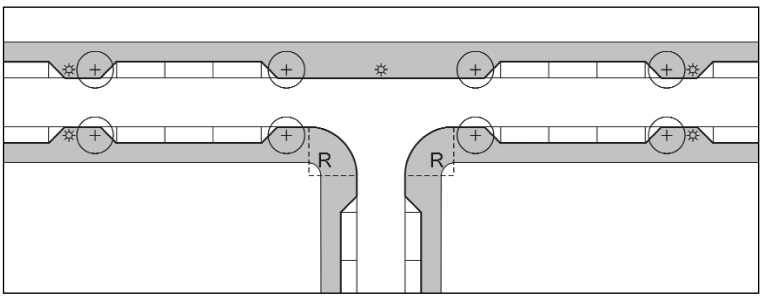


Abb. 4.47 Einmündung im Erschließungsstraßennetz (FGSV, 1985/95)

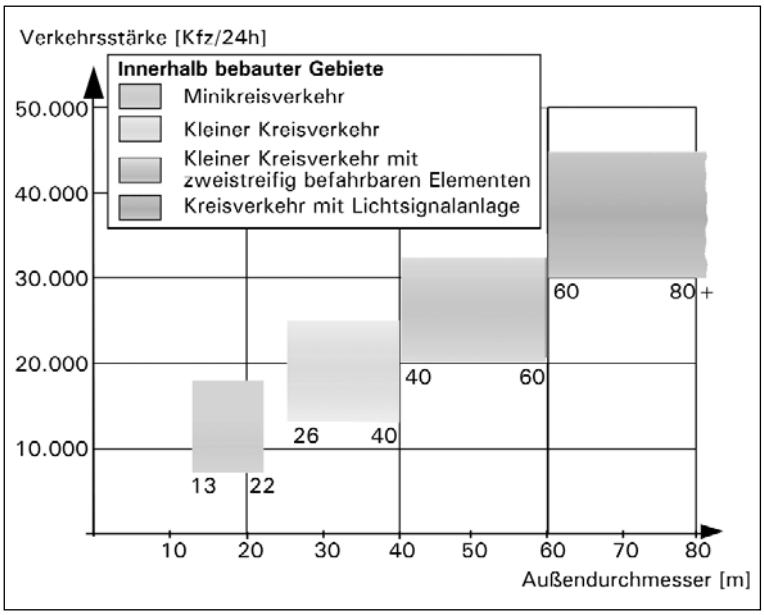


Abb. 4.48 Kapazität unterschiedlicher Formen von Kreisverkehren (FGSV, 2004b)

fahrten zur Geschwindigkeitsdämpfung oder an vielarmigen Knotenpunkten.

Eine Erweiterung des Entwurfsrepertoires ergibt sich durch den zunehmenden Einsatz von Minikreisverkehren im Bereich von Sammelstraßen und schwach belasteten Hauptverkehrsstraßen (MWMTV, 1999). Minikreisverkehre zeichnen sich durch einen Außendurchmesser von 13 bis 22 m aus und haben für das Befahren mit Schwerfahrzeugen eine überfahrbare Kreisinsel (Abb. 4.49).

Abb. 4.49 Minikreisverkehr in einem Altstadtgebiet

Kreisverkehre werden zunehmend auch bei größeren Verkehrsstärken eingesetzt. Maßnahmen zur schrittweisen Kapazitätssteigerung sind die Anlage von separaten Rechtsabbiegestreifen (Bypässe), die Verbreiterung der Kreisfahrbahn, so dass sich eine (fast) zweistreifige Befahrbarkeit ergibt, sowie die Einrichtung von zweistreifigen Zufahrten (FGSV, 2000). Neueste Untersuchungen zeigen, dass auch kleine Kreisverkehre mit zweistreifig befahrbaren Elementen eine hohe Verkehrssicherheit aufweisen und insbesondere dann empfohlen werden können, wenn wenig oder gar kein Fußgänger- und Radverkehr auftritt, (Brilon u. Bäumer, 2004).

Knotenpunkt mit Lichtsignalanlage – Beispiel: „Schwarzer Bär“ in Hannover

Der „Schwarze Bär“ in Hannover bildet durch seine Randbebauung und die Lage hinter einer Brücke eine städtebaulich markante Eingangssituation aus der Innenstadt in den Stadtteil Linden. Er ist Geschäftsstandort und wichtiger Verkehrsverteiler im Quartier. Die Verkehrsbelastung ist mit etwa 30.000 Kfz/24 h,

zwei Stadtbahnlinien und drei Buslinien sehr hoch.

Besondere verkehrliche Mängel sind die derzeit zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit teilweise unterdrückten Abbiegebeziehungen im Kraftfahrzeugverkehr, die unzureichende Führung des Rad- und Fußgängerverkehrs sowie die wegen großer Haltestellenentfernungen unkomfortablen Umsteigemöglichkeiten. Planungsziel ist deshalb neben der Stärkung des Geschäftsstandortes die ausgewogenere Berücksichtigung aller Nutzungsansprüche, ggf. auch unter Kapazitätseinschränkungen für den Kraftfahrzeugverkehr.

Im Planungskonzept wurden mehrere Entwurfsvarianten und auch stufenweise zu realisierende Entwurfsbausteine entwickelt, die im Wesentlichen die Bündelung der Haltestellen im zentralen Knotenpunktbereich, die Anlage weiterer Radfahrer- und Fußgängerfurten, die Anlage zusätzlicher Abbiegebeziehungen für den Kraftfahrzeugverkehr und die Verbesserung der Aufenthaltsqualität vorsehen (Abb. 4.50, siehe S. 546).

Um die Qualität des Verkehrsablaufs für alle Verkehrsarten beurteilen zu können, wurden sowohl der Ist-Zustand als auch die Entwurfsvarianten und Bausteine mit Hilfe der Mikrosimulation mit dem Programmsystem VISSIM untersucht (Abb. 4.51). Dabei werden die Wartezeiten der einzelnen Verkehrsarten differenziert ermittelt und anhand des im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) beschriebenen Bewertungsverfahrens beurteilt (FGSV, 2001a)

Es zeigt sich, dass trotz einer deutlichen Reduzierung der Flächen für den Kraftfahrzeugverkehr die heutige Verkehrsmenge bewältigt werden kann. Auf einem verbreiterten Seitenraum entsteht ein kleiner Stadtplatz. Die Fußgänger- und Radverkehrsbeziehungen am Knotenpunkt können wesentlich verbessert und den Hauptgehrichtungen angepasst werden. Eine grundsätzliche Verbesserung der

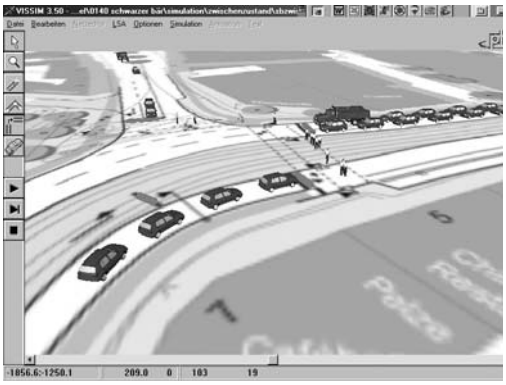


Abb. 4.51 Überprüfung der Verkehrsqualität und Visualisierung des Verkehrsablaufs mit Hilfe der Verkehrssimulation. (*)

Haltestellenqualität kann durch die Bündelung der Stadtbahnhaltestellen auf der Brücke erreicht werden, weil nur dort ein für den barrierefreien Zugang notwendiger Hochbahnsteig städtebaulich integriert werden kann.

Kleiner Kreisverkehr – Beispiel: „Belvedere“ in Kiel

Der sechsarmige Knotenpunkt „Belvedere“ liegt nördlich der Innenstadt von Kiel an der Nahtstelle zwischen einem Gründerzeitquartier und locker bebauten Bereichen. Durch die Umgestaltung der heute signalisierten Kreuzung zu einem Kreisverkehr soll die besondere städtebauliche Situation akzentuiert und die verkehrliche Situation – besonders für den ÖPNV und für Radfahrer – verbessert werden (Abb. 4.52). Der Knotenpunkt wird von ca. 20.000 Kfz/24 h befahren.

Der Kreisdurchmesser von 45 m erlaubt die Anbindung der vier Hauptknotenpunktarme mit den erforderlichen Eckausrundungsradien von 12 m in der Knotenpunktzufahrt bzw. 14 m in der Knotenpunktausfahrt. Die Fahrbahnbreite neben einem 2,50 m breiten Fahrbahnteiler beträgt 3,50 m in der Knotenpunktzufahrt und 3,75 m in der Knotenpunktausfahrt. Zwei Knotenpunktarme (Tempo-30-Zonen) werden als Teilaufpflasterungen ausgebildet.

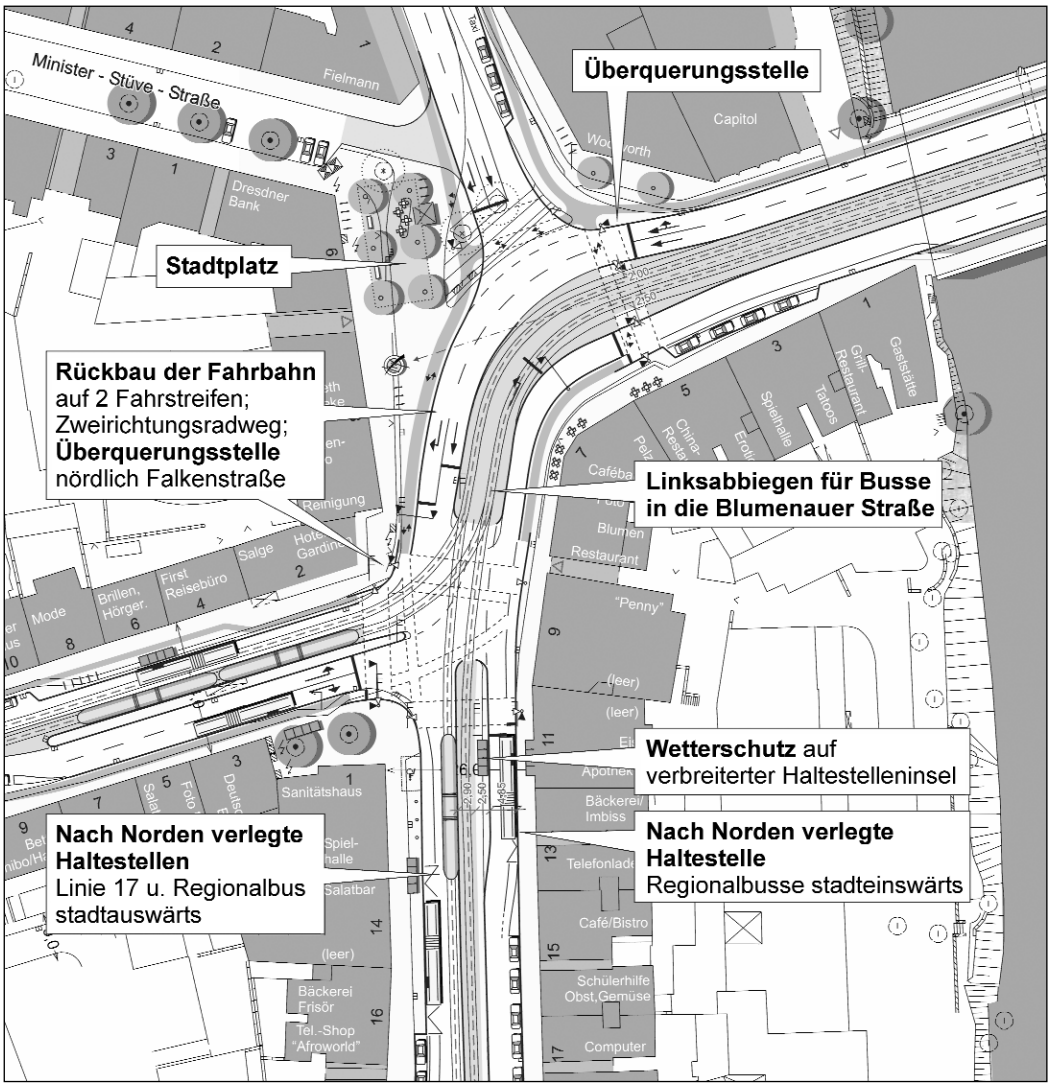


Abb. 4.50 Umgestaltung des verkehrsreichen Knotenpunktes „Schwarzer Bär“ in Hannover. (Eigene Darstellung)

Die Kreisfahrbahn ist 5,75 m breit; auf den bei einem kleineren Kreisdurchmesser erforderlichen überfahrbaren gepflasterten Innenring kann verzichtet werden. Die Radfahrer werden auf umlaufenden Radwegen geführt. Die Überquerungsstellen sind wegen des hohen Radfahrer- und Fußgängeraufkommens durch Radfahrerfurten bzw. Fußgängerüberwege gesichert. Sie sind etwa 4,00 m von der Kreisfahrbahn abgerückt, so dass ein vor der Kreisfahrbahn wartepflichtiger Pkw die Überquerungsstelle nicht blockiert. In der Nord-Süd-Achse liegen beide Bushaltestellen wegen ausgewogener Haltestellenabstände südlich des Knotenpunktes. Die Busse halten jeweils auf Busstreifen, in der Knotenpunktzufahrt hält der Bus abgerückt vom Fußgängerüberweg, um die Sichtbeziehung zwischen Kraftfahrern

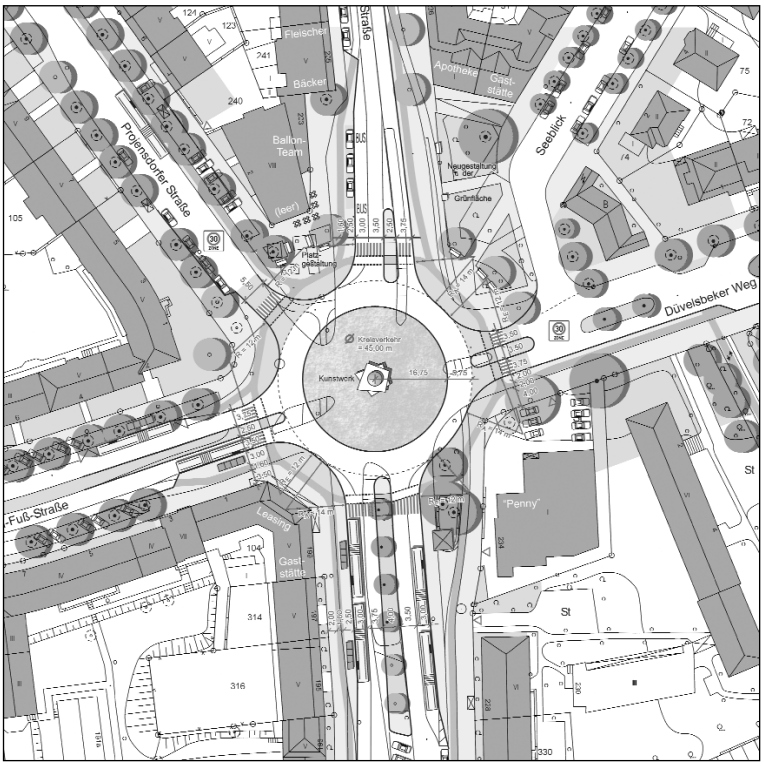


Abb. 4.52 Knotenpunkt „Belvedere“ in Kiel als Kreisverkehr. (Eigene Darstellung)

und überquerenden Fußgängern zu gewährleisten. Auch in der nördlichen Knotenpunktzufahrt wurde zur Stauraumumfahrung ein kurzer Busstreifen angelegt.

Die Überprüfung der verkehrlichen Leistungsfähigkeit ergibt eine Auslastung der am stärksten belasteten Knotenpunktzufahrt zu 64 Prozent, diese Knotenpunktform bietet also große Leistungsreserven. Die Situation im ÖPNV kann durch die Anlage von Busstreifen in den Hauptzufahrten verbessert werden. Die Radverkehrsführung im Seitenraum ist eine verkehrssichere und von der Mehrheit der Radfahrer akzeptierte Lösung. Auch die Flächenbilanz fällt durch den Gewinn an Seitenraumflächen und die Möglichkeit zur Entsiegelung positiv aus.

Minikreisverkehr – Beispiel: „Grohner Stern“ in Bremen

Der „Grohner Stern“, ein sechsarmiger Knotenpunkt innerhalb eines als Tempo-30-Zone ausgewiesenen Wohngebietes, soll als Quartiersplatz aufgewertet werden. Der Knotenpunkt wird von ca. 9.100 Kfz/24 h befahren. Städtebaulich ist die Umgestaltung zu einem kleinen Kreisverkehr wünschenswert, da die sternförmige Platzform betont wird (Abb. 4.53).

Ohne Grunderwerb bzw. Eingriffe in den Baumbestand kann nur ein Minikreisverkehr realisiert werden. Bei einem Kreisdurchmesser von 20 m können die Knotenpunktarme mit Mindesteckausrundungsradien angebunden werden. Die Kreisfahrbahn ist 4,00 m breit, die überfahrbare gepflasterte Kreisinsel hat einen Durchmesser von 12,00 m. Damit ist die Befahrbarkeit des Knotenpunktes auch für Lastzüge gewährleistet.

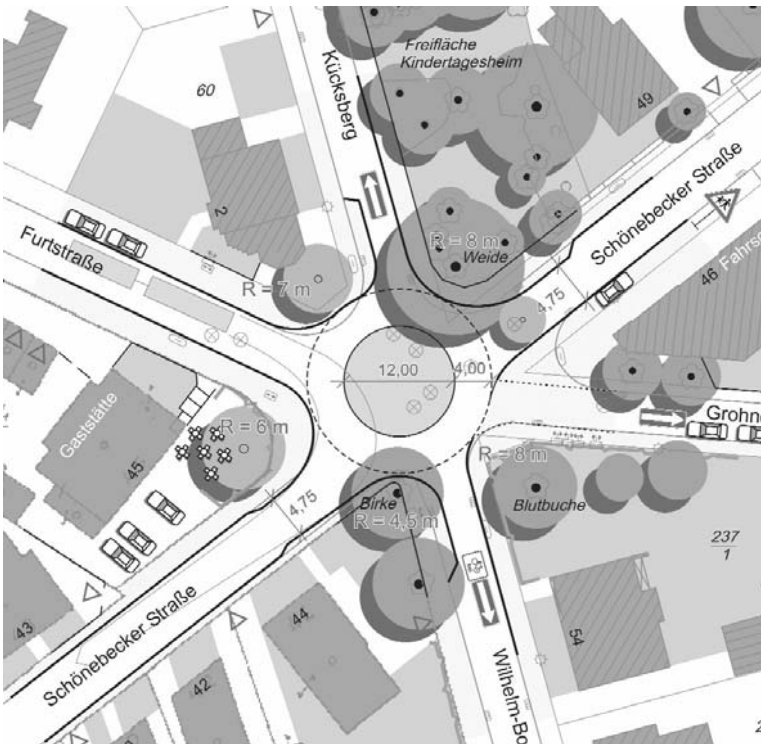


Abb. 4.53 Knotenpunkt „Grohner Stern“ in Bremen als Minikreisverkehr. (Eigene Darstellung)

4.5.3 Stadtplätze

Stadtplätze – Beispiel:
„Piazza d’Italia“ in Wolfsburg

Die Goethestraße liegt zentral in der Stadtmitte Wolfsburgs in unmittelbarer Nähe zum östlich angrenzenden Geschäfts- und Fußgängerbereich Porschestraße. Das denkmalgeschützte Wohnquartier wurde Anfang der vierziger Jahre mit der für Wolfsburg typischen Bebauungsstruktur mit großzügigen Straßenräumen errichtet. Anlass der Umgestaltung des östlich einer Kopfbebauung markant aufgeweiteten Straßenraumabschnittes der Goethestraße zur „Piazza d’Italia“ war die vorausgegangene Umnutzung der Erdgeschosse der Wohngebäude zu Ladengeschäften und Gastronomie. Das erklärte Ziel, ein „italienisches Ambiente“ zu erreichen, wurde unterstützt durch die Auswahl der Gewerbetreibenden und entsprechende kulturelle Gebäudenutzungen. Der neue Stadtplatz soll so zur besonderen Adresse werden und als Erweiterung des Hauptgeschäftsbereiches zur Attraktivierung der Innenstadt Wolfsburgs beitragen (Abb. 4.54).

Bei der Umgestaltung musste die weiter bestehende verkehrliche Funktion der Goethestraße als Verbindung zwischen Cityring und Innenstadtring berücksichtigt werden. Die Prognoseverkehrsstärke von ca. 10.000 Kfz/24 h erlaubte die Verschmälerung der ursprünglich vierstreifigen Fahrbahn auf zwei Fahrstreifen mit dreistreifiger Knotenpunktzufahrt. Ein Fahrbahnteiler, der sich in der Knotenpunktzufahrt zum Linksabbiegestreifen entwickelt, erleichtert das Überqueren. Der Radverkehr wird auf gestalterisch in die Seitenräume integrierten Radwegen geführt.

Durch die Anhebung der ursprünglich nach Westen stark fallenden Fahrbahn und eine „weiche“ Trennung der Fahrbahn von den Seitenräumen wird eine Verknüpfung beider

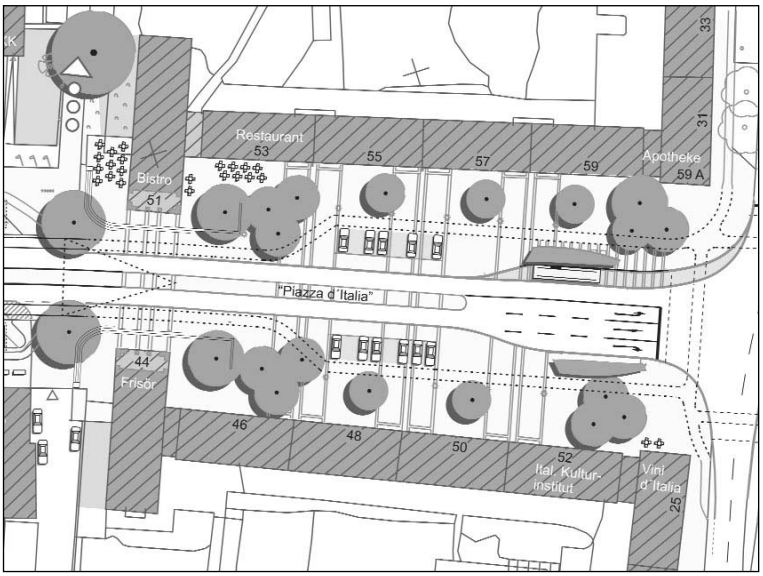


Abb. 4.54 Stadtplatz „Piazza d'Italia" in Wolfsburg. (Eigene Darstellung)

Platzseiten erzielt. Die Platzfläche wird durch einheitliche, hochwertige Oberflächenbeläge – siena-rot eingefärbte Betonsteinplatten, Treppen, Borde und Rinnen und eine gelbe Kleinpflasterbänderung – betont. Ein Konzept für die einheitliche Möblierung der Außenbereiche der Gastronomiebetriebe ergänzt die Gestaltung.

4.5.4 Plätze des öffentlichen Personennahverkehrs

Bahnhofsvorplätze und Zentrale Omnibusbahnhöfe sind die Visitenkarten des Nahverkehrs. Die Gestaltqualität ist deshalb mindestens so wichtig wie die Funktionalität des Platzes. Die Funktionalität allein reicht nicht aus, um aus einem Verkehrsplatz einen attraktiven Stadtplatz zu machen.

Funktionale Anforderungen

Bahnhofsvorplätze und Zentrale Omnibusbahnhöfe sind verkehrliche Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Formen der Öffentlichen Verkehrsmittel (Schienenpersonenverkehr, Stadtbahnverkehr, Regionaler Busverkehr, Stadtbusverkehr, Taxen) und der individuellen Verkehrsmittel (zu Fuß, Radverkehr, Kraftfahrzeugverkehr). Die einzelnen Elemente müssen ausreichend, d.h. nachfragegerecht und prognosesicher dimensioniert sein. Dies gilt beispielsweise für Haltepositionen für Regional- und Stadtbusse, Kurzzeitparkplätze, Park-and-Ride- und Bike-and-Ride-Anlagen sowie Taxenstandplätze.

Prognosesicherheit erfordert auch ein gewisses Maß an Flexibilität im Entwurf, d.h. einzelne Nutzungsbereiche müssen ohne großen Aufwand einer anderen Funktion zugeführt werden können und es sollten immer Flächen für die Erweiterbarkeit vorgehalten werden, eine Forderung, die in der Praxis oft an der Finanzierung scheitert.

Die zweckmäßige Zuordnung der Funktionsbereiche ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal. Eine optimale Verknüpfung der Verkehrsmittel mit möglichst kurzen, direkten Wegen ist anzustreben. Das Ziel der möglichst kurzen Wege darf aber nicht dazu führen, dass der Bahnhofsvorplatz seiner Funktion als repräsentativer Stadtplatz nicht mehr gerecht

wird oder die Orientierung auf dem Platz verloren geht.

Barrierefreiheit

Die Forderung nach umfassender Barrierefreiheit im Verkehr hat durch das Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen (BGG) besonderen Nachdruck erhalten. Voraussetzung für die Förderung von Nahverkehrsanlagen nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) ist, dass das Vorhaben Belange behinderter und anderer Menschen mit Mobilitätsbeeinträchtigung berücksichtigt und den Anforderungen der Barrierefreiheit möglichst weitgehend entspricht. In der Praxis sind deshalb auf Bahnhofsvorplätzen oder Zentralen Omnibusbahnhöfen taktile Leitsysteme, der barrierefrei Zugang zum Bussteig oder zum Bahnsteig mit Rampen oder Aufzügen ebenso Standard wie bei Stadtbahn- und Bussystemen der niveaugleiche Einstieg. Um kommunikative Barrieren abzubauen, kommen zunehmend Informationssysteme mit optischer und akustischer Anzeige zum Einsatz. Ein neues Feld ist der barrierefreie Zugang zu den neuen Medien, die zunehmend als Informationssysteme eingesetzt werden. Die Anforderungen der Barrierefreiheit müssen in den Gesamtentwurf integriert werden, sie sind nichts Zusätzliches oder nachträglich Aufgesetztes. Auch die Anforderungen an die Barrierefreiheit unterliegen allerdings der Abwägung.

Gestaltqualität

Die Gestaltung eines Bahnhofsvorplatzes oder einer zentralen Haltestelle muss der städtebaulichen Bedeutung entsprechen. In der Regel sind derartige Plätze immer wichtige zentrale Freiräume, die auch eine repräsentative Funktion wahrnehmen und folglich nicht nur nach dem Gebrauchswert zu beurteilen sind. Dies kann sich beispielsweise in der Großzügigkeit der Anlage, der hochwertigen Materialwahl oder in einer besonderen Art der Beleuchtung ausdrücken. Auf einige wichtige Elemente sei exemplarisch hingewiesen:

- *Witterungsschutz* ist an zentralen Umstiegshaltestellen notwendig und trägt sehr zur Zufriedenheit der ÖPNV-Nutzer bei. Aber nicht allein der Gebrauchswert ist maßgebend: Eine markante Dachkonstruktion kann sehr zur Unverwechselbarkeit eines Platzes beitragen (Abb. 4.55).

Abb. 4.55 Markante Dachkonstruktion am ZOB in Hamburg. (*)

- *Ausstattungselemente* wie Bänke, andere Sitzgelegenheiten oder Papierkörbe sind sorgfältig auszuwählen, weil sie auf einem großen Platz sehr markante Gestaltungselemente sind. Auch außerhalb kommerzieller Nutzungen muss es Möglichkeiten zum Aufenthalt geben.
- *Beleuchtungskonzepte* müssen einen Bahnhofsvorplatz hell und gleichmäßig ausleuchten. Dies darf aber nicht dazu führen, dass allein nach funktionalen Gesichtspunkten ausgeleuchtet wird. Die Ästhetik der Beleuchtung und das Tagbild der Beleuchtungskörper sind gleichbedeutende Kriterien (Abb. 4.56)
- *Wasser* ist ein belebendes Element auf jedem Stadtplatz und sollte auf einem repräsentativen Bahnhofsvorplatz nicht fehlen. Bei fehlendem Geld können Sponsoren helfen.

Abb. 4.56 Nachtbild am Bahnhofsvorplatz in Hannover. (*)

– Die *Materialwahl* muss so sein, dass ein dauerhaft positiver Eindruck entsteht. Helle Materialien wirken freundlicher als dunkle, der stärkere Reinigungsaufwand bei Verschmutzung ist aber zu berücksichtigen, da sonst bereits nach kurzer Zeit der positive Gesamteindruck empfindlich gestört sein kann. Billige Materialien zahlen sich an Bahnhofsvor-plätzen und Zentralen Omnibusbahnhöfen wegen der starken Beanspruchung nicht aus.

Insgesamt sollen Gebrauchswert und Repräsentationswert in einer ausgewogenen Balance stehen.

Plätze des öffentlichen Personennahverkehrs – Beispiel: Bahnhofsvorplatz und ZOB in Göttingen

Vor der Umgestaltung waren der Bahnhofsvorplatz und der ZOB in Göttingen primär verkehrlich ausgerichtet und boten kaum Aufenthaltsqualität. Durch die Umgestaltung wurden beide Bereiche gestalterisch und funktional integriert, die Wegeverbindung in die Innenstadt attraktiviert und die Fahrradabstellanlagen bedarfsgerecht neu geordnet. Der Bahnhofsvorplatz konnte zu einem Stadtplatz mit Freiraumqualität umgestaltet werden, der von der Bevölkerung angenommen wird.

Entsprechend dem städtebaulichen Konzept, das aus einem beschränkten Realisierungswettbewerb 1995 hervorgegangen ist, wurde der gesamte, zwischen Bahnanlagen und Berliner Straße/Wallanlagen eingespannte Bereich mit einer straffen, geometrischen Struktur überzogen, deren wesentlichen Elemente eine lange, raumbildende Pergola mit Verteiler- und Leitfunktion und zwei parallele Platanenalleen sind (Abb. 4.57). Der markante Stadtinfo-Turm bildet einen Blick- und Umlenkpunkt in der Wegeverbindung Bahnhof – Innenstadt. Südlich des Bahnhofsgebäudes schließt ein Fahrradparkhaus mit Fahrradstation an.

Abb. 4.57 Pergola als raumbildendes Element am Bahnhofsvorplatz und ZOB in Göttingen. (*)

Der Bahnhofsvorplatz wird von dem quadratischen Schmuckplatz (1.600 m²) mit drei ausgestanzten flachen Wasserbecken bestimmt (Abb. 4.58). Die Vorfahrt liegt an der nördlichen Seite des Schmuckplatzes und ist über den Kurzparkplatz (65 Stellplätze, Taxenstand) erreichbar. Auf der Südseite sind im Bereich des Platanendaches 80 Fahrradbügel angeordnet. Zur Berliner Straße hin wirkt die Pergola als raumbildendes Element.

Der ZOB weist nun einen weitgehend störungsfreien Betriebsablauf und eine deutliche Verbesserung der Situation für Fahrgäste auf. Die Busse halten entsprechend ihrer Fahrtrich-

Abb. 4.58 Bahnhofsvorplatz als Schmuckplatz mit Freiraumqualität. (*)

Abb. 4.59 Wartepositionen für Stadt- und Regionalbusse an geraden Bussteigkanten. (*)

tung an parallelen Bussteigen in Nord-Süd-Ausrichtung bzw. entlang der Berliner Straße und können unabhängig ausfahren. Der ZOB wird bis auf den unmittelbaren Zufahrtbereich im Süden im Einrichtungsverkehr betrieben. Im Norden wird – auch unter Berücksichtigung der starken kreuzenden Fußgängerströme – nur ausgefahren. Die Stadtbusse (9 Haltepositionen) sind innenstadtnah an der Berliner Straße angeordnet. Für Regionalbuslinien stehen 13 Haltepositionen – sowie südlich des ZOB 14 Warte- und Breitstellungsplätze – zur Verfügung (Abb. 4.59). Witterungsschutzeinrichtungen sind in der Platanenallee, am Fahrradparkhaus und in der Pergola integriert bzw. in Form von Schirmen (Stahl-Glas-Konstruktion) im Bereich des Stadtinfo-Turms verteilt. Der ZOB ist barrierefrei ausgebildet und mit einem dynamischen Fahrgastinformationssystem ausgestattet (Abb. 4.60).

Abb. 4.60 Dynamisches Fahrgastinformationssystem am ZOB Göttingen. (*)

Der helle Oberflächenbelag besteht aus Betonplatten für die Gehwegflächen, Betonplatten mit Natursteinvorsatz für den Schmuckplatz, einem Kies-Mastix-Belag im Bereich der Pergola und der östlichen Platanenallee sowie wassergebundener Decke. Eine Natursteinbänderung, teilweise auch als Muldenrinnen ausgebildet, gliedert die großen Platzflächen. Die Fahrgassen/Haltestreifen des ZOB wurden in Ortbeton ausgeführt. Die Maßnahme wurde mit Sanierungsmitteln (Städtebauförderung) und GVFG-Fördermitteln des Landes Niedersachsen finanziert.

Literatur

Albers, A. (1996): Dynamische Straßenraumfreigabe für Nahverkehrsfahrzeuge. SchrR „Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover“, H. 17, Hannover

Alrutz, D.; Bohle, W. (1999): Flächenansprüche von Fußgängern. SchrR „Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Verkehrstechnik“, H. V 71, Bergisch Gladbach

Alrutz, D.; Haller, W.; Lange, J. (2000): Fußgänger- und Radverkehrsführung an Kreisverkehrsplätzen. SchrR „ Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, H. 793, Bonn

Angenendt, W.; Wilken, M. (1997): Gehwege mit Benutzungsmöglichkeiten für Radfahrer. SchrR „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, H. 737, Bonn

Baier, R.; Peter, C.; Schäfer, K.-H. (1985): Straßen in Stadt und Dorf, Planen + Entwerfen mit den neuen Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE 85): Heft 03.113 der SchrR „Städtebauliche Forschung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau“, Bonn

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (2001): Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen (R-FGÜ 2001). Verkehrsblatt 55, H. 21, S. 474-477

Brilon, W.; Bäumer, H. (2004): Überprüfung von Kreisverkehren mit zweistreifig oder einstreifig markierter, aber zweistreifig befahrbarer Kreisfahrbahn. SchrR „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, H. 876, Bonn

Durth, W.; Vogt, C.; Wolff, N. (1989): Städtebauliche und umweltgerechte Integration städtischer Hochleistungsstraßen (Kategoriengruppe B); Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Darmstadt

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:

– FGSV (1987): Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete (ESG)
– FGSV (1988): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Knotenpunkte (RAS-K), Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K-1)
– FGSV (1993): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV)
– FGSV (1985/95): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE): Ausgabe 1985, ergänzte Fassung 1995
– FGSV (1995a): Entwurfshinweise für planfreie Knotenpunkte an Straßen der Kategoriengruppe B (RAL-K-2-B)
– FGSV (1995b): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA)
– FGSV (1996): Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb bebauter Gebiete (ESG)
– FGSV (1998): Merkblatt für die Anlage von kleinen Kreisverkehrsplätzen
– FGSV (2000): Zweistreifig befahrbare Kreisverkehre, Arbeitspapier Nr. 51
– FGSV (2001a): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)
– FGSV (2001b): Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen
– FGSV (2003a): Merkblatt für die Gestaltung von Anlagen des schienengebundenen öffentlichen Verkehrs
– FGSV (2003b): Empfehlungen für die Gestaltung von Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ)
– FGSV (2004a): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt) (Entwurf)
– FGSV (2004b): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (Entwurf)

Haller, W. u. Schnüll, R. (1982): Empfehlungen zum Entwurf von Dorfstraßen; in: Beiträge zur funktionsgerechten Gestaltung der Dörfer, herausgegeben vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Baden-Württemberg, Stuttgart

Haller, W. u. Schnüll, R. (1984): Städtebauliche Integration von innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen – Problemanalyse und Dokumentation; Heft 03.107 der Schriftenreihe Städtebauliche Forschung: herausgegeben vom Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn

Haller, W. (1998): Kleine Kreisverkehrsplätze – Das neue Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Straßenverkehrstechnik 42, H. 7, S. 338-344

Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung (ILS) (1984): Haupt(Verkehrs)straßen und Verkehrsberuhigung: Heft 6 der Bausteine

für die Planungspraxis in Nordrhein-Westfalen, Dortmund

Hupfer, C.; Böer, H.; Huwer, K.; Jacob, H.; Nagel , M. (2000): Einsatzbereiche von Angebotsstreifen. SchrR „Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Verkehrstechnik“, H. V74, Bergisch Gladbach

Janssen, S. (2000): Flächensparende und kostengünstige Verkehrserschließung von Wohngebieten und Stadtquartieren. SchrR „Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover“, H. 29, Hannover

Kloppe, U. (2000): Einsatzbereiche unkonventioneller Bahnkörperformen. SchrR „Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover“, H. 26, Hannover

Landeshauptstadt Hannover (1999): Weltausstellung und Stadtteil Kronsberg, Hannover

Landeshauptstadt Hannover (2002): Die Stadt, der Raum und das Leben. Die Belebung von Stadtplätzen in Hannover, Hannover

Mennicken, C. (1999): Sicherheits- und Einsatzkriterien für Fußgängerüberwege. SchrR „Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover“, H. 24, Hannover

Ministerium für Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (MSVNRW) (1991): Projektgruppe Ortsdurchfahrten: Geschwindigkeitsreduzierung auf Ortsdurchfahrten – ein Versuch zur Erhöhung der Verkehrssicherheit – Ergebnisse und Empfehlungen, Düsseldorf

Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr (MWMTV) des Landes Nordrhein-Westfalen (1999): Empfehlungen zum Einsatz und zur Gestaltung von Mini-Kreisverkehrsplätzen, Düsseldorf

Schnüll, R.; Kloppe, U. (1998): Einsatzbereiche von Bahnkörpern mit halbhohen Borden und einstreifigen Richtungsfahrbahnen. Der Nahverkehr (16), H. 11, S. 31-38

Weiterführende Literatur

Alrutz, D.; Fabian, I.; Fechtel, H.-W., Kölle, M.; Lange, J.; Schnüll, R.; Stellmacher-Hein, J. (1992): Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, H. 262, Bergisch Gladbach

Alrutz, D.; Gündel, D.; Stellmacher-Hein, J.; Angenendt, W.; Draeger, W.; Falkenberg, G.; Klöckner, D. (2001): Verkehrssicherheit in Einbahnstraßen mit gegengerichtetem Radverkehr. SchrR „Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Verkehrstechnik“ H. V 83, Bergisch Gladbach

Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1992): Forschungsvorhaben Flächenhafte Verkehrsberuhigung – Folgerungen für die Praxis, Bonn

Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr Brandenburg (2001): OD-Leitfaden Brandenburg – Leitfaden für die Gestaltung von Ortsdurchfahrten in Brandenburg, Potsdam

Schnüll, R.; Bode, K.-R.; Haller, W.; Lange, J. (1989): Verkehrliche Untersuchungen zur Gestaltung von Ortsdurchfahrten kleiner Orte und Dörfer, Teil 1: Mischflächen und Engstellen, Teil: 2: Entwurfsempfehlungen für Ortsdurchfahrten dörflich und städtisch geprägter Orte. SchrR „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, H. 519 und 573, Bonn

Schnüll, R.; Johannsmeier, R.; Albers, A.; Etzold, P.; Kloppe, U.; Sporbeck, J.; Wilms, A. (1999): Führung von Nahverkehrsfahrzeugen in Hauptverkehrsstraßen. SchrR „Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Verkehrstechnik“, H. V 62, Bergisch Gladbach

Schnüll, R.; Goltermann, S. (2000): Einsatzkriterien für große Kreisverkehrsplätze mit und ohne Lichtsignalanlage an klassifizierten Straßen. SchrR „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, H. 788, Bonn

Schnüll, R.; Hoffmann, S.; Kölle, M.; Engelmann, F. (2001): Grundlagen für die Bemessung von fahrgeometrischen Bewegungsräumen und Abstellflächen für Nutzfahrzeuge mit mehr als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht. SchrR „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, H. 827, Bonn

Topp, H.-H.; Lagemann. A. (2001): Führung des ÖPNV in kleinen Kreisverkehrsplätzen. Schlussbericht zum FE-Nr. 77.431/99 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Kaiserslautern

(*) Foto: Verfasser

5 Ruhender Verkehr

5.1 Parkraumplanung

5.1.1 Ansprüche an die Parkraumplanung

5.1.1.1 Nachfragegruppen

Am Ziel ihrer Fahrt oder wenigstens in dessen unmittelbarer Nähe wünschen sich Fahrrad- wie Autofahrer eine geeignete Abstellmöglichkeit für ihr Fahrzeug. Die bei der Parkraumplanung zu berücksichtigenden Wünsche sind zeitlich und örtlich sehr unterschiedlich, die Ansprüche an die Parkmöglichkeiten variieren.

Radfahrer erwarten zumindest an bedeutenden Zielen, z.B. an Schulen und Hochschulen, bei Einrichtungen der Freizeitgestaltung, an Bahnhöfen und an den Zugängen zu Fußgängerbereichen Abstellanlagen, in denen sie ihr Fahrrad bequem, beschädigungs- und diebstahlsicher und möglichst wettergeschützt anschließen können. Für das gelegentliche oder kurzfristige Abstellen eines Fahrrads werden keine besonderen Forderungen gestellt.

In ganz anderen Dimensionen bewegen sich die Ansprüche an das Parkraumangebot beim individuellen *Kraftfahrzeugverkehr*. Um die Anforderungen besser erkennen und mit den Zielsetzungen der Stadt- und Verkehrsplanung abstimmen zu können, wird bei der Parkraumplanung für den Kraftfahrzeugverkehr nach Nachfragegruppen unterschieden. In den Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV, 2004) werden z.B. 6 Gruppen definiert:

- Einwohner,
- Beschäftigte, Auszubildende, Studierende und Schüler,
- Kunden,
- Besucher und Gäste,
- Dienstleister sowie
- Lieferanten.

Die *Einwohner* suchen Parkraum in unmittelbarer Nähe ihrer Wohnung. Die höchste Nachfrage tritt in den Abend- und Nachtstunden auf. Die Parkdauer ist lang, häufig über 10 Stunden. (Die Angaben zur Parkdauer sind an die „gebräuchlichen Unterscheidungen“ der Empfehlungen für Verkehrserhebungen (FGSV, 1991) angepasst).

Beschäftigte, Auszubildende, Studierende und Schüler erwarten in der Nähe der Arbeits- oder Ausbildungsstätte eine Parkmöglichkeit. In der Abwägung zwischen kostenfreiem und kostenpflichtigem Parken werden jedoch auch lange Fußwege akzeptiert. Die zeitliche Nachfrage entspricht der Dauer der Anwesenheit im Betrieb oder in der (Hoch-)Schule, erstreckt sich jedoch nicht selten auch über einen längeren Zeitraum, wenn z.B. Besorgungen oder Besuche mit dem ursprünglichen Fahrtzweck verbunden werden („Aktivitätenkette“, siehe Kap. C 5.1.2.3). Die Parkdauer ist lang, meist 6 bis 10 Stunden. Die Verlagerung eines Teils der Verkehrsnachfrage dieser Gruppe vom individuellen Kraftfahrzeugverkehr auf den Radverkehr oder auf öffentliche Verkehrsmittel ist umso eher zu erreichen, je besser dort das Angebot ist und je restriktiver Parkraumbeschränkungen gehandhabt werden.

Die *Kunden* wünschen kurze Fußwege zum Ziel der geplanten Aktivität, akzeptieren in attraktiver Umgebung jedoch auch längere Wege. Die zeitliche Nachfrage deckt sich im Wesentlichen mit den Geschäftszeiten. Die Parkdauer ist sehr unterschiedlich, in der Regel aber kurz, bis zu 2 Stunden. Ein Teil der Kunden ist durch Parkleitsysteme ansprechbar.

Besucher und Gäste können eine sehr unterschiedliche Parkraumnachfrage verursachen. Die Besucher von Veranstaltungen und von Einrichtungen der Freizeitgestaltung lassen sich räumlich den Zielen und ihre Parkdauer den zeitlichen Rahmenbedingungen meist recht gut zuordnen. Private Besuchszwecke und das Verhalten von Gästen können dagegen nur sehr pauschal beurteilt werden. Die Parkdauern liegen meist in einem mittleren Bereich zwischen 2 und 6 Stunden. Ortsunkundige Besucher nutzen die Unterstützung von Parkleitsystemen am ehesten.

Die *Dienstleister* im Gesundheitswesen, Handel oder Handwerk benötigen Parkflächen in unmittelbarer Nähe des Ziels. Sie beanspruchen diese Flächen unterschiedlich lange. Die Ansprüche dieser Gruppe sind bei der Parkraumbewirtschaftung im öffentlichen Straßenraum besonders zu bedenken.

Die *Lieferanten* benötigen zum Liefern und Laden Flächen in unmittelbarer Nähe des Ziels, die in der Regel nur für kurze Zeit beansprucht werden. Fallweise sind Nebenflächen zum Zwischenlagern oder Bereitstellen von Transportbehältern oder des Transportguts vorzusehen.

Die hauptsächlichen Parkmerkmale der beschriebenen Nachfragegruppen sind in Abbildung 5.1 schematisch dargestellt.

5.1.1.2 Gebietstypen

Die Probleme, den ruhenden Verkehr stadt- und sozialverträglich unterzubringen, stellen sich von Stadt zu Stadt und innerhalb einer Stadt immer wieder anders dar. Art und Maß

		Einwohner	Beschäftigte, Auszubildende, Studierende und Schüler	Kunden	Besucher und Gäste	Dienstleister	Lieferanten
Parkdauer	kurz	○	○	●	◐	◐	●
	lang	●	●	○	◐	◐	○
Auf das Parken im öffentlichen Straßenraum angewiesen		◐	◐	◐	◐	◐	●
Verlagerung auf andere Verkehrsmittel möglich		○	●	◐	◐	○	○
Langer Fußweg zumutbar		○	●	◐	◐	○	○
Kostenpflichtige Bewirtschaftung zweckmäßig		○	◐	●	●	●	○
Durch Parkleitsysteme ansprechbar		○	○	◐	●	◐	○

● Trifft zu ◐ Trifft teilweise zu ○ Trifft nicht zu

Abb. 5.1 Parkraumnachfrager und Parkmerkmale. (FGSV, 2004)

des Parkraumangebots haben sich daher nicht nur an den Zielen der „makroskopischen“ Stadtentwicklungsplanung zu orientieren, sondern auch an den „mikroskopischen“ Befunden in den einzelnen Stadtquartieren. Die unterschiedlichen Gegebenheiten lassen sich für einzelne Gebietstypen in einer groben Systematisierung wie folgt beschreiben:

In *Stadtkerngebieten* überlagern sich die Ansprüche der Nachfragegruppen auf engstem Raum. Die Nutzungscharakteristik ist in Stadtkerngebieten großer Oberzentren anders als in Stadtkerngebieten kleiner Oberzentren oder Mittelzentren. Deswegen ist bei der Parkraumplanung nach diesen Kategorien zu unterscheiden (siehe Kap. C 5.1.2.3). Der gesamte Parkraumbedarf des individuellen Kraftfahrzeugverkehrs wird im Allgemeinen nicht zu befriedigen sein. Wird im Sinne einer „Mangelverwaltung“ eine Rangfolge über die Notwendigkeit der Erfüllung der Parkraumnachfrage aufgestellt, so sind von einer Beschränkung in erster Linie die Beschäftigten, Aus- zubildenden, Studierenden und Schüler betroffen, da dieser Nachfragegruppe der Verzicht auf die Pkw-Nutzung am ehesten zuzumuten ist.

Stadtkernnahe Altbaugebiete sind durch Wohnnutzung und gewerbliche Nutzung hoher Dichte geprägt. Der Erhalt bestehender Baustrukturen und Maßnahmen zur Verbesserung des Wohnumfelds begrenzen die Möglichkeiten, ausreichend Parkraum für Einwohner und Beschäftigte zu schaffen. Parkraumdefizite können im Ansatz dauerhaft nur gemildert werden durch Reduzierung verkehrserzeugender Nutzflächen bei gleichzeitiger Erweiterung der Parkmöglichkeiten außerhalb des Straßenraums.

Bei *Wohngebieten* ist die Parkraumnachfrage der Einwohner abhängig vom Motorisierungsgrad. Sie ist unabhängig von der Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel. Diese verringert die Parkraumnachfrage nicht, sie kann sogar den Parkraummangel verschärfen, da Parkraum von Einwohnern belegt bleibt und nicht für andere Nachfragegruppen frei gemacht wird. In allgemeinen Wohngebieten ist mit einem nicht unerheblichen Parkzielverkehr von Beschäftigten, Auszubildenden, Schülern, Kunden, Dienstleistern und Lieferanten zu rechnen.

In *Gewerbe- und Industriegebieten* dominiert der Parkraumbedarf der Beschäftigten und der Lieferanten. Mit Unterstützung der Firmen können ggf. beachtliche Verkehrsanteile auf öffentliche Verkehrsmittel (z.B. durch Fahrgeldzuschüsse) oder Fahrgemeinschaften (z.B. durch Mitfahrervermittlung, Fahrzeuggestellung oder Kostenzuschüsse) verlagert werden.

5.1.1.3 Standortwahl

Parkplätze und Parkbauten sind durch einen hohen Flächenbedarf gekennzeichnet und durch im Vergleich zum Umfeld meist große Proportionen. In dieser Hinsicht besonders schwierig wird das Einfügen von Anlagen für den ruhenden Verkehr in Baugebiete, die weit vor der Industrialisierung und Motorisierung entstanden sind.

Einige wesentliche Gesichtspunkte zur Standortwahl lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Eine günstige Lage der Anlage des ruhenden Verkehrs ist in aller Regel dann gegeben, wenn einerseits die Anbindung an Hauptverkehrsstraßen und die Einbindung in ein Parkleitsystem besteht und andererseits eine Integration in das Zielgebiet erreicht wird.

Topographische Gegebenheiten, z.B. eine Hanglage, sollten durch eine dem Gelände angepasste Erschließung möglichst geschickt genutzt, die prägende Geländeform durch das Bauwerk nicht gestört werden.

Volumen, Höhe und Gliederung der umgebenden Baukörper bestimmen die für das Umfeld gestalterisch verträgliche Anlagengröße. Große Parkplätze sollten mit der schmalen Seite zu Straße angelegt werden. Große Park-

bauten sollten nur an Standorten realisiert werden, die eine eigenständige Ausformung des gesamten Bauwerks erlauben. Besonders bei Klein- und Mittelstädten stören großflächige Parkplätze oder massige Baukörper, daher muss vom Gesamtkonzept der Parkraumplanung her auf kleine, an verschiedenen Stellen möglichst günstig platzierte Anlagen hingewirkt werden.

In den Stadtkerngebieten und in stadtkernnahen Altbaugebieten spielt der Denkmal- und Ensembleschutz eine ausschlaggebende Rolle. Die umfeldverträgliche Einfügung eines Parkhauses darf sich in einer solchen Umgebung nicht auf das Bemänteln des Bauwerks mit einer historisierenden Fassade beschränken. Eher anzustreben ist die rücksichtsvolle, gestalterisch eigenständige Lösung oder eine weitgehende Zurücknahme des Bauwerks in das Grundstücksinnere, z.B. durch umrahmende straßen- und gebietstypische Randnutzungen, die sich gestalterisch leichter integrieren lassen.

Nicht zu vergessen bei der behutsamen Einfügung von Anlagen des ruhenden Verkehrs in die Umgebung sind Einzelelemente, wie außerhalb des Bauwerks liegende Rampen, Fassadenöffnungen für Ein- und Ausfahrten, Dachaufbauten, Lüftungsanlagen, Schilder und Transparente. In diesem Bereich liegen häufig die Gestaltungsmängel sonst unproblematischer Tiefgaragen. Soweit dies stadthistorisch und stadtgestalterisch zu vertreten ist, kann das Erscheinungsbild von Parkbauten durch Fassadenbegrünung lebendiger und freundlicher gestaltet werden.

Zusätzlich zu den genannten städtebaulichen Anforderungen sind die Belange des Umweltschutzes ausreichend zu beachten. Durch geeignete Standortwahl und problembewusstes Entwerfen sind Lärm- und Schadstoffbelastungen durch Stauräume, Rampen, Abluftanlagen usw. von Wohn- und Arbeitsplätzen bei technisch und gestalterisch vertretbarer Lokalisierung weitgehend fern zu halten.

Da Parkbauten eine lange Lebensdauer haben, sollte ihr Standort auch möglichen zukünftigen stadt- und verkehrsplanerischen Absichten Spielraum lassen.

5.1.2 Angebotsbemessung

5.1.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Es ist zweckmäßig, das Untersuchungsgebiet so zu wählen, dass die zur Ermittlung des Parkraumbedarfs erforderlichen statistischen Daten, wie Einwohner- und Beschäftigtenzahlen oder Büro- und Verkaufsflächen gebietsscharf zur Verfügung stehen. Wenn die Gefahr besteht, dass Parkraumnachfrager, z.B. durch Maßnahmen der Parkraumbewirtschaftung, in Nachbargebiete verdrängt werden, sind die möglicherweise betroffenen Gebiete in die Untersuchung einzubeziehen.

5.1.2.2 Ermittlung des Parkraumangebots

Das *aktuelle Parkraumangebot* wird in der Regel durch eine Begehung des Untersuchungsgebiets ermittelt. Dabei ist u.a. zu unterscheiden zwischen unbewirtschafteten und bewirtschafteten Parkständen im Straßenraum sowie zwischen öffentlich zugänglichen und nicht allgemein zugänglichen privaten Stellplätzen auf Parkplätzen, in Garagen und in Parkbauten, die ggf. nur geschätzt werden können. Die Nachfragegruppen (siehe Kap. C 5.1.1.1) sind nach Möglichkeit getrennt zu erfassen, da sie im Rahmen des Parkraum-Managements gebiets- und zeitbezogen unterschiedlich zu behandeln sind. Die nutzungsrechtliche Unterscheidung ist erforderlich, weil z.B. freie private Stellplätze wegen des an eine Person oder ein Fahrzeug gebundenen Nutzungsrechts nicht gegen belegte öffentliche Parkstände aufgerechnet werden dürfen. Die gruppenspezifische Differenzierung er-

möglicht es, den Bedarf nach Langparkern (z.B. Einwohner und Beschäftigte) und Kurzparkern (z.B. Kunden und Besucher) zu unterscheiden.

Zusätzlich und gesondert auszuweisen ist der Anteil der Falschparker, da dieser ein Indiz dafür ist, inwieweit das Parkraumangebot den Erfordernissen der Gebietsstruktur entspricht. Die Erhebungsmethoden sind in Teil B, Kapitel 2.3.5 beschrieben.

Das *künftige Parkraumangebot* wird aus dem aktuellen Angebot entwickelt. Dabei werden bereits bekannte Änderungen, z.B. wegfallende oder hinzukommende Parkmöglichkeiten und die Änderung von Bewirtschaftungsformen, z.B. nach Ort, Zeitdauer, Kostenpflichtigkeit oder Nutzerwidmung (ggf. auch in Nachbargebieten) berücksichtigt.

5.1.2.3 Prognose des Parkraumbedarfs

Der Parkraumbedarf wird in der Praxis häufig aus der Erhebung der aktuellen Parkraumnachfrage abgeleitet. Erhobene Daten ermöglichen jedoch bei Parkraummangel keine Aussage über den tatsächlichen Bedarf. Sie ermöglichen auch nicht die Berücksichtigung von Nutzungsänderungen oder Änderungen des Verkehrsangebots. Aus diesen Gründen lässt sich der Parkraumbedarf im Allgemeinen aus Erhebungen (allein) nicht herleiten.

Berechnungen auf Basis der objektbezogenen Richtzahlen aus den Stellplatzsatzungen der Kommunen (siehe Kap. C 5.1.3.2) bilden in der Regel den Parkraumbedarf auch nicht realistisch ab, weil z.B. die örtliche Qualität des ÖPNV und die wechselseitige Parkraumbereitstellung (siehe Kap. C 5.3.2) nicht ausreichend berücksichtigt werden können.

Ein von Bosserhoff (2001) entwickelter modellhafter Ansatz zur Abschätzung des Verkehrsaufkommens bietet die Möglichkeit, den Parkraumbedarf auch für unterschiedliche Szenarien zu ermitteln. Die grundsätzliche Vorgehensweise lässt sich schematisch wie folgt darstellen: Im Untersuchungsgebiet werden die von den Parkraumnachfragern aufgesuchten Nutzungen für einen zu wählenden Zeitpunkt prognostiziert. Für jede Kombination aus Nutzung und Nachfragegruppe wird, unter Berücksichtigung der Verkehrsmittelnutzung (siehe Kap. B 1.4) das *nutzungorientierte* Tageszielverkehrsaufkommen berechnet. Um die Verknüpfung unterschiedlicher, jedoch von einem Startpunkt (Parkstand) ausgehenden Aktivitäten (Aktivitätenkette) zu berücksichtigen, ist der jeweilige Zielverkehr zu den einzelnen Nutzungen im Verhältnis Zielwege in das Untersuchungsgebiet zu Zielwege im Untersuchungsgebiet (Aktivitätenkettenfaktor) abzumindern. Nutzungsorientierte Kenngrößen zur unmittelbaren Bestimmung des Tageszielverkehrsaufkommens, wie sie aus Einzeluntersuchungen z.B. von Bosserhoff (2001) und Schuster et al. (1999) angegeben werden oder aus dem FGSV-Arbeitspapier Nr. 49 (1999) entnommen werden können, weisen zum Teil erhebliche Spannweiten auf. Liegt das aus den Einzelwerten summierte gesamte künftige Tageszielverkehrsaufkommen für jede Nachfragegruppe vor, lässt sich mit Hilfe von Zufluss- und Abflussganglinien die von Restriktionen oder von konkurrierenden Angeboten noch nicht beeinflusste Parkraumbelegung im Untersuchungsgebiet ermitteln. Differenzierte standardisierte Ganglinien können zurzeit nicht mitgeteilt werden. Eine Veröffentlichung der FGSV zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Wohn-, Misch-, Gewerbe- und Sondergebieten ist in Vorbereitung.

Aus einer Untersuchung von Gerlach et al. (2000) liegen für Stadtkerngebiete und stadtkernnahe Altbaugebiete, als deren wesentliche Nachfragegruppen Einwohner, Beschäftigte und Kunden gelten können, *gebietstyporientierte* Kenngrößen sowohl für das Tageszielverkehrsaufkommen als auch für das Parkverhalten vor. Dieses Verfahren wurde für die

EAR (FGSV, 2004) aufbereitet. Mit den für den Prognosezeitpunkt gewählten Ausgangsdaten und mit den Angaben in Tabelle 5.1 kann für jede Nachfragegruppe das gesamte künftige Tageszielverkehrsaufkommen überschläglich quantifiziert werden. Wenn das Untersuchungsgebiet eine gewisse Homogenität der Nutzungen aufweist und nicht zu groß gewählt wurde, kann der Binnenverkehr im Allgemeinen vernachlässigt werden. Die Bilanz der gebietsintern frei werdenden und zeitgleich nachgefragten Parkstände wird dabei als ausgeglichen angenommen. Aktivitätenkettenfaktoren sind nicht anzusetzen, weil Verbundeffekte bereits berücksichtigt sind.

Mit Hilfe der Abbildungen 5.2 bis 5.5 lässt sich für die angegebenen Gebietstypen die künftige Parkraumbelegung ermitteln. Der Anteil der Kurzparker ist gesondert ausgewiesen.

Erstes Ergebnis der Schätzung mit Hilfe des nutzungorientierten Verfahrens oder der überschläglichen Quantifizierung mit Hilfe des gebietstyporientierten Verfahrens ist der künftige Bedarf an Parkraum der Nachfragegruppen über den Tagesverlauf. Überlagert man den Bedarf der einzelnen Gruppen, erhält man den Gesamt-Parkraumbedarf im Untersuchungsgebiet.

5.1.2.4 Aufstellung der Parkraumbilanz

Wenn der Parkraumbedarf mit dem künftigen Parkraumangebot abgeglichen wird (Parkraumbilanz), ist es erforderlich schrittweise vorzugehen, unterschieden nach Nutzungen, Nachfragegruppen und Tageszeit. Der Bedarf und das Angebot können sich in Abhängigkeit von der Nutzungsart im Tagesverlauf erheblich verschieben, von der monofunktionalen Zuordnung (z.B. für Bewohner) bis zur überschneidungsfreien wechselseitigen Parkraumbereitstellung (z.B. für Beschäftigte und für Besucher von Veranstaltungen).

Nach Aufstellung der Parkraumbilanz lassen sich Parkraumdefizite oder -überschüsse im Untersuchungsgebiet feststellen,
- nach Ort des Auftretens,
- für bestimmte Nachfragegruppen oder
- im Tagesverlauf.

Tabelle 5.1 Spezifisches Tageszielverkehrsaufkommen nach Gebietstypen. (Nach FGSV, 2004)

Gebietstyp	Nachfragegruppe	Gebietstyporientiertes spezifisches Tageszielverkehrsaufkommen[1)]
Stadtkerngebiet in Oberzentren mit mehr als 400.000 Einwohnern	Einwohner Beschäftigte Kunden	1,05 Kfz-Fahrten / Einwohner · d 0,56 Kfz-Fahrten / Beschäftigter · d 0,22 Kfz-Fahrten / m² Verkaufsfläche · d
Stadtkerngebiet in Oberzentren mit weniger als 400.000 Einwohnern	Einwohner Beschäftigte Kunden	0,53 Kfz-Fahrten / Einwohner · d 0,59 Kfz-Fahrten / Beschäftigter · d 0,16 Kfz-Fahrten / m² Verkaufsfläche · d
Stadtkerngebiet in Mittelzentren	Einwohner Beschäftigte Kunden	0,52 Kfz-Fahrten / Einwohner · d 0,70 Kfz-Fahrten / Beschäftigter · d 0,21 Kfz-Fahrten / m² Verkaufsfläche · d
Stadtkernnahes Altbaugebiet	Einwohner Beschäftigte Kunden	0,49 Kfz-Fahrten / Einwohner · d 0,64 Kfz-Fahrten / Beschäftigter · d 0,19 Kfz-Fahrten / m² Verkaufsfläche · d

[1)] Die angegebenen Werte repräsentieren nicht nur Fahrten, die den drei Indikatoren Einwohner, Beschäftigte und Verkaufsflächen (Kunden) direkt zugewiesen werden können, sondern auch Zielverkehre, die den nicht separat ausgewiesenen Parkraumnachfragern wie Auszubildende, Studierende, Dienstleister usw. indirekt zuzuordnen sind.

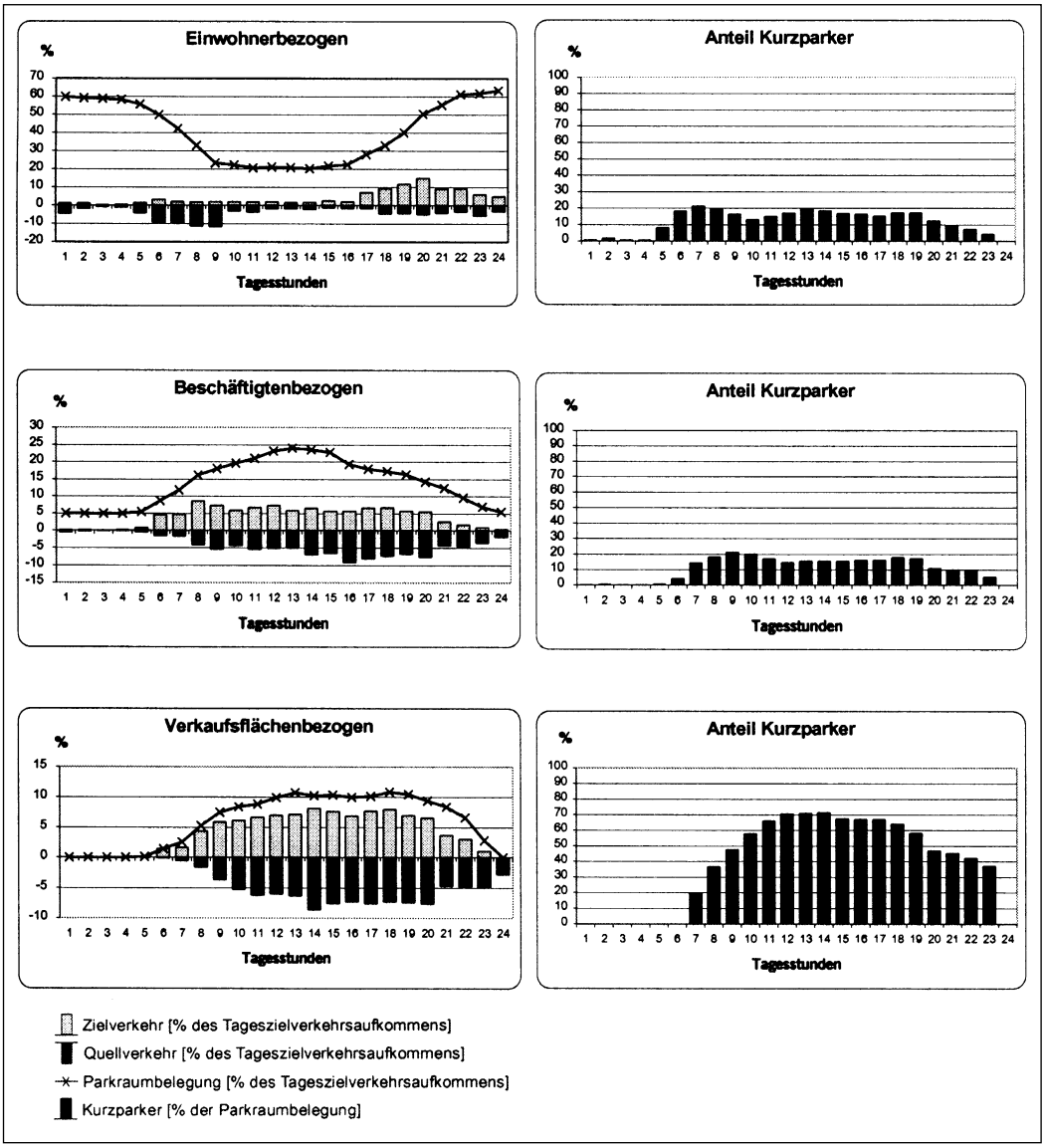


Abb. 5.2 Typisierte spezifische Tagesganglinien für Stadtkerngebiete in Oberzentren mit mehr als 400.000 Einwohnern. (Gerlach et al., 2000)

Aus dem Ort des Auftretens von Parkraumdefiziten oder -überschüssen lassen sich Teilgebiete erkennen, in denen Parkraum einer bestimmten Art geschaffen werden sollte oder verringert werden kann. Aus der Zuordnung zu den Nachfragegruppen lässt sich ableiten, welche Parkraumart mit welcher Bewirtschaftungsform fehlt oder zu umfangreich vorgesehen ist. Über die intervallweise Bilanzierung kann das Parkraumangebot an den tageszeitlich unterschiedlichen Bedarf angepasst werden.

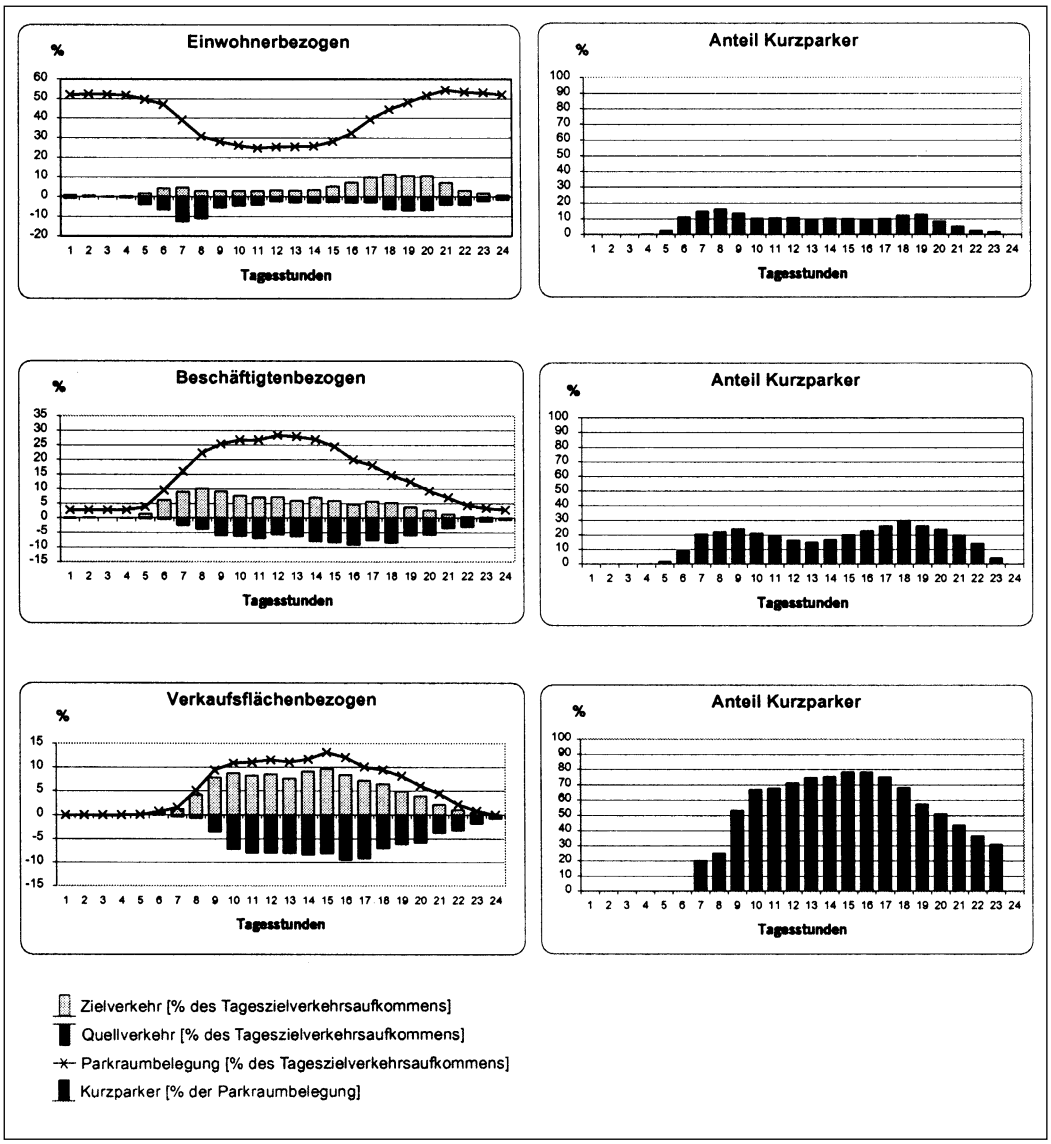


Abb. 5.3 Typisierte spezifische Tagesganglinien für Stadtkerngebiete in Oberzentren mit weniger als 400.000 Einwohnern. (Gerlach et al., 2000)

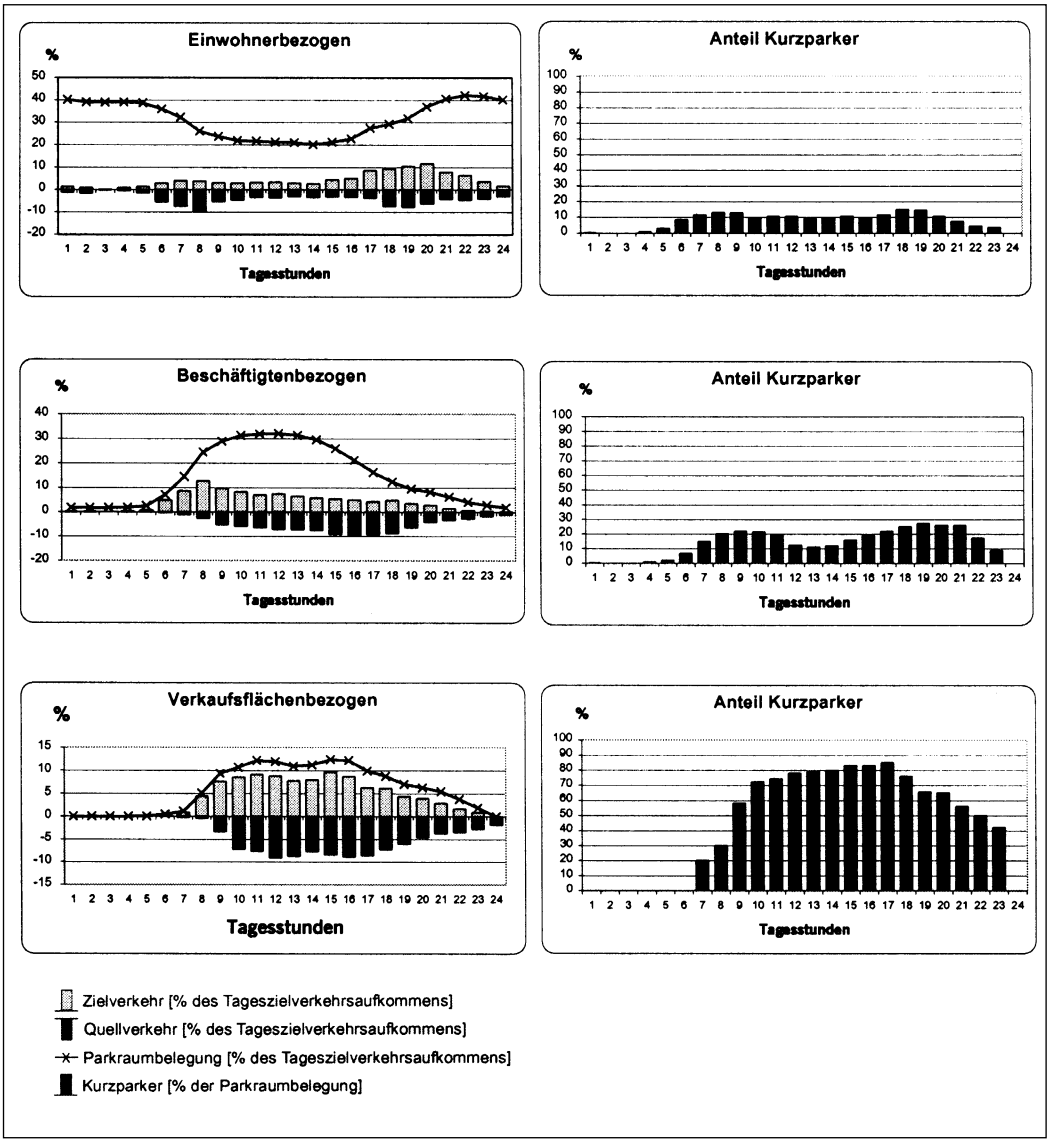


Abb. 5.4 Typisierte spezifische Tagesganglinien für Stadtkerngebiete in Mittelzentren. (Gerlach et al., 2000)

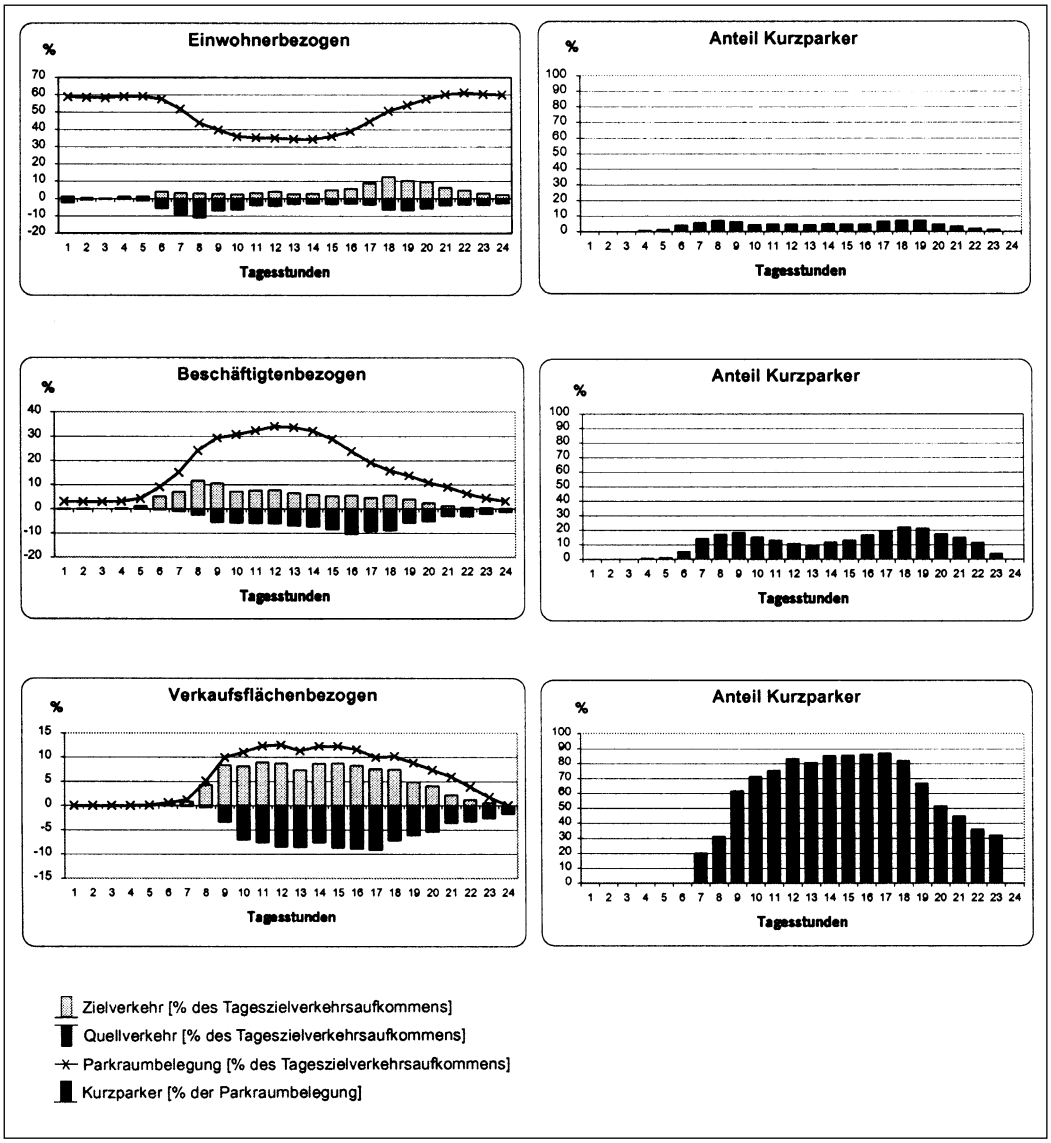


Abb. 5.5 Typisierte spezifische Tagesganglinien für stadtkernnahe Altbaugebiete. (Gerlach et al., 2000)

5.1.3 Parkraumbereitstellung

5.1.3.1 Allgemeines

Anzustreben ist ein einheitliches Konzept der Parkraumbereitstellung für möglichst alle öffentlichen Parkflächen und privaten Einstellflächen eines Stadtgebiets oder der ganzen Stadt unter Berücksichtigung der Potentiale außerhalb der Stadtgrenzen, wie sie z.B. mit P+R-Angeboten (siehe Kap. C 5.3.3.1) gegeben sein können.

Zur Steuerung der Parkraumbereitstellung stehen rechtliche, bauliche, betriebliche und verkehrslenkende Maßnahmen zur Verfügung. Parkraumkonzepte für Klein- und Mittelstädte werden z.B. von Haller und v. Lübke (1994) beschrieben. Eine Materialsammlung zum „Parken in der Stadt“ (Huber-Erler et al., 1996) sowie eine Gesamtwirkungsanalyse zur Parkraumbewirtschaftung (Baier et al., 2000) wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragt und veröffentlicht. Weitere Ansätze, Bausteine und kritische Analysen kommunaler Parkraumkonzepte finden sich z.B. in den Empfehlungen des Deutschen Städte- und Gemeindebunds (1996) sowie bei Topp (1998), (1999) oder Baier und Hebel (2001).

5.1.3.2 Rechtliche Maßnahmen

Flächen für Anlagen des ruhenden Verkehrs außerhalb des öffentlichen Straßenraums unterliegen dem *Bauplanungsrecht*. Der verbindliche Bauleitplan (Bebauungsplan) kann sowohl Festsetzungen zu (privaten) Stellplätzen und Garagen als auch zu (öffentlichen) Parkplätzen und Parkbauten enthalten.

Die *Bauordnungen* der Länder sowie die daraus abgeleiteten kommunalen Satzungen bestimmen bei der Genehmigung eines Bauvorhabens, bei dem ein Zu- und Abgangsverkehr mit Kraftfahrzeugen zu erwarten ist, dass die „notwendigen“ Stellplätze und Garagen auf dem Baugrundstück oder in zumutbarer Entfernung davon auf einem geeigneten Grundstück herzustellen sind. Ist es dem Bauherrn aufgrund der örtlichen Randbedingungen nicht zuzumuten diese Stellplätze zu schaffen, kann die Herstellungspflicht durch Ablösebeträge abgegolten werden. Diese sind von den Kommunen in der Regel zweckgebunden einzusetzen für Maßnahmen, die geeignet sind, die Straßen vom ruhenden Verkehr zu entlasten, z.B. auch zur Förderung des ÖPNV oder des Radverkehrs.

Die Regelungen zum ruhenden Verkehr in den Länderverordnungen und in den Gemeindesatzungen weichen stark voneinander ab. Grundsätzlich werden folgende Möglichkeiten praktiziert:

1. Anhand von Richtzahlen wird nutzungsspezifisch festgelegt, wie viele „notwendige“ Stellplätze der Bauherr herzustellen hat.
2. Aus städtebaulichen oder verkehrlichen Gründen wird die Anzahl der herzustellenden Stellplätze beschränkt. D.h., die „notwendigen“ Stellplätze werden im Grundsatz gefordert, dürfen aber nicht oder nur zum Teil vom Bauherrn selbst gebaut werden. Die Differenz ist abzulösen.
3. Die Stellplatzverpflichtung wird von vornherein differenziert festgelegt, z.B. durch Anerkennung einer wechselseitigen Bereitstellungsquote (siehe Kap. C 5.3.2) oder durch Bewertung der Standortqualität hinsichtlich der Erschließung durch öffentliche Verkehrsmittel.
4. Der Bauherr kann die Herstellungspflicht ganz oder teilweise kompensieren durch Maßnahmen, die zur Verringerung der Parkraumnachfrage führen, z.B. durch Ausgabe von Jobtickets oder Förderung von Fahrgemeinschaften.
5. Die Errichtung von Stellplätzen unterliegt keiner Verpflichtung.

Zur Bewirtschaftung des Parkraums im öffentlichen Straßenraum bietet das *Straßenverkehrsrecht* eine Reihe von Möglichkeiten, mit

denen ein auf die einzelnen Nachfragegruppen abgestimmtes Angebot erreicht werden kann. Für Kurzparker können mit Hilfe von Parkuhren oder Parkscheinautomaten attraktive Parkflächen vorgehalten werden. Die zulässige Parkdauer und die Höhe des Entgelts sollten so festgelegt werden, dass für die vorhandenen Parkstände ein nach den örtlichen Bedürfnissen optimaler Umschlagsgrad erreicht wird. Mit Parkscheiben können mittlere Parkdauern, vorzugsweise als Zonenregelung, erzielt werden. Mit Zusatzschildern zu den das Halten und Parken regelnden Verkehrszeichen können Parkflächen für bestimmte Personen, Nutzerkreise oder Fahrzeugarten reserviert werden, z.B. für Behinderte oder Taxen. Mit der Sonderparkberechtigung für Bewohner können die Parkprobleme der Einwohner zumindest teilweise behoben werden. Es wird allerdings kein zusätzlicher Parkraum geschaffen, da lediglich gebietsfremde Parkraumnachfrager verdrängt werden. Durch den Wegfall des quartierfremden Parksuchverkehrs und den damit zusammen hängenden Belästigungen verbessert sich das Wohnumfeld (nähere Ausführungen hierzu enthalten die EAR (FGSV, 2004)).

5.1.3.3 Bauliche Maßnahmen

In stadtkernnahen Altbaugebieten ist der Bau von Quartiergaragen zu erwägen, entweder als Tiefgaragen, z.B. unter Innenhöfen oder als Hochgaragen, z.B. als Anbauten oder in Baulücken. Die ebenerdige Belegung von Innenhöfen mit Park- oder Einstellständen ist problematisch, da bei ohnehin meist erheblichem Freiflächenmangel in diesen Gebieten andere Nutzungsmöglichkeiten im Vordergrund stehen sollten.

Im Übergang von Stadtkerngebieten zu den äußeren Stadtgebieten bieten sich gelegentlich Möglichkeiten zur Neuordnung des Straßenraums. Dabei können ggf. Flächen für den ruhenden Verkehr, für Begrünung und Aufenthalt usw. gewonnen werden.

Mit dem Bau von Park-and-ride-Anlagen am Stadtrand oder in der Region (siehe Kap. C 5.3.3.1) oder von Parkplätzen für Fahrgemeinschaften an Autobahnanschlussstellen kann ein Beitrag zur Entspannung der Parkraumsituation in verkehrsüberlasteten Gebieten geleistet werden.

5.1.3.4 Betriebliche Maßnahmen

Im Rahmen der Parkraumbereitstellung dürfen betriebliche Maßnahmen sich nicht auf den öffentlichen Straßenraum beschränken. In einem Gesamtkonzept sind Betriebszeiten, Geltungszeiten von Beschränkungen und Gebührenregelungen möglichst aller Anlagen des ruhenden Verkehrs einer Stadt aufeinander abzustimmen.

In den Stadtkerngebieten ist es zweckmäßig, den Anteil der Langparker durch progressive Tarife zurückzudrängen. Bei der Umwandlung von Langzeitparkständen in Kurzzeitparkstände ist jedoch zu bedenken, dass aufgrund des häufigeren Umschlags je Parkstand im näheren Umfeld ein höheres Verkehrsaufkommen erzeugt wird. Mit Sondertarifen können Anreize zur Nutzung örtlich oder zeitlich nicht ausgelasteter Parkflächen gegeben werden. Durch wechselseitige Parkraumbereitstellung kann zu gewissen Zeiten zusätzlicher Parkraum für bestimmte Nachfragegruppen geschaffen werden (siehe Kap. C 5.3.2).

5.1.3.5 Verkehrslenkende Maßnahmen

Durch die Einrichtung eines dynamischen Parkleitsystems kann eine frühzeitige Information über die Belegung der Parkmöglichkeiten und damit ggf. eine gleichmäßigere Auslastung des Parkraumangebots erreicht werden. Die Parkraumnachfrager werden am Gebietsrand zunächst auf das Leitsystem hingewiesen. In der Regel folgt dann eine Information über den Belegungszustand in zweckmäßig abgegrenzten Parkbereichen mit ortsüblich bekannten Bezeichnungen wie „Altstadt“

usw. Im Verlauf der Annäherung an das Parkzielgebiet werden die Hinweise detaillierter und beziehen sich zuletzt auf eine einzelne Anlage. Angezeigt werden z.B. Zielnamen, -richtungen oder -entfernungen, Zustände (frei, besetzt, geschlossen) oder die Anzahl freier Parkstände („Restplatzanzeige“). Die Steuerung des Systems basiert auf der automatischen und kontinuierlichen Differenzbildung zwischen der Anzahl der einfahrenden und der ausfahrenden Gelegenheitsparker für jede angeschlossene Parkfläche. Die wechselnden Anzeigen müssen sehr zuverlässig sein, denn nur wenn die Verkehrsteilnehmer regelmäßig einen der Anzeige entsprechenden Zustand vorfinden, werden sie die Hinweise befolgen. Die verkehrstechnischen Grundlagen der Parkleitsysteme werden ausführlich in den EAR (FGSV, 2004) dargestellt. Darin wird u.a. empfohlen, ab 50 bis 60 Parkständen je Parkfläche auf die Parkmöglichkeit im öffentlichen Straßenraum hinzuweisen und wegen des höheren Informationsgehalts die Restplatzanzeige zu verwenden. Empfehlungen zur Konzeption und zur Steuerung sind in den Hinweisen zu Parkleitsystemen der FGSV (1996) enthalten. Zahlreiche Ausführungsbeispiele sind z.B. bei Körntgen (1993) und in einer Broschüre des ADAC (1998) zusammengestellt. Ausführungen zur Wirksamkeit und zum Parkverhalten finden sich z.B. bei Boltze et al. (1994) und bei Körntgen (1996).

5.2 Parkflächenentwurf

5.2.1 Entwurfsgrundlagen

5.2.1.1 Art der Fahrzeugaufstellung

Die Art der Fahrzeugaufstellung wird nach dem Aufstellwinkel α unterschieden:

- Längsaufstellung ($\alpha = 0$ gon),
- Schrägaufstellung (50 gon $\leq \alpha <$ 100 gon) und
- Senkrechtaufstellung ($\alpha = 100$ gon).

Die *Längsaufstellung* wird vorwiegend für das Parken und Laden am Fahrbahnrand angewandt.

Die *Schrägaufstellung* erlaubt zügiges Ein- und Ausparken und unterstützt auf Parkflächen die gewünschte Verkehrsführung. Aufstellwinkel < 50 gon sind vom Flächenbedarf her unwirtschaftlich.

Die *Senkrechtaufstellung* ist entwurfs- und bautechnisch am einfachsten zu handhaben. Das Ein- und Ausparken kann im Straßenverkehr und bei beengten Verhältnissen schwierig sein.

5.2.1.2 Parkstandbreite

Die Parkstandbreite b richtet sich nach dem Bemessungsfahrzeug (geometrische Kenngrößen und Höchstmaße nach StVZO siehe FGSV, 2001 u. Kap. C 4, Tab. 4.1) und den Anforderungen an die Zugänglichkeit der Fahrzeuge. Zwischen den abgestellten Fahrzeugen oder zu Bauwerksteilen sollte bei Pkw und Zweiradfahrzeugen der lichte seitliche Abstand 0,75 m betragen. Damit ist eine bequeme seitliche Zugänglichkeit gegeben. Das Maß kann dort, wo mit der Örtlichkeit vertraute Nutzer davon betroffen sind, z.B. auf privaten Parkflächen, bis auf 0,55 m für eine nur noch beengte Zugänglichkeit reduziert werden. Bei Parkständen für Rollstuhlbenutzer ist auf einer Fahrzeugseite ein lichter Abstand von 1,75 m einzuhalten. Zum Abstellen von Lkw und Bussen wird ein

seitlicher Abstand von 1,00 m zwischen den Fahrzeugen oder zu seitlichen Begrenzungen empfohlen.

Für den *Bemessungs-Pkw* nach FGSV (2001) mit 1,76 m Breite ergeben sich somit folgende praktikable Regelmaße für die Parkstandbreite:

– Bei Längsaufstellung:
  b = 2,00 m mit anliegender begehbarer Fläche,
    = 2,35 m neben Mauern und Brüstungen.
– Bei Schräg- und Senkrechtaufstellung:
  b = 2,50 m, wenn keine Längsseite,
    = 2,85 m, wenn eine Längsseite und
    = 2,90 m, wenn jede Längsseite
  durch Bauwerksteile oder Absperrungen im Bereich der Türen begrenzt ist.

Für *Rollstuhlbenutzer* sind folgende Parkstandbreiten einzuhalten:

b = 3,50 m (3,90 m neben festen Einbauten).

Die Regelparkstandbreite für *Lkw und Busse* (Außenabmessungen siehe FGSV, 2001) beträgt:

– Bei Längsaufstellung:
  b = 3,00 m.
– Bei Schräg- und Senkrechtaufstellung:
  b = 3,50 m.

Sofern zwischen den abgestellten Fahrzeugen be- und entladen wird, sollte die Parkstandbreite auf 4,00 bis 4,50 m vergrößert werden.

Für *Fahrräder* mit einer Lenkerbreite von 0,60 m und einer Korb- oder Kindersitzbreite von 0,45 m ergeben sich folgende Maße:

– Einzelaufstellung mit Vorderradhalter:
  b = 1,20 m (mind. 0,80 m) Achsmaß.
– Beidseitige Aufstellung mit Rahmenhalter:
  b = 1,50 m Achsmaß.

5.2.1.3 Parkstandtiefe

Die Parkstandtiefe t ist abhängig vom Aufstellwinkel, von der Länge und Breite des Bemessungsfahrzeugs (FGSV, 2001) sowie von vereinbarten Sicherheitsabständen in Fahrzeuglängsrichtung. Sie wird senkrecht zur Fahrgasse gemessen.

Für *Pkw* kann der Zusammenhang zwischen Parkstandtiefe und Aufstellwinkel Abbildung 5.6 entnommen werden.

Die bei *Lkw und Bussen* mit der üblicherweise verwendeten Schrägaufstellung von 50 gon in der Regel einzuhaltenden Parkstandtiefen differieren je nach Bemessungsfahrzeug (FGSV, 2001):

– Lastzüge: t = 18,00 m,
– Gelenkbusse, Sattelzüge, Busse bis 15 m Länge: = 15,50 m sowie
– Lkw und 12-m-Busse: = 11,25 m.

Für *Fahrräder* sind folgende Maße anzuwenden:

– Bei Schrägaufstellung mit 50 gon:
  t = 1,50 m.
– Bei Senkrechtaufstellung
  t = 2,00 m.

5.2.1.4 Fahrgassenbreite

Die Fahrgassenbreite g wird im Wesentlichen bestimmt vom Aufstellwinkel der Fahrzeuge, von der Parkstandbreite und von der Fahrweise des Bemessungsfahrzeugs.

Die Abmessungen für *Pkw* (mit Ein- und Ausparken ohne Rangieren) sind der Tabelle 5.2 zu entnehmen.

Nach den EAR (FGSV, 2004) soll die Mindestfahrgassenbreite für Einrichtungsverkehr 3,00 m, für Zweirichtungsverkehr 4,50 m betragen. Die maximale Fahrgassenbreite sollte 6,00 m nicht überschreiten, um zu verhindern, dass Fahrzeuge in der Fahrgasse verkehrswidrig abgestellt werden.

Fahrgassen in Abstellanlagen für *Lkw oder Busse* werden in der Regel im Einrichtungsverkehr befahren. Für die Schrägaufstellung mit 50 gon sollten folgende Grundmaße verwendet werden:

– Lastzüge, Gelenkbusse, Sattelzüge, Busse bis 15 m Länge: g = 6,50 m sowie
– Lkw und 12-m-Busse: = 5,75 m.

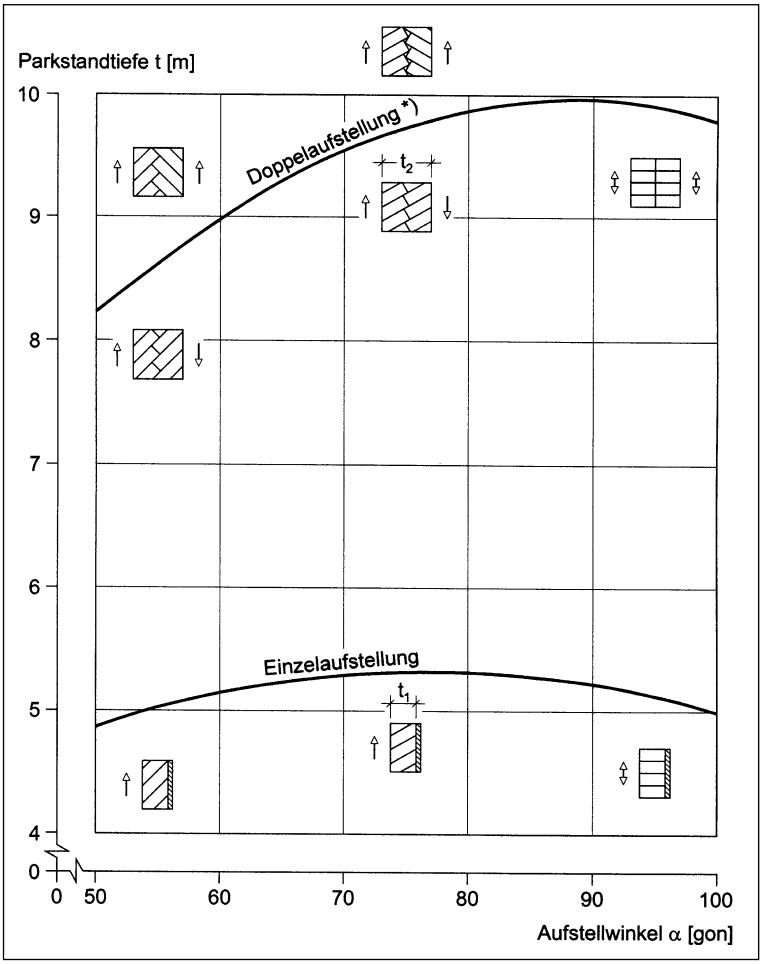


Abb. 5.6 Parkstandtiefe für Pkw in Abhängigkeit vom Aufstellwinkel. (FGSV, 2004)

Tabelle 5.2 Fahrgassenbreiten für Pkw in Abhängigkeit vom Aufstellwinkel, bei einer Parkstandbreite von 2,50 m. (FGSV, 2004)

Aufstellwinkel α [gon]	50	60	70	80	90	100
Fahrgassenbreite g [m]	3,00	3,50	4,00	4,50	5,25	6,00

Fahrgassen auf Parkflächen für *Fahrräder* sollten 1,80 m breit sein, wenn sie in beiden Richtungen befahren werden. Bei Schrägaufstellung mit 50 gon und Einrichtungsverkehr genügt eine Breite von 1,30 m.

5.2.1.5 Überhangstreifen

Werden bei der Schräg- oder Senkrechtaufstellung die Parkstände auf der einem Geh- oder Radweg oder einem Trennstreifen zugewandten Seite durch einen Bordstein begrenzt, dann

wird dieser in der Regel beim Einparken als Anschlag benutzt. Beim Entwurf und bei der Bauausführung ist daher der der Aufstellfläche zuzurechnende Fahrzeugüberhang zu berücksichtigen und der Bordstein um die Tiefe des Überhangstreifens ü in die Parkstände hinein zu verlegen (siehe Abb. 5.7).

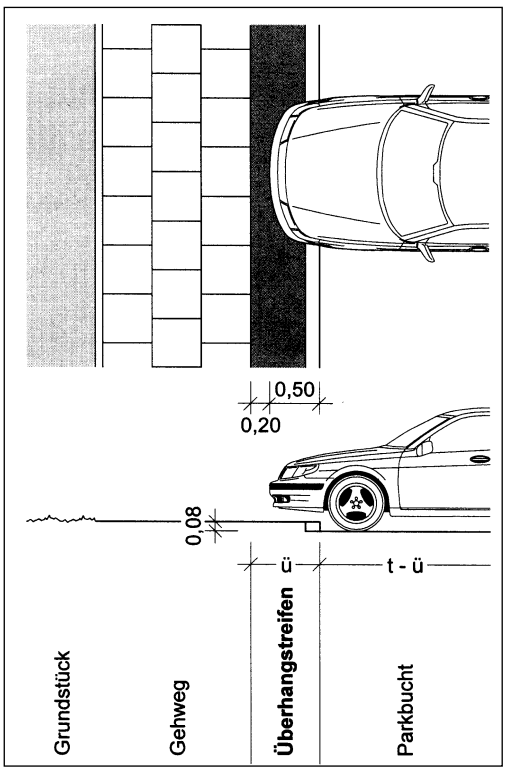


Abb. 5.7 Überhangstreifen. (FGSV, 2004)

Die Höhe der Bordkante soll 8 cm betragen. Die Tiefe des Überhangstreifens ist in den EAR (FGSV, 2004) für Pkw-Parkflächen mit ü = 0,70 m angegeben, unabhängig vom Aufstellwinkel. Von diesem Maß kann geringfügig und sollte zweckmäßigerweise abgewichen werden, um Platten- oder Pflastermaße einzuhalten.

5.2.1.6 Zwischenstreifen

Bei Schrägaufstellungen mit großem Aufstellwinkel und bei der Senkrechtaufstellung sollte zwischen dem Fahrbahnrand und den Parkständen ein Zwischenstreifen z eingelegt werden, der die Differenz zwischen der benötigten Fahrgassenbreite g und der anliegenden Fahrstreifen- oder Fahrbahnbreite f ausgleicht ($z \geq g\text{-}f$), um die Parkstände überhaupt oder ohne Rangieren erreichen zu können (siehe Abb. 5.8).

Die Vorteile des Zwischenstreifens werden in den EAR (FGSV, 2004) und in den EAHV (FGSV, 1998a) u.a. wie folgt beschrieben:

- Das Ein- und Ausparken beschränkt sich häufig auf den anliegenden Fahrstreifen.
- Das Erkennen freier Parkstände wird erleichtert und zügiges Einparken ermöglicht.
- Das Zurücksetzen aus einer dicht besetzten Parkbucht wird erleichtert und beim Ausparken die Sicht auf den fließenden Verkehr verbessert.

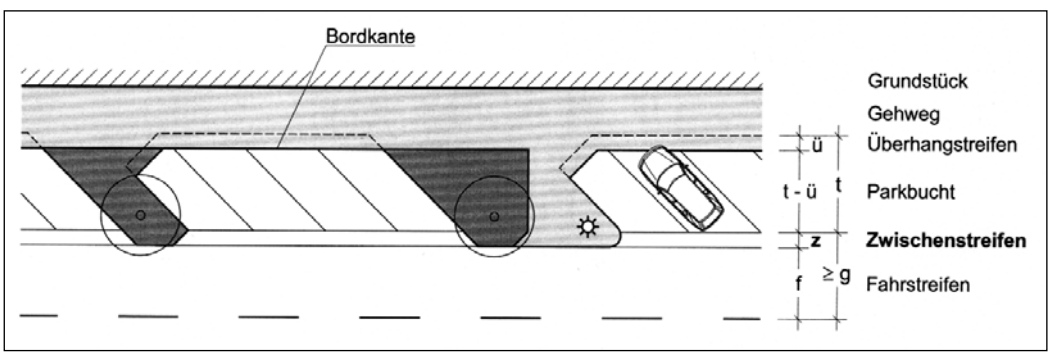


Abb. 5.8 Zwischenstreifen. (FGSV, 2004)

– Das kurzfristige Halten von Lieferfahrzeugen wird ermöglicht.
– Für Fußgänger, die die Fahrbahn überqueren wollen, werden die Sichtverhältnisse deutlich verbessert.

Um unerwünschtes Parken auf dem Zwischenstreifen zu vermeiden, sollte dieser nicht breiter als 0,75 bis 1,00 m ausgeführt werden. Damit der Zwischenstreifen nicht als Teil der Fahrbahn oder als Radverkehrsfläche erscheint, sollte er sich im Material von der Fahrbahn (ggf. auch von der Parkbucht) unterscheiden und mit deutlichen Unterbrechungen, z.B. vor Baumscheiben oder Grundstückszufahrten, ausgeführt werden.

5.2.2 Park- und Ladeflächen im Straßenraum

5.2.2.1 Parkflächen für Pkw

Allgemeines

Die Parkflächen sollten als Parkbuchten oder als Abstellflächen im Seitenraum angelegt werden. Parkstreifen auf der Fahrbahn und ungeordnetes Parken am Bordstein erschweren den Fußgängern das sichere Überqueren der Fahrbahn und lassen nur geringe Gestaltungsmöglichkeiten des Straßenraums zu. Für die Wahl der zweckmäßigsten Art der Fahrzeugaufstellung (siehe Kap. C 5.2.1.1) sind im Allgemeinen die zur Verfügung stehende Fläche und die Verkehrsbedeutung der Straße ausschlaggebend. Entscheidend kann jedoch auch sein, ob bestimmte Straßenabschnitte ganz oder einseitig vom ruhenden Verkehr frei gehalten werden sollen oder ob straßenraumgestalterische Gesichtspunkte für eine bestimmte Anordnung sprechen.

Grundsätzlich sind sowohl an Hauptverkehrs- als auch an Erschließungsstraßen alle Aufstellungsarten möglich. An stark belasteten Hauptverkehrsstraßen ist jedoch darauf zu achten, dass zügig eingeparkt werden kann und unmittelbar hinter Knotenpunkten keine Parkstände angeordnet werden. Die EAR (FGSV, 2004) geben einen umfassenden allgemeinen Überblick über den Entwurf von Pkw-Parkflächen im Straßenraum. Für Hauptverkehrsstraßen sind in den EAHV (FGSV, 1998a) und für Erschließungsstraßen in den EAE (FGSV, 1995) besondere und zum Teil weiter gehende Hinweise zu finden. Die Abmessungen von Parkständen und Fahrgassen können Tabelle 5.3 entnommen werden (vgl. hierzu Abb. 5.8). Den angegebenen Zahlenwerten liegen die Grundmaße nach Kapitel 5.2.1 zugrunde.

Parkflächen im Straßenraum werden durch Borde, Materialdifferenzierung oder Markierung deutlich von den Flächen des fließenden Verkehrs getrennt. Einzelheiten zu den Abmessungen und zur Geometrie von Parkstandmarkierungen sind den Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS) (FGSV, 1993) zu entnehmen.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Einsatzgrenzen für die einzelnen Arten der Fahrzeugaufstellung erläutert:

Längsaufstellung

Wenn beim Ausparken eine gute Sicht auf den fließenden Verkehr erforderlich ist oder wenn aus Platzgründen eine andere Aufstellungsart nicht in Frage kommt, sollte die Längsaufstellung gewählt werden. Zu bedenken ist jedoch, dass das Rückwärtseinparken aus der Kolonne heraus zu Behinderungen nachfolgender Kraftfahrer oder Radfahrer führen kann.

Zwischen dem *Parkstreifen* oder der *Parkbucht* und einem daneben verlaufenden Radweg sollte ein Sicherheitstrennstreifen von 0,75 m Breite vorgesehen werden, bei einem Gehweg ein Streifen von 0,50 m Breite.

Auf eine Markierung der Parkstände kann aus verkehrstechnischen und sollte aus gestalterischen Gründen verzichtet werden. Für bestimmte Einsatzbereiche ist jedoch eine mar-

Tabelle 5.3 Abmessungen von Parkständen und Fahrgassen für Pkw im Straßenraum. (Nach FGSV, 2004 mit Ergänzungen)

Aufstellung	Aufstellwinkel α [gon]	Parkstandbreite[1] b [m]	Tiefe ab Fahrgassenrand t-ü [m]	Breite des Überhangstreifens ü [m]	Breite des Zwischenstreifens[2] z [m]	Fahrgassenbreite g [m]		Straßenfrontlänge[3] l [m]	
						Vorwärtseinparken	Rückwärtseinparken	Vorwärtseinparken	Rückwärtseinparken
Längs	0	2,00	2,00			3,25	3,50	6,70[4]	5,70 5,20[5]
Schräg	50	2,50	4,15	0,70	0,00	3,00		3,54	
	60	2,50	4,45	0,70	0,50	3,50		3,09	
	65	2,50	4,55	0,70	0,75	3,75		2,93	
	70	2,50	4,60	0,70	(1,00)	4,00		2,81	
	80	2,50	4,65	0,70	*)	4,50		2,63	
	90	2,50	4,55	0,70	*)	5,25		2,53	
Senkrecht	100	2,50	4,30	0,70	*)	6,00	4,50	2,50	2,50

[1] Besonderheiten s. Kap. C 5.2.1.2
[2] Mit den angegebenen Zwischenstreifenbreiten bleibt das Rangieren bei einem 3,00 m breiten anliegenden Fahrstreifen auf diesen beschränkt; *) s. Kap. C 5.2.1.6
[3] Bei Schräg- und Senkrechtaufstellung: $l = b/\sin \alpha$
[4] In Sonderfällen, z.B. um Behinderungen im Radverkehr beim Rückwärtseinparken zu vermeiden.
[5] Durchschnittswert ohne Markierung.

kierte Parkstandeinteilung vorgeschrieben, z.B. bei Parkständen, die
- mit Parkuhren bewirtschaftet werden,
- für bestimmte Nutzer (Schwerbehinderte, Polizei usw.) frei gehalten werden sollen oder
- in verkehrsberuhigten Bereichen kenntlich gemacht werden müssen.

Diese Parkstände werden in der Regel nur an den Eckpunkten gekennzeichnet.

Gut in den *Seitenraum* integrieren lassen sich fahrbahnnahe Parkstände in Längsaufstellung. Nutzungseinschränkungen müssen durch Beschilderung angeordnet werden. Die Parkstände werden durch Markierung oder Materialdifferenzierung kenntlich gemacht. Bei Verzicht auf Abgrenzungselemente besteht die Gefahr, dass Geh- und Aufenthaltsflächen widerrechtlich befahren oder zum Parken genutzt werden.

Schräg- und Senkrechtaufstellung

Bei ausreichender Breite der neben der Fahrbahn zur Verfügung stehenden Fläche können Parkstände in einer *Parkbucht* in Schräg- oder Senkrechtaufstellung angeordnet werden.

Die Schrägaufstellung erlaubt weitgehend störungsfreies Einparken und ist in vorgegebene oder anzuwendende Straßenquerschnitte flexibel einzupassen. Nachteilig kann sein, dass Schrägparkstände nur aus einer Richtung ohne Schwierigkeiten angefahren werden können. Parkbuchten mit Schrägaufstellung sollten vorzugsweise mit Aufstellwinkeln ≤ 65 gon angelegt werden, da in diesen Fällen für das Ein- und Ausparken nur der anliegende

Fahrstreifen benutzt werden muss (siehe Tabelle 5.3).

Die Senkrechtaufstellung erlaubt das Einparken aus beiden und das Ausparken in beide Richtungen. Sie ist daher besonders für Sackgassen geeignet. Mögliche Konflikte beim Ausparken mit dem fließenden Kraftfahrzeugverkehr und mit Radverkehr auf der Fahrbahn sowie die erforderliche erhebliche Fahrgassenbreite schränken die Anwendung ein. Im Gegensatz zur Längsaufstellung erlauben Schräg- und Senkrechtaufstellungen ein sicheres Aus- und Einsteigen außerhalb anderer Verkehrsflächen. Die Parkstände werden in der Regel durch die seitlichen Begrenzungslinien gekennzeichnet.

Wenn der Straßenraum stellenweise breit ist, kann es zweckmäßig sein, im *Seitenraum* mehrere Parkstände in Senkrechtaufstellung bereichsweise zu kleinen „Parkplätzen" zusammenzufassen. Die Fahrgassen werden dabei mit Grundstückszufahrten kombiniert. Kann auf die bauliche Einfassung der Parkfläche verzichtet werden, lässt sich der Seitenraum (weiterhin) multifunktional nutzen.

Parkstände in Senkrechtaufstellung können auch *hinter Gehwegen* angeordnet werden, die beim Ein- und Ausparken die Funktion des Zwischenstreifens übernehmen (siehe Kap. C 5.2.1.6). Im Zusammenhang mit einer schmalen Fahrbahn lassen sich, im Vergleich zur Anordnung der Parkstände vor dem Gehweg, flächensparsame Querschnitte ausbilden. Der Fahrbahnrand wird von parkenden Fahrzeugen frei gehalten und der Sichtkontakt zwischen Fußgängern und Fahrzeugführern wird verbessert. Die anliegende Bebauung darf durch die Parkvorgänge nicht beeinträchtigt werden. Parkstände hinter dem Gehweg sind besonders für Nachfragegruppen mit langer Parkdauer (z.B. Einwohner) geeignet, weil der Gehweg aufgrund des geringen Umschlagsgrads zum Ein- oder Ausparken selten überquert wird.

5.2.2.2 Ladeflächen für Lieferfahrzeuge

Flächenbedarf

Für Transporter und kleine Lkw ist zum Laden eine Fläche von 2,30 m Breite und 10,0 bis 12,0 m Länge erforderlich. Für große Lkw besteht ein Bedarf von 2,50 m Breite und 12,0 bis 14,0 m Länge.

Ladeflächen auf der Fahrbahn

Für die Beurteilung der Zweckmäßigkeit von Ladeflächen auf der Fahrbahn ist die verbleibende Fahrbahnbreite in Abhängigkeit von der Verkehrsbedeutung der Straße maßgebend.

Generell sind einzelne Liefervorgänge auf der Fahrbahn unproblematisch, sofern öffentliche Verkehrsmittel nicht beeinträchtigt werden und Pkw-Begegnungen auf der verbleibenden Fahrbahnbreite noch möglich sind.

Regelmäßige Liefervorgänge auf der Fahrbahn einer Hauptverkehrsstraße sind im Allgemeinen mit den Anforderungen des fließenden Verkehrs unverträglich.

Ladeflächen außerhalb der Fahrbahn

Häufiges und lang andauerndes Liefern und Laden erfordert separate Ladestreifen, Ladebuchten oder Ladeflächen im Seitenraum. Bei hohem Parkdruck sind diese Flächen nur schwer von nicht berechtigten Nutzern freizuhalten.

Bei eher kurzzeitigen Liefer- und Ladevorgängen und ausreichender Fahrbahnbreite bieten sich auch Zwischenstreifen vor Parkbuchten mit Schräg- oder Senkrechtaufstellung an (siehe Kap. C 5.2.1.6).

Die Ladeflächen sollten im Straßenraum so verteilt werden, dass für den Warentransport die Fahrbahn nicht überquert werden muss.

5.2.2.3 Parkflächen für Lkw und Busse

Lkw und Busse benötigen aufgrund der Fahrzeugabmessungen und der Fahrgeometrie große Flächen zum Parken. Daher sollten Flächen für das Abstellen von Lkw und Bussen

im Straßenraum allenfalls in Längsaufstellung vorgesehen werden. Es werden keine einzelnen Parkstände markiert.

5.2.3 Parkplätze

Die Einteilung eines *Pkw-Parkplatzes* in Parkstandreihen und Fahrgassen richtet sich im Allgemeinen nach der Grundstücksform und -größe sowie nach der Lage von Ein- und Ausfahrt. Die Fläche wird mit Parkmodulen belegt (siehe Abb. 5.9), deren Abmessungen Tabelle 5.4 entnommen werden können.

Der geringste Flächenverbrauch je Parkstand wird erzielt, wenn möglichst viele Doppelreihen mit nicht zu kleinem Aufstellwinkel ($\alpha \geq 80$ gon) in Längsrichtung der Parkfläche angelegt werden können. Weitere Hinweise zur zweckmäßigen Flächenaufteilung enthalten die EAR (FGSV, 2004).

Parkplätze sollten mit Schatten spendenden Bäumen bepflanzt, nach Möglichkeit voll umgrünt und durch Pflanzflächen räumlich gegliedert werden. Bei Baumpflanzungen ist auf eine durchlässige offene Bodenfläche von mindestens 6 m² und auf ausreichende Pflanzabstände zu achten, z.B. 8 bis 12 m für mittelgroße Bäume. Ausführlichere Angaben und weiterführende Literaturhinweise enthalten die EAR (FGSV, 2004).

Auf Betriebsparkplätzen oder auf Parkplätzen für Großveranstaltungen usw., die zu einem bestimmten Zeitpunkt geräumt werden, können die Nutzer ggf. dazu angehalten werden, ihre Fahrzeuge unter Beachtung von Rettungswegen, dicht an dicht abzustellen. Die Anzahl der auf gleicher Fläche unterzubrin-

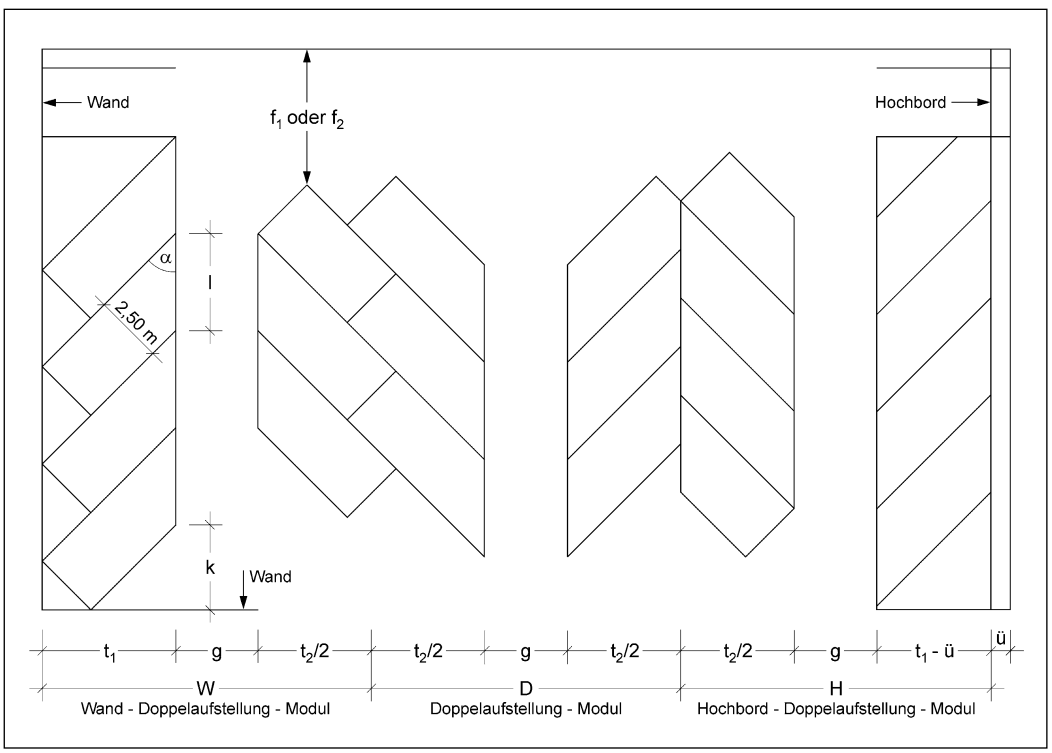


Abb. 5.9 Parkmodule für Pkw-Parkflächen. (FGSV, 2004)

Tabelle: 5.4 Abmessungen von Pkw-Parkmodulen. (FGSV, 2004)

Aufstellwinkel	Rückversatz	Länge der Parkstände	Breite des Überhangstreifens	Parkstandtiefe			Fahrgassenbreite	Modul			Fahrbahnbreite	
				Fahrgasse Wand	Fahrgasse Fahrgasse	Fahrgasse Hochbord		Wand/ Doppel	Doppelaufstellung	Hochbord/ Doppel	Einrichtungsverkehr	Zweirichtungsverkehr
α [gon]	k [m]	l [m]	ü [m]	t_1 [m]	t_2 [m]	t_1 - ü [m]	g [m]	W [m]	D [m]	H [m]	f_1 [m]	f_2 [m]
0	3,00	5,70	(0,50)	2,50	4,45	2,00	3,50	8,25	8,00	7,75	3,00	4,50
50	3,54	3,54	0,70	4,85	8,25	4,15	3,00	12,00	11,25	11,30	3,00	4,50
60	2,94	3,09	0,70	5,15	9,00	4,45	3,50	13,15	12,50	12,45	3,00	4,50
70	2,27	2,81	0,70	5,30	9,60	4,60	4,00	14,10	13,60	13,40	3,00	4,50
80	1,54	2,63	0,70	5,35	9,90	4,65	4,50	14,80	14,40	14,10	3,00	4,50
90	0,78	2,53	0,70	5,25	10,00	4,55	5,25	15,50	15,25	14,80	3,00	4,50
100	0,35	2,50	0,70	5,00	9,85	4,30	6,00	15,95	15,85	15,25	3,00	4,50

genden Pkw kann dabei gegenüber der Aufstellung mit Fahrgassen und Parkstandreihen um 30 bis 40 Prozent gesteigert werden.

Parkplätze für Lkw oder Busse sollten für eine Schrägaufstellung mit 50 gon so angelegt werden, dass aus einem Linksbogen heraus eingeparkt und im Rechtsbogen ausgeparkt werden kann. Die Entwurfsgrundmaße können Kapitel C 5.2.1 entnommen werden. Die EAR (FGSV 2004), die Richtlinien für Rastanlagen an Straßen (BMV, 1981; BMVBW, 1999) oder die Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Busbahnhöfen (FGSV, 1994) bieten weitergehende Planungshilfen.

Die Entwurfsgrundmaße für *Fahrradparkplätze* sind in Kapitel C 5.2.1 aufgeführt. An Haltestellen des ÖPNV oder auf Mitfahrerparkplätzen kann es zweckmäßig sein, Fahrradboxen aufzustellen. Diese schließfachähnlichen Behältnisse bieten eine wettergeschützte und weitgehend diebstahlsichere Unterbringungsmöglichkeit für die Fahrräder, vorzugsweise der Langzeitparker (B+R, P+M). Nähere Hinweise enthalten die EAR (FGSV, 2004).

5.2.4 Parkbauten

5.2.4.1 Allgemeines

Mit dem wachsenden Bewusstsein für eine „gerechtere“ Nutzung und freundlichere Gestaltung des Straßenraums wird der in den Stadtkerngebieten noch als verträglich angesehene ruhende Verkehr immer mehr aus dem öffentlichen Blickfeld verbannt und in spezielle Bauwerke oder Bauwerksteile (Parkbauten, Parkhäuser, Parkdecks, Hoch- und Tiefgaragen usw.) verwiesen. Parkbauten sind bei zunehmend eingeschränkter Flächenverfügbarkeit vermehrt auch bei Großeinrichtungen des Handels, der Reise und der Freizeitgestaltung sowie bei Kliniken, Hochschulen, Wohnanlagen oder großen Firmen außerhalb dieser Gebiete zu finden.

Die Zeit der „Autobunker“ scheint abgelaufen zu sein. Helle, freundliche und sicher zu benutzende Anlagen werden gefordert und von sachkundigen Ingenieuren und Architekten auch gebaut. Die Akzeptanz bestehender Anlagen wird – soweit erforderlich und möglich –

z.B. durch den Einsatz von Licht und Farbe verbessert. Grundsätzliche Entwurfs- und Herstellungsfehler lassen sich nachträglich jedoch kaum beheben. Zahlreiche Bildbeispiele zur benutzerfreundlichen Planung und Ausstattung von Parkbauten und informative Details sind z.B. in einer Publikation des ADAC (2000) oder in dem vom Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (2000) herausgegebenen Leitfaden für Bauherren, Architekten und Ingenieure zu finden.

Die folgenden, kurz gefassten Ausführungen sollen mit dazu beitragen, anerkannte Ziele wie

- bauliche, technische und organisatorische Sicherheit,
- Umwelt-, Stadt- und Sozialverträglichkeit,
- Komfort und gute Orientierung für Pkw-Fahrer und Fußgänger sowie
- Wirtschaftlichkeit für den Betreiber

in gebaute Standards umzusetzen.

5.2.4.2 Wegweisung zu Parkbauten

Parkbauten sollten nicht als einzelne Objekte entworfen und gebaut, sondern in die Stadt- und Verkehrsplanung eingebunden werden. Folgerichtig gehört die Zielführung im öffentlichen Straßenraum mit zur Planungsaufgabe.

Eine einfache „statische“ Wegweisung genügt so lange, wie eine gute räumliche Verteilung und gleiche Attraktivität der einzelnen Parkmöglichkeiten gegeben ist. Zweckmäßiger ist jedoch ein „dynamisches“ Leit- und Informationssystem, das den Parkplatz-Suchenden die jeweils günstigsten Wege zu freien Parkständen zeigt, verbunden mit situationsabhängig variablen Informationen zur Entscheidungsfindung (siehe Kap. C 5.1.3.5).

5.2.4.3 Gestaltung des Einfahrtbereichs

Günstig liegen Parkhauseinfahrten an nicht zu stark belasteten Einbahnstraßen. Bei Zweirichtungsverkehr kann das Linksabbiegen zu Problemen führen. Die Einfahrt sollte als Gehwegüberfahrt ausgeführt werden, so dass sich besondere, die Vorfahrt regelnde Beschilderungen erübrigen.

Vor der Einfahrtkontrolle muss ein genügend großer Stauraum vorhanden sein, um bei Normalbetrieb Störungen des fließenden Verkehrs zu vermeiden. Je kürzer der zur Verfügung stehende Stauraum ist, desto leistungsfähiger muss die Abfertigungseinrichtung gewählt werden. Die Abfertigungszeiten mit üblichen Systemen für Gelegenheitsparker liegen durchschnittlich je Fahrzeug zwischen 10 s (Chipkartentickets), 12 s (Magnetstreifentickets) und 16 s (Guthabenkarten), für Mietparker zwischen 9 s (Magnetschlüssel) und 15 s (Chipkartentickets mit Sicherheitsprüfung). Bei nicht ausreichendem Stauraum ist zu prüfen, ob zusätzliche Abfertigungslinien eingerichtet, die Kontrollgeräte weiter in das Gebäudeinnere verlegt werden können oder ob ggf. in Form von Abbiege- oder Staustreifen im öffentlichen Straßenraum Abhilfe geschaffen werden kann. Bei der Festlegung des Standorts für vom Fahrzeug aus zu bedienende Kontrollgeräte ist darauf zu achten, dass diese nicht in Rechtskurven und an aufwärts führenden Rampen aufgestellt werden. Zur besseren Heranführung der Fahrzeuge an die Geräte kann die Fahrstreifenbreite im Bereich der Abfertigung bis auf 2,30 m verengt werden. Weitere Hinweise und ein Bemessungsverfahren für die Einfahrtabfertigung enthalten die EAR (FGSV, 2004).

Die technischen und betrieblichen Informationen für die Nutzer, wie Angabe der eingeschränkten Höhe, Verbot von Anhängern, Öffnungszeiten und Tarife, müssen rechtzeitig und gut erkennbar sein.

5.2.4.4 Führung des Kraftfahrzeugverkehrs

Ein- und Ausfahrten von Parkbauten sollten so gelegt werden, dass sich die Verkehrsströme nicht überschneiden. Günstig ist die Führung

in links weisender Einbahnrichtung. Der Verkehr innerhalb des Parkbauwerks sollte von der Einfahrt bis zu einem freien Parkstand und wieder zurück zur Ausfahrt lückenlos gelenkt werden. Dabei sind in öffentlich zugänglichen Anlagen die Zeichen der Straßenverkehrsordnung (ggf. auch in verkleinerter Ausführung) und die allgemeinen Verkehrsregeln anzuwenden. Die Verkehrsführung kann durch Boden- und Wandmarkierungen oder sonstige Orientierungshilfen, z.B. durch den Schriftzug „Ausfahrt“ an den Rampenwänden, unterstützt werden. In großen Parkbauten kann z.B. auch die Kennzeichnung bestimmter Parkbereiche mit Farben oder Symbolen die Orientierung erleichtern. Bei nicht ohne weiteres überschaubaren Parkebenen und in Sackgassen sind automatisch gesteuerte „Frei“-/„Besetzt“-Anzeigen oder Grün- und Rotpfeile in Lichtsignalgebern zur Führung in Bereiche mit freien Parkständen zweckmäßig. Unnötige Suchfahrten und gefährliche Falschfahrten werden so vermieden. Die Überlegungen zur Führung des Kraftfahrzeugverkehrs bestimmen im Wesentlichen – zusammen mit den Randbedingungen aus Grundstücksgröße und -zuschnitt – die Wahl des Rampensystems zur Erschließung der Parkebenen.

Vier Grundsysteme der Höhenüberwindung werden unterschieden (siehe Abb. 5.10):

- geschosshohe, gerade Rampen („Vollrampen“),
- halbgeschosshohe Rampen („Halbrampen“),
- geschosshohe, kreisförmige Rampen („Wendelrampen“) sowie
- geneigte Parkgeschosse („Parkrampen“).

Die Rampensysteme sind in der Literatur vielfach beschrieben, u.a. mit zahlreichen bebilderten Ausführungsbeispielen in dem Standardwerk „Parkbauten“ von Sill (1981).

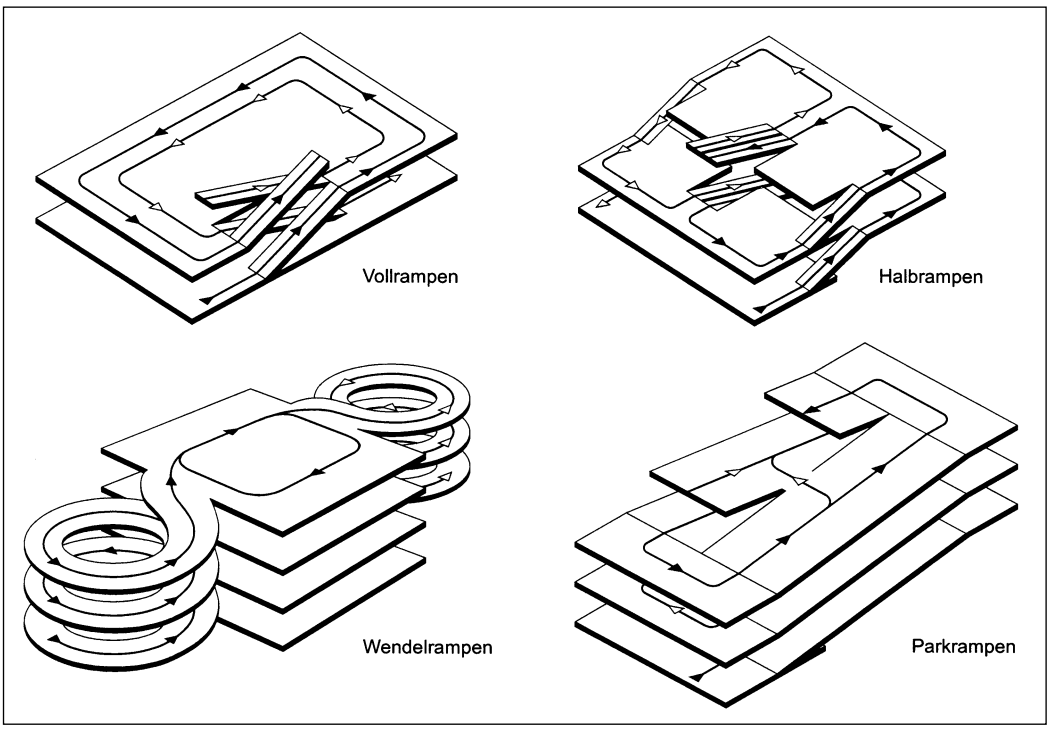


Abb. 5.10 Rampensysteme. (FGSV, 2004)

Bei Parkbauten mit geschosshohen Rampen oder geneigten Parkgeschossen sind ein- und doppelgängige Ausführungen möglich. Bei den eingängigen Erschließungssystemen wird mit einer Richtungsänderung von 400 gon eine Geschosshöhe überwunden, bei den doppelgängigen sind es zwei Geschosshöhen. Alle Rampensysteme können für Ein- oder Zweirichtungsverkehr angelegt werden. Bei Gegenverkehr sind die Fahrtrichtungen deutlich zu kennzeichnen und die Fahrbahnen durch bauliche Leitelemente voneinander zu trennen.

Vollrampen sind gut zu befahren, unter anderem weil die Längsneigung nicht auf Maximalwerte ausgelegt werden muss. Je nach Anordnung im Gebäudegrundriss entstehen ein- oder doppelgängige Systeme und sind mehr oder weniger lange Geschossdurchfahrten erforderlich. Wegen der dabei möglichen Störungen durch Ein- oder Ausparkvorgänge kann der Verkehrsablauf ungünstig beeinflusst werden. Bei zwei- oder dreigeschossigen Parkbauten können gerade Vollrampen auch derart geplant werden, dass jeweils nur ein Geschoss direkt angeschlossen wird und Durchfahrten durch die Parkebenen entfallen. Die verkehrliche Trennung der Geschosse erfordert eine zuverlässige Belegungsermittlung und -anzeige.

Halbrampen verbinden Parkebenen miteinander, die um eine halbe Geschosshöhe gegeneinander versetzt sind. Bei der üblichen Bauweise werden die Rampen quer zu den Fahrgassen mit der Basislänge von zwei Parkständen, die in den höhenversetzten Geschossen einander gegenüber liegen, in den Grundriss eingefügt. Halbrampen sind daher steil und wegen der scharfen Krümmungen im Bereich der Geschossanschlüsse besonders im Gegenverkehr schwierig zu befahren. Selbst bei guter Verkehrsführung, d.h. bei Trennung von Aufwärts- und Abwärtsfahrt, eignet sich dieses im Flächenbedarf sparsame System nur für kleine Parkbauten. Die Befahrbarkeit lässt sich verbessern, wenn in den Krümmungen die notwendigen Fahrbahnverbreiterungen großzügig ausgeführt und durch möglichst transparente Bauweise im Bereich der Rampen gute Sichtverhältnisse geschaffen werden.

Wendelrampen gestatten auf kurzem Weg eine störungsfreie und – bei ausreichend großem Radius – relativ angenehme Höhenüberwindung ohne Geschossdurchfahrten. Der Flächenbedarf ist jedoch verhältnismäßig groß, weshalb sich die Ausschöpfung der verkehrlichen Vorteile nur bei großen Anlagen anbietet, bei denen ggf. die Ein- und Ausfahrtabfertigung geschossweise vorgenommen wird.

Parkrampen sind in einer Funktion Parkfläche und Fahrrampe. Sie sind wegen ihrer geringen Längsneigung bequem, jedoch wegen der anliegenden Parkstände nicht störungsfrei zu befahren. Eingängige Parkrampen werden im Zweirichtungsverkehr benutzt, die Parkstände sind daher in Senkrechtaufstellung angeordnet. Bei doppelgängigen Parkrampen wird der Aufwärts- und Abwärtsverkehr je auf einer separaten Rampe in Einbahnrichtung geführt. Schrägaufstellung ist die Regel. Horizontale Querverbindungen zwischen den Rampen ermöglichen auf jedem Geschoss den Wechsel der Fahrtrichtung. Um den Nutzern unnötig lange Wege bis zu einem freien Parkstand zu ersparen, sollte bei jeder Querrampe eine belegungsabhängige Anzeige zu freien Parkständen in der Aufwärts- oder Abwärtsrichtung weisen. Wenn die Randbedingungen für die Anlage von Parkrampen geeignet sind, ist das System wirtschaftlicher als alle übrigen.

Beim Entwurf von Parkbauten sind nach den EAR (FGSV, 2004) für die Rampenausführung folgende Richtwerte und Mindestmaße einzuhalten:

Die *Rampenneigung* soll im Allgemeinen 15 Prozent, bei Parkrampen 6 Prozent, nicht überschreiten. Rampen im Freien sollten eine Neigung von höchstens 10 Prozent erhalten. Innenrampen kleiner Parkbauten sowie kurze

Rampen können in Ausnahmefällen bis zu 20 Prozent geneigt sein. Die Neigungsangaben beziehen sich auf die Fahrstreifenachse.

Bei *Neigungswechseln* sind Neigungsdifferenzen über 8 Prozent auszurunden oder abzuflachen, um ein Aufsetzen der Fahrzeuge zu vermeiden. Kuppenausrundungen sind mit einem Halbmesser $H_K \geq 15$ m und Wannenausrundungen mit $H_W \geq 20$ m auszuführen. Bei Neigungsdifferenzen zwischen 8 und 15 Prozent genügt auch eine Abflachung mit halber Rampenneigung auf $A_K = 1{,}5$ m bei Kuppen und $A_W = 2{,}5$ m Länge bei Wannen. Für nähere Hinweise siehe Dunker (1990). Die Mindestbreiten *gerader Rampen* einschließlich der Maße für Leitborde sind für Ein- und Zweirichtungsverkehr Abbildung 5.11 zu entnehmen.

Die Fahrstreifenbreiten *gekrümmter Rampen* richten sich wegen der unterschiedlichen, fahrgeometrisch erforderlichen Verbreiterungen nach dem Radius. Wählt man den Innenradius R_i als Bezugsgröße, so sind nach den EAR (FGSV, 2004) mindestens die in der Tabelle 5.5 angegebenen Fahrstreifenbreiten einzuhalten.

Die Mindestbreiten gekrümmter Rampen einschließlich der Maße für Leitborde sind für Ein- und Zweirichtungsverkehr Abbildung 5.12 zu entnehmen.

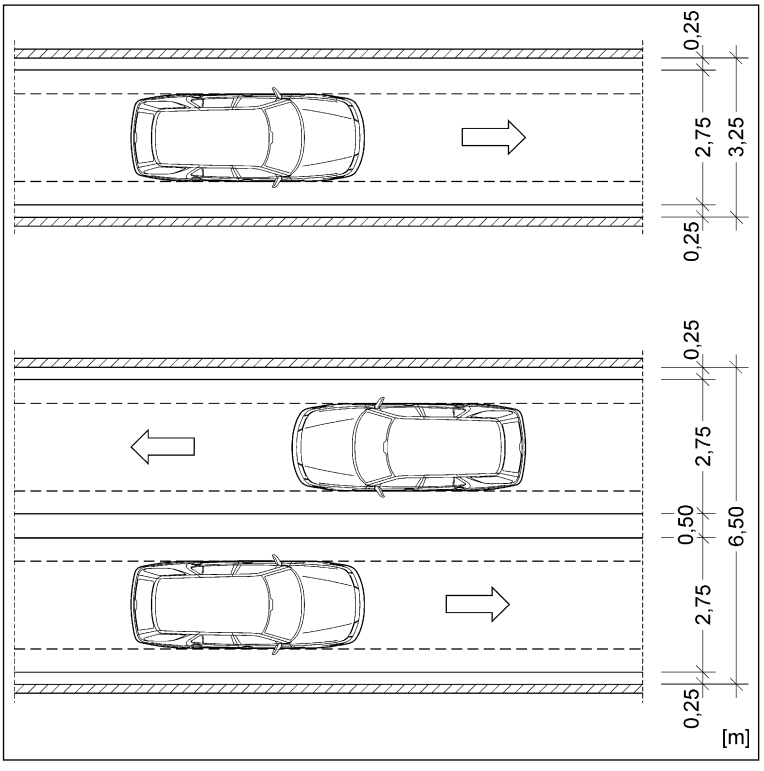


Abb. 5.11 Mindestrampenbreiten in der Geraden. (FGSV, 2004)

Tabelle 5.5 Fahrstreifenbreiten gekrümmter Rampen. (FGSV, 2004)

Innenradius R_i [m]	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Fahrstreifenbreite f [m]	3,70	3,60	3,50	3,45	3,40	3,35	3,25	3,15	3,10	3,05	3,00

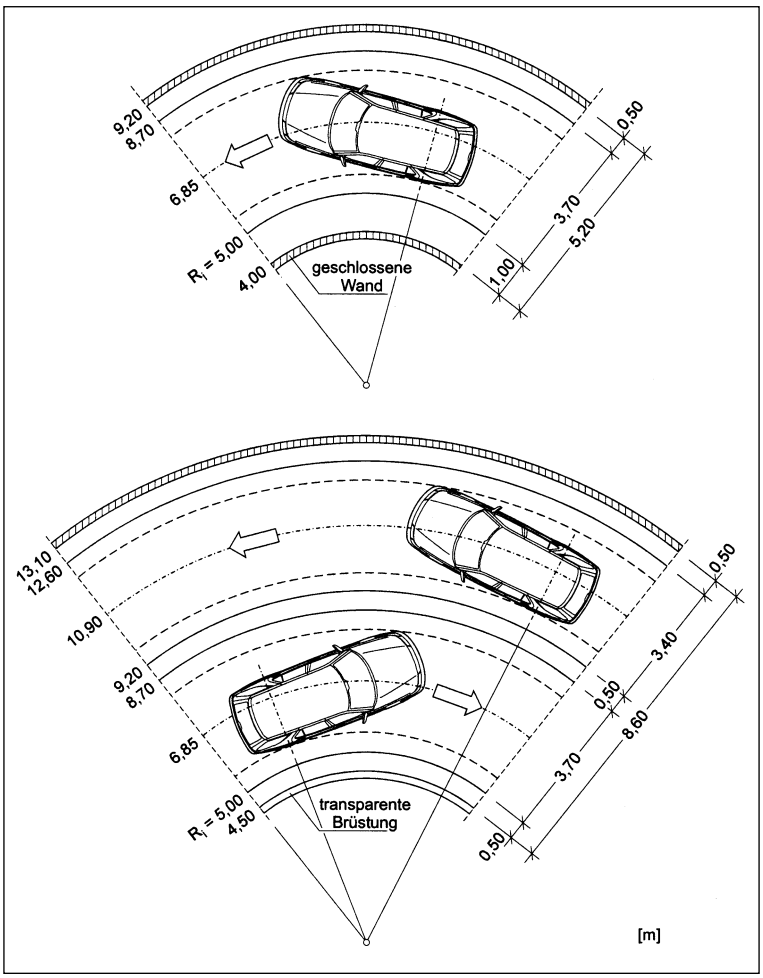


Abb. 5.12 Mindestrampenbreiten im Bogen mit Mindestradius. (FGSV, 2004)

5.2.4.5 Gestaltung der Parkebenen, Lichte Höhe

Die Entwurfsbearbeitung für die Parkebenen folgt im Prinzip den im Kapitel C 5.2.3 einleitend getroffenen Feststellungen. Die Netto-Abmessungen der Parkmodule, d.h. ohne gesonderte Bauwerksteile, Einbauten, Gehflächen usw. können Tabelle 5.4 entnommen werden. Weil bei Schrägaufstellung grundsätzlich besonders bequem ein- und ausgeparkt und die Verkehrsführung deutlich erfasst werden kann, sollten, um außerdem nur geringe

Flächenreste zu erhalten, vorzugsweise Aufstellwinkel im Bereich 80 gon ≤ α ≤ 90 gon angewendet werden. Mit Aufstellwinkeln < 80 gon und nicht überdimensionierten Fahrgassen lässt sich der Verkehr nur in Einbahnrichtung führen (siehe Kap C 5.2.1.4).

Bei großen Parkebenen werden zwischen den Doppelaufstellung-Modulen (siehe Abb. 5.9) aus statischen Gründen Wandscheiben oder Stützen erforderlich. Je nach Ausführung ist der hierfür benötigte Flächenbedarf rechtzeitig beim Entwurf zu bedenken. Wandscheiben sollten mit Durchbrüchen versehen sein, um den Raum offener erscheinen zu lassen. Unübersichtliche Ecken, Rücksprünge und Nischen in den Wänden sind zu vermeiden.

Innerhalb eines Parkmoduls sollten keine Stützen zwischen den Parkständen vorgesehen werden, um die Parkebenen übersichtlich zu halten und das Ein- und Ausparken ohne Behinderungen oder Fahrzeugbeschädigung zu ermöglichen. Lassen anderweitige Vorgaben einen stützenfreien Entwurf nicht zu, dann sollten die Stützen mindestens 0,75 m vom Rand der Fahrgasse abgerückt sein, um die beim Einparken benötigte Verbreiterung des Fahrzeugbewegungsstreifens zu ermöglichen. Die Stützen dürfen nicht weiter als 1,75 m vom Rand der Fahrgasse in die Parkstandtiefe hinein reichen, weil sonst das Öffnen der Fahrzeugtüren behindert wird. Ohne Rangieren lassen sich Parkstände neben anders platzierten Stützen oder neben Wänden nur benutzen, wenn daneben die Parkstandbreite auf 2,85 m vergrößert wird (siehe Kap. C 5.2.1.2). Zahlreiche ausgeführte Parkbauten weisen in dieser Hinsicht erhebliche Mängel auf, deren Folgen an den falsch oder zu eng stehenden Stützen oder Wänden deutlich abzulesen sind.

Die lichte Durchfahrthöhe in Parkbauten soll mindestens 2,10 m betragen, mit Rücksicht auf Kleintransporter und Kleinbusse besser 2,20 m. Über erheblichen Rampenneigungswechseln sind mindestens 2,30 m einzuhalten. An geeigneter Stelle vor der Einfahrt sollte ein Höhenbegrenzungsanzeiger aufgehängt sein, der die Einfahrenden rechtzeitig vor dem Überschreiten der zulässigen Höhe warnt. Die minimale lichte Durchfahrthöhe muss unter allen Bauteilen, Einbauten und Verkehrszeichen vorhanden sein. Installationen müssen bereits in der Rohbau-Entwurfsphase berücksichtigt werden. Große, zusammenhängende Bereiche mit minimaler Durchfahrthöhe sollten aus psychologischen Gründen besonders in Tiefgaragen vermieden werden.

5.2.4.6 Besondere Berücksichtigung der Fußgänger

Bei der Führung der Fußgänger sollte darauf geachtet werden, dass Ausgänge, Treppenhäuser oder Aufzüge auf kurzem Weg erreicht werden können. Im Allgemeinen genügt es, von jedem Standort aus sichtbar die Richtung zum nächsten Ausgang auffällig und eindeutig anzuzeigen, z.B. durch Beschriftung und Pfeilzeichen auf hellen Wänden, durch farbige Führungslinien oder durch Transparente über den Fahrgassen. Die unmittelbaren Zugänge zu Aufzügen oder Treppenhäusern sind farblich besonders hervorzuheben.

Die Mindestbreite von Gehstreifen beträgt 0,80 m. Mit Rücksicht auf Begegnungen sollte eine Breite von mindestens 1,50 m angestrebt werden. In großen Parkbauten mit hohem Umschlagsgrad sollten separate, mindestens 2,00 m breite, deutlich gekennzeichnete Gehwege oder Gehstreifen zum Hauptausgang führen. Die Laufbreite von hauptsächlich benutzten Treppenhäusern sollte mindestens 1,50 m betragen, für Nebentreppen kann eine Laufbreite von 1,00 m ausreichen. Fußgängerrampen dürfen nicht steiler als 6 Prozent geneigt sein bei einer Mindestbreite von 1,20 m.

Ein- und Ausgänge sollten nicht unmittelbar an Fahrbahnen angrenzen, Warteflächen vor Aufzügen nicht auf Treppenpodesten lie-

gen. Alle Verkehrseinrichtungen für Fußgänger sollten möglichst hell und offen sein, dies kann z.B. erreicht werden durch Tageslicht im Treppenhaus und möglichst große Glasausschnitte in den Türen.

Vor dem Verlassen des Parkhauses sollten die Fußgänger noch einmal in möglichst übersichtlicher Form über die Öffnungszeiten und die Tarife informiert werden. Zusätzliche Hinweise zu Fußgängerzielen, ein Umgebungsplan, sonstige Stadtinformationen usw. sind zu empfehlen.

Für die zum Parkhaus zurückkehrenden Fußgänger sind bereits im näheren Umfeld Wegweiser zu den Parkhauseingängen zweckmäßig, die Eingänge selbst sind in gestalterisch vertretbarem Maß deutlich zu kennzeichnen. Ein- und ausfahrender Kraftfahrzeugverkehr und der Hauptstrom der Fußgänger sollten sich nicht überschneiden. Ein gut gestalteter und lagerichtig im Eingangsbereich angebrachter Übersichtsplan mit Markierung des Standorts, Darstellung der Parkebenen, der Ein- und Ausgänge, der Kassenautomaten usw. sollte zur Standardausstattung gehören.

Bei der im Allgemeinen üblichen Trennung von Ausfahrtabfertigung und Kasse sollten Kassenautomaten oder Kassenräume so in der Nähe der Eingänge angeordnet werden, dass alle zu ihren Fahrzeugen zurückkehrenden Gelegenheitsparker ohne Umweg daran vorbeigeführt werden. Sind Kasse und Aufsicht nicht in einem Raum untergebracht, sollte eine einfache Kommunikationsmöglichkeit gegeben sein.

Die Leistungsfähigkeit der Kassenautomaten für das Berechnen und Kassieren des Entgelts liegt bei etwa 150 Kunden je Stunde, an einer personalbesetzten Kasse können etwa 240 Kunden je Stunde bedient werden. Für Mietparker, Hotelgäste, Messe- und Ausstellungsbesucher usw. sind Abfertigungskonzepte ohne Kassenbenutzung zweckmäßig.

5.2.4.7 Gestaltung des Ausfahrtbereichs

Die Nutzer sollten von jedem Parkstand aus erkennen können, wie sie zur Ausfahrt kommen. Die Verkehrsführung muss so gewählt werden, dass ein Stau an der Ausfahrt nicht die Einfahrt in das Parkhaus blockiert. Bei großen Parkbauten kann es sich empfehlen, die Ausfahrtkontrolle in die Parkebenen zu verlegen.

Die Abfertigungszeiten an automatischen Kontrollgeräten für Gelegenheitsparker liegen durchschnittlich je Fahrzeug zwischen 10 s (Chipkartentickets), 11 s (Magnetmittelstreifentickets) und 22 s (Guthabenkarten), für Mietparker zwischen 10 s (Magnetschlüssel) und 14 s (Chipkartentickets mit Sicherheitsüberprüfung).

Sind mehrere Ausfahrstreifen vorhanden, so sollten zusätzlich zur Fahrstreifenmarkierung auch Richtungen und Ziele in oder über den einzelnen Streifen angegeben werden. Um bei Fahrzeugpannen oder Gerätestörungen usw. den Betrieb aufrechterhalten zu können, empfiehlt es sich, vor der Ausfahrtkontrolle eine Ausweichbucht oder Umfahrungsmöglichkeit vorzusehen.

Die Ausfahrt sollte als Gehwegüberfahrt ausgeführt werden, so dass sich besondere, die Vorfahrt regelnde Beschilderungen erübrigen. Kreuzt ein Geh- oder Radweg unmittelbar hinter der Ausfahrt aus dem Parkgebäude, sollte durch Piktogramme oder andere auffällige Hinweise darauf aufmerksam gemacht werden.

5.2.5 Mechanische und automatische Parksysteme

5.2.5.1 Allgemeines

Bei *mechanischen Parksystemen* wird der Parkvorgang mit mechanischer Unterstützung abgewickelt. Die für die Eigenbewegung der Fahrzeuge erforderlichen Fahrwege entfallen teilweise.

Bei *automatischen Parksystemen* wird der gesamte Parkvorgang von der Einfahrt bis zur Ausfahrt mit fördertechnischen Einrichtungen automatisch abgewickelt. Die Fahrzeugführer verlassen ihr Fahrzeug in einer Übergabekabine, die in der Regel nur ihnen zugänglich ist, und nehmen es dort wieder in Besitz.

Der Vorzug mechanischer und automatischer Parksysteme liegt darin, dass auch verwinkelte, schmale oder kleine Grundstücke und ungünstige Raumhöhen wirtschaftlich genutzt werden können. Weil Rampen und Fahrgassen teilweise oder ganz entfallen, ist der spezifische Bauraumbedarf bei diesen Anlagen geringer als bei konventionellen Parkbauten. Erweiterte Zu- und Abfahrten, Übergabekabinen und Leerplätze können diese Vorteile allerdings wieder aufheben. Die automatischen Parksysteme sind teuer in den Bau-, Unterhaltungs- und Betriebskosten und die verkehrstechnische Leistungsfähigkeit ist begrenzt, so dass der Einsatz (bislang) auf Sonderfälle beschränkt bleibt. Die EAR (FGSV, 2004) enthalten neben ausführlichen Systembeschreibungen mit Schemaskizzen u.a. auch eine tabellarische Zusammenstellung zur Eignung mechanischer und automatischer Parksysteme für ausgewählte Anwendungsbereiche.

5.2.5.2 Mechanische Parksysteme

Das einfachste System ist die *Parkbühne ohne Grube*, mit zwei schräg oder waagrecht befahrbaren, übereinander angeordneten Plattformen mit Hubvorrichtung. Die obere Plattform kann nur zugänglich gemacht werden, wenn die untere frei ist. Derartige Systeme können im Freien aufgestellt oder bei ausreichender lichter Höhe – auch nachträglich – z.B. in Tiefgaragen von Büro- oder Geschäftshäusern eingebaut werden.

Sollen die Parkplattformen auch unabhängig voneinander benutzt werden können, müssen *Parkbühnen mit Grube* installiert werden. Dieses System eignet sich für Einzelgaragen, aber auch für Tiefgaragen von Hotels, Wohn- und Geschäftshäusern.

Parkebenen mit ungünstig platzierten Stützen, mit abgewinkelten Teilflächen oder störenden Einbauten usw. können mit dem Einbau von überfahrbaren *Verschiebeplatten* besser genutzt werden, wobei auch Teile der Fahrgassen zum Abstellen von Fahrzeugen herangezogen werden können. Platten mit darauf abgestellten Fahrzeugen werden bei Bedarf so verschoben, dass ein angewählter Parkstand frei zugänglich wird.

5.2.5.3 Automatische Parksysteme

Die einfachsten automatischen Systeme sind *Umlaufparker* mit vertikal oder horizontal umlaufenden Parkpaletten. Zum Einparken wird eine freie, zum Ausparken die gewünschte Palette in der Übergabekabine bereitgestellt. Für jeden Vorgang muss die gesamte Fördereinrichtung mit allen Paletten in Bewegung gesetzt werden. Die Anzahl der Paletten ist aus dynamischen Gründen auf ca. 30 pro Anlage beschränkt.

Bei begrenzter unterirdischer Baumöglichkeit eignen sich z.B. die kompakten *Umsetzparker*, um Parkraum zu schaffen. Das System arbeitet mit Parkpaletten, die vertikal und horizontal umgesetzt werden. Die Leistungsfähigkeit ist gering, da in der Regel bei jedem Parkvorgang mehrere Paletten bewegt werden müssen. Die Systemgröße sollte sich auf 40 bis 50 Parkstände beschränken.

Im Gegensatz zu den vorgenannten, ist das *Parkregal* ein System mit statischem Lagerungsprinzip. Ein einzuparkendes Fahrzeug wird aus der Übergabekabine heraus mit Hilfe des Fördergeräts in ein Regalfach gestellt. Wird das Fahrzeug wieder abgeholt, verläuft der Vorgang in umgekehrter Reihenfolge, wobei das Fahrzeug in Ausfahrrichtung gedreht wird. Die Fördereinrichtung kann sehr verschieden ausgeführt sein, z.B. als Regalbediengerät, das horizontale und vertikale Bewe-

gungen ausführt, als Turmsystem mit zentralem Vertikalförderer oder in Shuttle-Lift-Technik mit Trennung von Horizontal- und Vertikalförderung. Parkregale werden maximal auf ca. 200 Parkstände ausgelegt. Bei Bedarf und Möglichkeit sind modulare Bauweisen mit größerer Kapazität denkbar.

Die Vorteile der automatischen Parksysteme liegen für die Nutzer darin, dass Diebstahl und Aufbrechen von Fahrzeugen oder anonyme Beschädigungen an abgestellten Fahrzeugen so gut wie ausgeschlossen sind, weil die Anlageteile hinter der Übergabekabine öffentlich nicht zugänglich sind. Da sich die Nutzer nur in der gut zu überwachenden Ein- und Ausfahrtzone aufhalten, ist auch die persönliche Sicherheit sehr groß. Die systembedingten Nachteile für die Nutzer liegen in den langen Bereitstellungszeiten für die Fahrzeuge, die im Mittel mit 2 bis 3 Minuten zu veranschlagen sind, aber auch deutlich darüber liegen können.

5.3 Nutzung und Betrieb

5.3.1 Miet- und Gelegenheitsparker

Die Art und Weise der Nutzung einer Anlage des ruhenden Verkehrs kann grundsätzlich aus den im Kapitel C 5.1.1.1 für die Parkraumplanung beschriebenen Ansprüchen der Nachfragegruppen abgeleitet werden. Für die Parkraumbewirtschaftung im öffentlichen Straßenraum von ausschlaggebender Bedeutung sind dabei die unterschiedlichen Parkdauern (Kurzparker/Langparker). Außerhalb des öffentlichen Straßenraums spielt daneben noch eine wesentliche Rolle das Vertragsverhältnis zwischen dem Nutzer und dem Betreiber der Anlage (Mietparker/Gelegenheitsparker). Mietparker erwerben für einen bestimmten Zeitraum das Anrecht auf einen Parkstand, während Gelegenheitsparker die Berechtigung, einen Parkstand zu nutzen, für jeden einzelnen Parkvorgang erwerben müssen. Aus wirtschaftlichen Gründen sollten Gelegenheitsparker den Vorrang haben und nur so viele Mietparker ein Parkrecht erhalten, wie es der Gelegenheitsparkerbedarf zulässt.

Die effektivste Nutzung einer Parkfläche ist dann gegeben, wenn den Mietparkern keine bestimmten Parkstände zugewiesen werden, sondern wenn sie ebenso wie die Gelegenheitsparker einen Platz nach Wahl in Anspruch nehmen. Ggf. sind die Mietparker in Bereiche zu verweisen, die für Gelegenheitsparker ungünstig sind, z.B. wegen schwieriger Zufahrt- oder Parkbedingungen oder weiter Wege. Starre Bereichstrennungen sind meist nur dann üblich, wenn ein Vertrag mit einem Generalmieter (Behörde, Großfirma usw.) abgeschlossen wurde oder eine wechselseitige Parkraumbereitstellung (siehe Kap. C 5.3.2) möglich ist.

Bei den Mietparkern muss sichergestellt sein, dass nur ein Fahrzeug jeweils ein- oder ausgefahren werden kann. Außerdem sind Vorkehrungen zu treffen, dass Mietparker auch dann noch einfahren können, wenn alle Parkstände für Gelegenheitsparker belegt sind.

5.3.2 Wechselseitige Parkraumbereitstellung

Werden Parkstände zu verschiedenen Tageszeiten für unterschiedliche Parkzwecke nachgefragt, bietet sich die überschneidungsfreie Mehrfachnutzung in Form der wechselseitigen Parkraumbereitstellung an. Im Allgemeinen sind hierzu vertragliche Vereinbarungen erforderlich, die Bestimmungen zur Haftung, zur Verteilung der Kosten usw. enthalten müssen.

Durch die Nutzung hierfür freigegebener *Grundstücke* kann ein Beitrag zur Reduzierung von Parkraumdefiziten im öffentlichen

Straßenraum geleistet werden. Dies ist z.B. möglich, wenn Schul-, Behörden- oder Firmenparkplätze abends bei Veranstaltungen oder an Sonn- und Feiertagen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. In *Gebäuden* kann die Anzahl der notwendigen Stellplätze reduziert werden. Dies ist z.B. der Fall bei Büro- und Geschäftsgebäuden, bei denen Parkstände nur zu den üblichen Betriebszeiten benötigt werden, in Kombination mit Veranstaltungsräumen, die nur abends und am Wochenende genutzt werden. Die Reservierung abgeschlossener *Parkbereiche* (ohne Zuweisung bestimmter Parkstände) für Mietparker, bei denen es sich um unterschiedliche Nachfragegruppen handelt, z.B. um Beschäftigte und Einwohner, kann für den Betreiber vorteilhaft sein. Aufgrund der zeitlich unterschiedlichen Nachfrage kann – die sorgfältige Beobachtung der Belegungsspitze vorausgesetzt – eine erhebliche Mehrvermietungsquote erreicht werden.

5.3.3 Anlagen mit besonderer Zweckbestimmung

5.3.3.1 Park-and-ride-Anlagen

P+R-Anlagen sind einem Bahnhof oder einer Haltestelle zugeordnete Parkflächen und Service-Einrichtungen für die kombinierte Benutzung privater und öffentlicher Verkehrsmittel. Die Nutzer können dort ihr Fahrzeug abstellen, um anschließend die Fahrt mit dem öffentlichen Verkehrsmittel fortzusetzen. Geeignet ist dieses System der kombinierten Verkehrsmittelwahl für die Nachfragegruppe Beschäftigte, Auszubildende, Studierende und Schüler (Berufsverkehr) sowie – mit Einschränkungen – für Kunden (Einkaufsverkehr), außerdem für Besucher und Gäste (Veranstaltungs- oder Tourismusverkehr).

Durch das Umsteigen vom privaten Kraftfahrzeug auf den öffentlichen Personennahverkehr sollen die Fahrleistungen mit den motorisierten individuellen Verkehrsmitteln reduziert werden. In einem Leitfaden zur Bedarfsermittlung und Planung von P+R-Anlagen des Landes Hessen (Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, 2001) wird hierzu sinngemäß ausgeführt: „Bei einer stadtnahen P+R-Anlage mit langen Kfz-Anfahrtwegen und vergleichsweise kurzen ÖPNV-Fahrweganteilen ist dies oft nicht der Fall. Auch große P+R-Anlagen (P+R-Terminals) werden – für sich genommen – die Belastungen durch den Kfz-Verkehr in den Großstädten der Ballungsgebiete nur wenig verringern können. Erst im Verbund mit anderen Maßnahmen, besonders der Parkraumbegrenzung und -bewirtschaftung und mit dem Anbieten eines hochwertigen ÖPNV-Systems, können spürbare Verlagerungseffekte erreicht werden."

Nach der Auswertung einer Umfrage des Deutschen Städtetags (Heiderich u. Nickel, 1987) und nach den Angaben der VDV-Schrift zu Konzeption, Planung und Betrieb von P+R (VDV, 1993) lassen sich drei wesentliche Anwendungsfälle für Park and Ride unterscheiden, die jedoch ggf. auch zweckmäßig miteinander zu kombinieren sind:

Städte, die P+R-Anlagen überwiegend für den *Berufsverkehr* anbieten, haben meist mehr als 200.000 Einwohner und verfügen in der Regel über straßenunabhängige öffentliche Verkehrsmittel. Für eine gute Akzeptanz entscheidend sind

- eine dezentrale Lage der P+R-Anlage mit günstigem Einzugsgebiet sowie
- eine hohe Bedienungshäufigkeit, ein gutes Sitzplatzangebot und eine hohe Reisegeschwindigkeit des öffentlichen Verkehrsmittels.

Ausführliche Hinweise zur Bedarfsermittlung und zur Standortplanung können z.B. dem Leitfaden der hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung (Hessisches Landesamt, 2001) entnommen werden.

Der Hauptanteil der Städte, die P+R-Anlagen speziell für den *Einkaufsverkehr* eingeführt haben, weist eine Einwohnerzahl zwischen 50.000 und 150.000 auf. Angeboten wird dieser Service überwiegend an Haupteinkaufstagen. Eine gute Akzeptanz wird erreicht, wenn

- die P+R-Anlage zentral gelegen ist,
- das Angebot regelmäßig besteht,
- eine hohe Bedienungshäufigkeit gegeben ist sowie
- Parken und Transfer unentgeltlich angeboten werden.

Hier wird eine pragmatische Vorgehensweise bei der Bedarfsermittlung und vor allem bei einer baulichen Umsetzung empfohlen, weil die Wirkung der unterschiedlichen Akzeptanzkriterien im Einzelfall nur sehr unvollkommen prognostiziert werden kann.

Angebote für den *Veranstaltungs- oder Tourismusverkehr* tragen u.a. dazu bei, wertvolle (historische) Bausubstanz zu schonen und Lärm- und Schadstoffkonzentrationen in sensiblen Bereichen zu vermeiden. Die Bereitschaft zur Nutzung des Angebots wird gefördert durch

- Informationen im Zusammenhang mit der Werbung der Veranstalter oder der Tourismusziele,
- deutliche Leithinweise auf den Anfahrtwegen der Besucher oder Gäste,
- kombiniertes Entgelt für Parken, ÖPNV-Nutzung und Eintritte sowie
- zielgenaue Beförderung mit dem öffentlichen Verkehrsmittel.

Ausführungsempfehlungen, Betriebs- und Marketingkonzepte können z.B. den Hinweisen zu P+R in Klein- und Mittelstädten der FGSV (1998b) entnommen werden.

Beim Entwurf der P+R-Anlagen ist zusätzlich zu den in Kapitel C 5.2 genannten Grundsätzen darauf zu achten, dass ein möglicher Stau auf der Zufahrtstrecke oder bei der Ausfahrt den Bus- oder Straßenbahnverkehr nicht beeinträchtigt. Es empfiehlt sich eine besonders übersichtliche Parkflächeneinteilung mit einfacher Verkehrsführung, damit freie Parkstände rasch aufgefunden werden können. Die beim Wechsel des Verkehrsmittels zurückzulegenden Fußwege sollten kurz und wettergeschützt sein. Entfernungen von mehr als 150 m zwischen Parkstand und Bahnsteigkante lassen die Akzeptanz merklich sinken. Bei großer Nachfrage kommen daher ebenerdige Anlagen nicht mehr in Frage. Parkflächen und Gehwege sollten beleuchtet und von der Straße oder der Haltestelle aus einsehbar sein.

P+R-Anlagen sind in die Wegweisung oder in das Parkleitsystem zu übernehmen. Bei großen Anlagen ist auf die Kapazität der Ausfahrt zu achten. Im Verbund mit einer P+R-Anlage sollten stets auch einige Parkstände angelegt werden für Pkw – und je nach Größe der Anlage auch für einige Taxen – mit denen Fahrgäste zur Haltestelle gebracht oder von dort abgeholt werden können.

Die VDV-Schrift (1993) und die Hinweise der FGSV (1998b) enthalten jeweils ca. 20 Beispiele mit Angaben u.a. zur Problemstellung, zur Konzeption, zum Standort, zur Ausführung und zur Trägerschaft von P+R-Anlagen. Besondere Hinweise zu P+R mit dem Fahrrad (Bike and Ride) enthalten die EAR (FGSV, 2004).

5.3.3.2 Parkflächen für Großeinrichtungen des Handels und der Freizeitgestaltung

Großflächige Einzelhandelseinrichtungen (z.B. Verbrauchermärkte, Fachmärkte, Einkaufs- und Fachmarktzentren) und Großeinrichtungen der Freizeitgestaltung (z.B. Arenen, Freizeitparks, Spaßbäder und Großkinos) bewirken in der Regel hohe Verkehrsbelastungen im näheren Umfeld und setzen großzügig bemessene, ebenerdige oder mehrgeschossige Parkflächen voraus, für die einige besondere Regeln zu beachten sind.

Zur Abschätzung des Verkehrsaufkommens

und zur Prognose des Parkraumbedarfs wird auf Kapitel C 5.1.2 und die dort angegebene Literatur verwiesen. Bei den Einzelhandelseinrichtungen ist zu beachten, dass umso höhere Belastungsspitzen zu erwarten sind, je einfacher oder spezieller das Warenangebot ist. Das Verkehrsaufkommen der Freizeiteinrichtungen kann erheblichen saisonalen, wochentäglichen oder tageszeitlichen Schwankungen unterliegen, wobei der Anteil der individuell Anreisenden stark vom Angebot an öffentlichen Verkehrsverbindungen beeinflusst wird.

Die Parkflächen sollten den Verkaufs- oder Veranstaltungsflächen möglichst direkt zugeordnet sein. Die meisten Freizeiteinrichtungen benötigen Bus-Parkplätze, die ggf. über separate Zu- und Abfahrten verfügen. Bei Parkbauten von Einzelhandelseinrichtungen ist dafür zu sorgen, dass Fahrzeugrampen nicht mit Einkaufswagen benutzt werden. Geneigte Parkebenen (Parkrampen) scheiden als Bauform aus. Für den Radverkehr sind eigene Verkehrswege vorzusehen. Die Kennzeichnung besonderer Wege für die Fußgänger wird empfohlen. Weitere Hinweise zur Berücksichtigung der Fußgängerbelange siehe Kapitel C 5.2.4.6.

5.3.3.3 Sonderparkstände

Die EAR (FGSV 2004) benennen eine Reihe von Parkständen mit besonderer Zweckbestimmung. Hierzu gehören u.a. Parkstände für

- Fahrzeuge von Mobilitätsbehinderten, die rollstuhl- und behindertengerecht auszuführen sind,
- Fahrzeuge, die von Frauen geführt werden, und die im Sichtbereich des Parkhauspersonals eingerichtet werden sollen,
- Elektrofahrzeuge, die mit einer Stromtankstelle versehen werden können,
- CarSharing – Fahrzeuge, die nach geltendem Recht nur aus privatem Grund bereitgestellt werden dürfen.
- Wohnmobile, die besonders in Urlaubsgebieten und in touristisch attraktiven Orten vorzuhalten sind sowie
- Kleinstfahrzeuge, die mit günstigen Tarifangeboten beworben werden.

5.3.4 Sicherheitsvorkehrungen

5.3.4.1 Brandschutz

Die Brandschutzvorschriften über die feuerbeständige oder feuerhemmende Ausführung von Böden, Wänden, Decken, Türen usw., die Aufteilung der Nutzfläche in Brandabschnitte sowie die Einrichtung von Rettungswegen und Sicherheitsschleusen sind in den Garagenverordnungen der Länder festgelegt und nur zum Teil bundeseinheitlich geregelt. In Verbindung mit anders genutzten Gebäudeteilen gelten im Allgemeinen erhöhte Anforderungen, die ggf. nur mit umfangreichen und aufwendigen Installationen, z.B. für Rauchabzuganlagen erfüllt werden können. Der einwandfreie Zustand der brandschutztechnischen Einrichtungen ist regelmäßig zu kontrollieren.

5.3.4.2 Beleuchtung

Mangelhafte Beleuchtung kann zu Fehlverhalten führen und fördert Angstgefühle. Daher sind Anlagen des ruhenden Verkehrs, einschließlich der Ein- und Ausfahrten, bei Dämmerlicht und bei Dunkelheit ausreichend zu beleuchten.

Parkplätze sind möglichst gleichmäßig auszuleuchten, wobei die eingesetzten Lichtquellen für das Erkennen von Farben und Farbkontrasten besonders günstige Eigenschaften aufweisen sollten.

In Parkbauten soll die Anordnung der Leuchten die Verkehrsführung unterstützen, z.B. durch Längsorientierung in Fahrtrichtung. Gefahrenstellen, z.B. Einmündungen oder Fußgängerüberquerungsstellen, erfordern zusätzliche Maßnahmen, wie erhöhte Beleuch-

tungsstärke oder eine besondere Leuchtenanordnung. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte die Beleuchtung abschnittsweise geschaltet und geregelt werden können. Bei Netzausfall ist eine Notbeleuchtung sicherzustellen. Zwischen der Straße und dem Gebäudeinneren soll eine Adaptationsstrecke ausreichender Länge, z.B. entsprechend einer Fahr- und Aufenthaltsdauer von 3 s, die unterschiedlichen Helligkeiten ausgleichen. Dabei sollte sich die Beleuchtung wechselnden Lichtverhältnissen selbstregelnd anpassen.

5.3.4.3 Lüftung

Die lufthygienischen Mindestanforderungen sind in den Garagenverordnungen der Länder enthalten mit zum Teil unterschiedlichen Vorgaben. Soweit durch natürliche Lüftung die Schadstoffgrenzwerte nicht eingehalten werden können, werden mechanische Lüftungsanlagen erforderlich, die abschnittsweise geregelt und geschaltet werden können sollten. Werden vorgeschriebene Schadstoffgrenzwerte überschritten, müssen Warneinrichtungen selbsttätig in Funktion treten, die auf die Vergiftungsgefahr hinweisen und zum Abstellen der Motoren und zum Verlassen der Garage auffordern.

5.4 Ausblick

Die Verfahren zur *Schätzung des Parkraumbedarfs* (siehe Kap.C 5.1.2.3) sind noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Die Basis der empirisch gewonnenen Ergebnisse reicht bislang nicht aus. Begonnene Arbeiten sollten fortgesetzt werden. Eine Ergebnisverbesserung ist ggf. auch durch neue Ansätze zu erzielen.

Die Ansprüche an die Parkraumplanung werden in Kapitel C 5.1.1 mehr oder weniger sektoral den einzelnen *Nachfragegruppen* zugeschrieben und nach Ort und Zeitdauer der Belegung der Parkflächen statisch definiert. Diese Beschreibung trifft in weiten Bereichen noch zu. Für die Zukunft ist jedoch zu erwarten, dass sich die Parkraumnachfrager immer flexibler verhalten wollen oder müssen. Auf den unterschiedlichen Ebenen der Parkraumplanung und des Betriebs der Anlagen sind daher zukünftig dynamische Regelungen zu entwickeln und anzubieten.

Zum Beispiel werden die im Kapitel C 5.1.3 beschriebenen Gerätschaften der *Parkraumbewirtschaftung* im Straßenraum (Parkuhren und Parkscheinautomaten) mittelfristig aus dem Stadtbild verschwinden. Parkdauer und -entgelt werden – wie im Ausland teilweise bereits möglich – z.B. über das Mobiltelefon oder über ein spezielles Endgerät festgestellt und bargeldlos bezahlt werden können, sobald die rechtlichen und technischen Fragen des Datenschutzes und der Kontrolle in Deutschland definitiv geklärt sein werden. Es ist außerdem zu erwarten, dass die heute in den deutschen Großstädten überwiegend noch anzutreffenden kleinteiligen Parkverbots- und Parkerlaubnisbeschilderungen nach ausländischem Vorbild zunehmend durch einfachere Bereichsregelungen (z.B. „Blaue Zone“) ersetzt werden.

Der knappe und daher teure städtische Baugrund ist viel zu wertvoll, um von Langzeitparkern belegt zu werden. Der bisher in Deutschland nur vereinzelt realisierte Bau *automatischer Parksysteme* (siehe Kap. C 5.2.5.3) wird unter diesem Aspekt zukünftig stärkere Beachtung finden. Auch die Möglichkeit, Nachfragegruppen mit langer Parkdauer durch *P+R-Anlagen* (siehe Kap. C 5.3.3.1) aus zentralen Stadträumen fernzuhalten, wird noch an Bedeutung gewinnen. Die bisher sehr zurückhaltend praktizierte *wechselseitige Parkraumbereitstellung* (siehe Kap. C 5.3.2) bietet erhebliche Parkraumreserven, die z.B. durch Anbieter-/Abnehmer-Börsen aktiviert werden könnten.

Die dynamischen *Parkleitsysteme* im Straßenraum, wie im Kapitel C 5.1.3.5 kurz beschrieben, werden in absehbarer Zukunft durch Systeme ergänzt oder ersetzt werden, die im Fahrzeug z.B. eine Parkstandreservierung und die Zielführung übernehmen. Auch sind Dienste in der Entwicklung, mit denen vor Antritt der Fahrt, z.B. Öffnungszeiten und Tarife abgefragt sowie Parkstandbuchungen vorgenommen werden können.

Schließlich werden sich bei der *Ein- und Ausfahrtabfertigung* von Anlagen des ruhenden Verkehrs außerhalb des Straßenraums (siehe Kap. C 5.2.4) aus Sicherheits- und Rationalisierungsgründen nach und nach Methoden der Fahrzeugerkennung durchsetzen, mit denen zugleich die bargeldlose Abrechnung der Parkgebühren möglich sein wird.

Literatur

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (1998): Schneller Parken mit Parkleitsystemen. München

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (2000): Benutzerfreundliche Parkhäuser. München

Baier, R.; Hebel, C.; Peter, C.; Schäfer, K.-H. (2000): Gesamtwirkungsanalyse zur Parkraumbewirtschaftung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 75, Bergisch Gladbach

Baier, R. u. Hebel, C. (2001): Parkraumbewirtschaftung und Modal-Split – die relativierte Stellschraube. In: Straßenverkehrstechnik 45; Heft 4, S. 165-167

Boltze, M.; Puzicha, J.; Axhausen, K.W.; Polak, J.W. (1994): Parkverhalten und Wirksamkeit des Parkleitsystems in Frankfurt am Main. In: Straßenverkehrstechnik 38, Heft 1, S. 29-34

Bosserhoff, D. (2001): Verkehrserzeugung durch Vorhaben der Bauleitplanung – Möglichkeiten zur Beeinflussung des Verkehrsaufkommens durch Integration von Verkehrs- und räumlicher Planung. In: Straßenverkehrstechnik45, Heft 8, S. 380-388 und Heft 9, S. 443-450

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (1999): Vorläufige Hinweise zu den Richtlinien für Rastanlagen an Straßen bezüglich Autobahnrastanlagen – Änderungen und Ergänzungen zur RR 1, Ausgabe 1981. Bonn

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V. (Hrsg.) (2000): Parkhäuser – aber richtig. Verlag Bau + Technik, Düsseldorf

Der Bundesminister für Verkehr (BMV) (1981): Richtlinien für Rastanlagen an Straßen, Teil 1: Allgemeine Planungsgrundsätze, Landschaftsgestaltung, unbewirtschaftete Rastanlagen (RR 1). Bonn

Deutscher Städte- und Gemeindebund (1996): Ziele und Bausteine kommunaler Parkraumpraxis. In: Straßenverkehrstechnik40, Heft 6, S. 279-281

Dunker, L. (1990): Rampen-Neigungswechsel. In: Die Parklücke, Informationsschrift der Otto-Wöhr-GmbH, 1990, Heft 5, S. 2 u. 3

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:

– FGSV (1991): Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE)
– FGSV (1993): Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS), Teil 1: Abmessungen und geometrische Anordnung von Markierungszeichen (RMS-1)
– FGSV (1994): Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Busbahnhöfen
– FGSV (1995): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE). Ergänzte Fassung
– FGSV (1996): Hinweise zu Parkleitsystemen – Konzeption und Steuerung
– FGSV (1998a): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV). Berichtigter Nachdruck
– FGSV (1998b): Hinweise zu P+R in Klein- und Mittelstädten
– FGSV (1999): Verkehrliche Wirkungen von Großeinrichtungen des Handels und der Freizeit. FGSV-Arbeitspapier Nr. 49
– FGSV (2001): Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen
– FGSV (2004): Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR)
– FGSV (in Vorbereitung): Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen

Gerlach, J.; Dohmen, R.; Blochwitz, H. (2000): Kennlinien der Parkraumnachfrage. Berichte der

Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 78, Bergisch Gladbach

Haller, W. u. Lübke, H. von (1994): Parkraumkonzepte für Klein- und Mittelstädte. In: Straßenverkehrstechnik 38, Heft 5, S. 279-289

Heiderich, S. u. Nickel, E. (1987): „Park and Ride“ im Städtevergleich. In: Der Städtetag 40, Heft 2, S. 115-117

Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (2001): Leitfaden zur Bedarfsermittlung und Planung von P+R-/B+R-Anlagen. Schriftenreihe der hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung, Heft 46, Wiesbaden

Huber-Erler, R.; Schäfer, K.-H.; Wagener, A.; Wacker, M. (1996): Dokumentation Parken – Materialsammlung zum „Parken in der Stadt“. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 30, Bergisch Gladbach

Körntgen, S. (1993): Beispielsammlung Parkleitsysteme. Grüne Reihe des Fachgebiets Verkehrswesen, Heft 26, Universität Kaiserslautern

Körntgen, S. (1996): Parkleitsysteme und Parksuchverkehr. In: Grüne Reihe des Fachgebiets Verkehrswesen, Heft 34, S. 79-99, Universität Kaiserslautern

Schuster, A.; Garben, M.; Kohlen, R.; Reinhold, T. (1999): Parkraumbedarfsermittlung in Gebieten mit konkurrierenden Parkraumangeboten. In: Straßenverkehrstechnik 43, Heft 2, S. 61-67

Sill, O. (Hrsg.) (1981): Parkbauten. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb von Parkhäusern und Tiefgaragen. Bauverlag, Wiesbaden

Topp, H. H. (1998): Erreichbarkeit, Parkraum und Einzelhandel. In: Straßenverkehrstechnik 42, Heft 5, S. 217-223

Topp, H. H. (1999): Stellplatzsatzungen wirken sich langfristig aus. In: Der Städtetag 52, Heft 7, S. 12-17

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) (1993): Konzeption, Planung und Betrieb von P+R. Köln

6 Öffentlicher Verkehr

6.1 Grundlagen für die Systemauswahl im öffentlichen Personennahverkehr

6.1.1 Problemstellung und generelle Gesichtspunkte bei der Auswahl geeigneter Systeme

6.1.1.1 Problemanalyse

Am Anfang eines Entscheidungsprozesses über die Wahl eines bestimmten Systems muss eine umfassende Problemanalyse stehen, die – soweit möglich – auch künftige Entwicklungen mit einschließt. Dazu gehören:

- die Definition der zu lösenden Aufgabenstellung;
- die Ziele, die mit der Lösung erreicht werden sollen;
- die Erwartungen der (potentiellen) Fahrgäste und des Betreibers des Systems sowie der Öffentlichkeit; daraus abgeleitet, die Anforderungen an das System;
- die lokalen und regionalen Randbedingungen, die bei der Systemauswahl relevant sind.

Die Festlegung des Korridors oder des Gebietes, das durch das Nahverkehrssystem erschlossen werden soll, ist Teil der Eingrenzung der Aufgabenstellung und der Ziele. Danach ist die Linienführung bzw. das Netz zu entwerfen. Dieser den Bedienungsstandard und die Wirksamkeit wesentlich beeinflussende Teil des Systementwurfs ist in Kapitel C 6.2 näher beschrieben.

Im Rahmen der *Anforderungen an das System* ist aus Sicht des *Benutzers* vor allem die Beförderungsqualität von Interesse. In diesem Sinne wird der Systemerfolg beeinflusst durch:

- Haltestellenabstände entsprechend der Erschließungsaufgabe sowie eine gute Erreichbarkeit der Haltestellen (örtliche Verfügbarkeit);
- dichtes zeitliches Fahrplanangebot (zeitliche Verfügbarkeit);
- kurze Reisezeiten vom Ausgangs- bis zum Zielpunkt der gesamten Reise (Schnelligkeit);
- störungs- und behinderungsfreie Beförderung (Zuverlässigkeit);
- angemessener Komfort bei Fahrzeugen und Haltestellen sowie einfache Bedienung und eindeutige Fahrgastinformation (Attraktivität);
- ganzheitliche Gestaltung des gesamten öffentlichen Verkehrsangebotes. Optimales und überzeugendes Preis-/Leistungsverhältnis (Preiswürdigkeit);
- Integrales Tarifsystem zur freizügigen Benutzung des gesamten öffentlichen Verkehrsangebotes mit durchgehend gültigen Fahrausweisen (Freizügigkeit).

Von den öffentlichen Verkehrssystemen wird erwartet, dass sie zur wirksamen Umsetzung bestimmter verkehrspolitischer Ziele beitragen. Da öffentliche Verkehrsmittel außerdem überwiegend aus öffentlichen Mitteln finanziert werden, ist es verständlich, dass die *Öffentlichkeit* und insbesondere die verantwortlichen Politiker erwarten, dass dadurch für die Allgemeinheit ein möglichst großer Nutzen entsteht und dieser auch objektiv erkennbar ist. Zu diesen Anforderungen gehören folgende Gesichtspunkte:

- Image des öffentlichen Verkehrs in der Öffentlichkeit

– Bedienungsstandard
– Wirksamkeit des Systems, das heißt welcher Anteil der Bevölkerung profitiert vom System
– Langzeitwirkung auf die Entwicklung der Stadt oder des Ballungsraumes
– Belastung der Umwelt
– Wirtschaftliche Rechtfertigung
– Erreichung sozialpolitischer Zielsetzungen (Sicherstellung der Grundmobilität, Behindertenfreundlichkeit, Mobilitätsvorsorge)

Der *Betreiber* trägt die Verantwortung für den wirtschaftlichen Betrieb des ihm anvertrauten Systems und hat deshalb Erwartungen im Hinblick auf

– technische Zuverlässigkeit,
– Wartungsarmut,
– kurze Umlaufzeiten,
– niedrige Fahrzeugvorhaltungs- und Betriebsführungskosten,
– große Leistungsfähigkeit und Flexibilität der Betriebsabwicklung,
– Attraktivität des Systems,
– hohen Kostendeckungsgrad,
– moderne und attraktive Arbeitsplätze und damit
– das Sozialprestige der Arbeitnehmer des Betreibers.

Die *Rahmenbedingungen,* mit denen sich die Problemanalyse vor der eigentlichen Systemauswahl auseinandersetzen muss, umfassen:

– *Topographische und technische Randbedingungen:*

Hierzu gehören die Trassierungsmerkmale vorhandener Verkehrswege, die mitbenutzt werden sollen sowie die Lage von topographischen Hindernissen. Es stellt sich in diesem Zusammenhang auch die Frage nach dem Technologiestandard, und zwar sowohl von der Beherrschbarkeit als auch vom Aufwand her.

– *Städtebauliche Rahmenbedingungen:*

Sie ergeben sich aus den vorhandenen Stadtstrukturen sowie aus erwarteten Einflüssen, die das ÖPNV-System auf die Stadtentwicklung ausüben soll. Die Fahrweggestaltung wird beispielsweise zu anderen Resultaten kommen, wenn das System in eine Fußgängerzone zu integrieren ist als bei einer breiten Hauptverkehrsstraße.

– *Gesellschaftliche Rahmenbedingungen:*

Im Gegensatz zu der Situation in Entwicklungsländern, in denen es bei ÖPNV-Systemen darum geht, Grundmobilität sicherzustellen, wird in den Industriestaaten der Anspruch erhoben, dass die öffentlichen Verkehrsmittel im freien Wettbewerb mit dem motorisierten Individualverkehr zusätzliche Kunden gewinnen. Der Akzeptanz künftiger Systeme ist daher besondere Beachtung zu schenken, ebenso wie der Entwicklung des Mobilitätsverhaltens insgesamt.

– *Politische Rahmenbedingungen:*

Verkehrs- und planungspolitische Absichten können Entscheidungsprozesse für ein ÖPNV-System stark beeinflussen und dessen Erfolgschancen entscheidend bestimmen. Restriktive Maßnahmen bei der Infrastruktur des motorisierten Individualverkehrs begünstigen die ÖPNV-Nachfrage, während zum Beispiel paralleler Straßenausbau die Erfolgschancen eines ÖPNV-Systems mindert.

– *Ökonomische Randbedingungen:*

Die Finanzierungsmöglichkeiten stellen meist die wichtigsten Rahmenbedingungen für ÖPNV-Systeme dar. Dabei ist vor allem auch entscheidend, in welchem Zeitraum und von wem Mittel zur Verfügung gestellt werden. Eine höhere Bereitschaft zur Finanzierung ist dort zu erwarten, wo rasche Erfolge in Aussicht gestellt werden können. In dieser Hinsicht sind Systeme im Nachteil, die über lange Zeiträume hohe Investitionsaufwendungen ohne „Return on Investment“ haben und deren Wirkung erst nach vollständiger Realisierung eintritt.

Parallel zu dieser Problemanalyse sind Kriterien zu definieren, die Beurteilungsmaßstab

der Systementscheidung sein sollen. Sie lassen sich vier Gruppen zuordnen:

- betriebswirtschaftliche Kriterien (Kapital- und Unterhaltungskosten der Infrastruktur, Fahrzeugvorhaltungs- und Betriebsführungskosten)
- volkswirtschaftliche, das heißt monetär quantifizierbare gesamtwirtschaftliche Kriterien
- andere Effekte, die nicht in Geldbeträgen ausgedrückt werden können
- Umstände bzw. Einflüsse, deren Wirkung nicht messbar ist.

Mit der Festlegung dieser Entscheidungskriterien ist auch zu definieren, wie diese im Einzelnen bei der Entscheidungsfindung zu gewichten sind. Die bei den eingangs erwähnten Erwartungen an ein ÖPNV-System vorgenommene Unterscheidung nach den Interessenbereichen der Benutzer (Fahrgäste), der Betreiber *und* der Allgemeinheit ist auch bei dieser Gewichtung von Bedeutung, wobei es zwischen den einzelnen Perspektiven zu durchaus widersprüchlichen Interessen kommen kann.

Die Grenzen der finanziellen Ausstattung für die Bereitstellung des ÖPNV-Angebots tragen dazu bei, dass betriebswirtschaftliche Aspekte im Rahmen der Systementscheidung eine große Rolle spielen. Dennoch darf die Beurteilung keinesfalls allein auf die betriebswirtschaftlichen Bewertungsmaßstäbe reduziert werden. Gerade der volkswirtschaftliche Nutzen spielt bei der verkehrspolitischen Beurteilung bestimmter Lösungen eine wichtige Rolle. In der Praxis hat dies in der Bundesrepublik ihren Niederschlag im Verfahren der „Standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des ÖPNV" (Bundesminister für Verkehr, 1988) gefunden, womit Bund und Länder die Förderung von Maßnahmen von den Ergebnissen einer einheitlichen Nutzen-Kosten-Untersuchung abhängig machen, innerhalb der dem gesamtwirtschaftlichen Ergebnis besondere Bedeutung zukommt.

Ein anderes wesentliches Element des Entscheidungsprozesses zur Systemauswahl ist die sorgfältige Ausarbeitung der einbezogenen Lösungsalternativen. Sie müssen vergleichbar sein und unter realistischen Bedingungen umgesetzt werden können. Wenn unterschiedliche Verkehrssysteme in einen Variantenvergleich einbezogen werden, ist es wichtig, sie jeweils so einzusetzen, dass ihre Stärken optimal zum Tragen kommen und gleichzeitig die systemimmanenten Nachteile möglichst wenig durchschlagen. Varianten unter technischen Gesichtspunkten ergeben sich bei den Systemkomponenten Fahrweg und Fahrzeug sowie bei der Betriebsweise.

6.1.1.2 Fahrweg

Unterschiedliche Spurführungsarten (schienengebundene Verkehrsmittel oder Straßenverkehrsmittel mit oder ohne automatische Seitenführung) sind möglich. Art und Umfang der Trennung des Fahrweges vom übrigen Verkehr können ebenfalls variieren und sind entscheidend für die Angebotsqualität. Weitere Unterschiede der Varianten können bezüglich der gewählten geometrischen Normen für den Fahrweg bestehen. Die Wahl von Radien und Steigungen kann teilweise recht starken Einfluss auf die Investitionskosten der Systeme haben. Zusätzliche Unterscheidungsmerkmale können die Form des Gleisbaus, die Gestaltung der Fahrwege, die Art der Stromzuführung sowie die Bauart und Ausstattung der Haltestellen sein.

6.1.1.3 Fahrzeuge

Der Gestaltung der Fahrzeuge kommt sehr große Bedeutung zu. Während die Abmessungen und die Gestaltung von Bussen durch gesetzliche Vorschriften und aktuelle Angebote der Hersteller häufig vorbestimmt sind, können Fahrzeuge vor allem für neue Schienenverkehrssysteme relativ frei entworfen und den jeweiligen lokalen Bedingungen ange-

passt werden (Fahrzeugabmessungen, Türanordnung, Fußbodenhöhe, Sitzplatzanordnung, Design). Die Gestaltungsmöglichkeiten sind sehr vielfältig, und ein guter Fahrzeugentwurf setzt umfassende Kenntnisse des angestrebten Angebotsstandards und der Gestaltungsmöglichkeiten voraus.

Dabei geht es nicht nur um die Außenabmessungen und das Außendesign sowie die Innenraumgestaltung der Fahrzeuge, sondern auch um die Informationseinrichtungen in und an den Fahrzeugen, die Art der Fahrgastabfertigung, die tolerierbaren Lärmemissionen und den Energieverbrauch.

6.1.1.4 Betrieb

Zu unterscheiden ist zwischen konventionellen, das heißt mit Fahrpersonal betriebenen und halbautomatischen oder vollautomatischen fahrerlosen Fahrzeugen, Betrieb mit Einzelfahrzeugen oder mit Zügen sowie der Art der Abstandssicherung der Fahrzeuge. Ebenso können unterschiedliche Formen der Fahrgastabfertigung an den Haltestellen und der Anpassung der Beförderungskapazitäten an schwankende Nachfragen gewählt werden. Die Eignung der einzelnen Systeme zur Beförderung von Behinderten kann ebenfalls unterschiedlich sein.

Nicht vergessen werden dürfen die Hilfs- und Nebeneinrichtungen der verschiedenen Systeme für Wartung und Unterhalt von Fahrzeugen und Infrastruktur.

Ein weiterer Aspekt innerhalb des Entscheidungsprozesses über die Systemauswahl ist, welche Institutionen an der Entscheidung zu beteiligen sind. Die Tendenz, dass immer mehr politische Gremien, Administrationen, Betroffene und Interessierte an Systementscheidungen partizipieren, hat einerseits den Vorteil, dass ein breiteres Spektrum der Auswahl zugrunde gelegt wird.

Zum andern ergibt sich der Nachteil, dass vielfach die Beteiligten ganz unterschiedliche Voraussetzungen, zum Beispiel bezüglich des Abstraktionsvermögens besitzen, oder einseitig ihre Interessen vertreten. Diesem Problem kann durch eine frühzeitige Beteiligung sowie durch klare Strukturierung des Entscheidungsprozesses begegnet werden.

6.1.2 Stadtschnellbahnen

Zu den Stadtschnellbahnen zählen elektrische Schienenbahnen in Großstädten bzw. großstädtischen Verdichtungsräumen, deren Fahrzeuge unabhängig von anderen Verkehrsmitteln auf festen Routen und nach Fahrplan verkehren. Ihre Liniennetze folgen den Hauptverkehrsströmen.

Bei der Anpassung ihrer Beförderungskapazität an die Nachfrage spielt neben der Bedienungshäufigkeit die Zugbildung eine wichtige Rolle, durch die, je nach möglicher Zugkonstellation, das Mehrfache der Beförderungskapazität einer Fahrzeugeinheit erreicht werden kann.

Die Ausrichtung der Stadtschnellbahnen auf die Schwerpunkte des Verkehrsaufkommens führt zu großen Haltestellenabständen und besonderen Maßnahmen zur Beschleunigung des Fahrgastwechsels (fahrzeugseitig: zahlreiche breite Türen; haltestellenseitig: Bahnsteige, die mit dem Fahrzeugboden niveaugleich sind). Die typischen Verkehrsmittel, die in Deutschland zu den Stadtschnellbahnen gerechnet werden, sind die S-Bahnen und die U-Bahnen.

S-Bahn

Die S-Bahnen sind Stadtschnellbahnen, die überwiegend von Konzerntöchtern der Deutschen Bahn AG als Eisenbahnen nach den Vorschriften der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung, 1967) gebaut und betrieben werden. Sie haben in monozentrischen Ballungsräu-

men die Aufgabe, die Außenbereiche mit dem Kernbereich zu verbinden. Daneben stellen sie die Verbindung der Region zu wichtigen Verknüpfungspunkten des Fernverkehrs (z.B. Flughäfen) und zu Aktivitätszentren (z.B. Großsportanlagen, Messeplätze) her. Da im Kernbereich zur besseren Erschließung Haltestellenabstände zwischen 500 und 1000 m üblich sind, können S-Bahnen dort auch lokale Erschließungsfunktion übernehmen, was beim Entwurf von integrierten ÖPNV-Angeboten zu berücksichtigen ist.

Mit entsprechenden Zugsicherungssystemen sind im Bereich der zentralen Bündelungsstrecken Zugfolgen von 90 s zu erreichen. Dies bietet die Voraussetzung für ein Angebot von bis zu 70.000 Plätzen pro Stunde und Richtung. Da in der Praxis meist nicht die Streckenleistungsfähigkeit, sondern die Haltestellenleistungsfähigkeit ausschlaggebend ist, liegen die realistischen Werte zwischen 30.000 und 70.000 Personen pro Stunde und Richtung.

Hinsichtlich ihres *Fahrweges* entsprechen die S-Bahnen mit einer Spurweite von 1435 mm (= Regelspur) den übrigen Eisenbahnen. Das ist neben einem identischen Bahnstromsystem eine wesentliche Voraussetzung, um S-Bahnen so in ein bestehendes Eisenbahnnetz zu integrieren, dass eigene Gleise nur dort erforderlich sind, wo die Leistungsfähigkeit dies bedingt. Mit dieser Zielsetzung wurde bei allen nach dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland eingeführten S-Bahnsystemen der bei Vollbahnen übliche Einphasenwechselstrom mit 15 KV Spannung und 16 2/3 Hz Frequenz als Traktionsenergie verwendet. Die älteren Systeme in Berlin und Hamburg werden mit Gleichstrom (800 V bzw.1200 V) versorgt. Die Stromzuführung erfolgt dort nicht über einen Fahrdraht, sondern wie bei den klassischen U-Bahnen über eine seitlich am Oberbau angebrachte Stromschiene.

Die bereits erwähnte Erschließungscharakteristik mit Haltestellenabständen, die auf Außenstrecken in Abhängigkeit von der Siedlungsdichte 15 bis 3 km betragen können, führt bei S-Bahnen zu Beförderungsgeschwindigkeiten von durchschnittlich 50 bis 60 km/h.

Entsprechend den Unterschieden in der Nachfragecharakteristik, in der Haltestelleninfrastruktur und im Bahnstromsystem kommen unterschiedliche *Fahrzeuge* zum Einsatz. Bei den Wechselstromsystemen werden die Triebwagen der Erstausrüstung (Baureihe 420) nach und nach durch Fahrzeuge einer neuen DB-Triebwagen-Familie (Baureihen 423-426) ersetzt. Auf S-Bahn-Netze monozentrischer großstädtischer Verdichtungsräume mit Bahnsteighöhen von 95 cm ist die Baureihe 423 (siehe Abb. 6.1) abgestimmt. Eine Einheit ist knapp 70 m lang; sie besteht aus zwei End- und zwei Mittelwagen, die betrieblich nicht getrennt werden können, und bietet über 500 Sitz- und Stehplätze. Bis zu drei Einheiten können als Zugverband gefahren werden. Mit 140 km/h haben die Triebzüge der Baureihe 423 eine im Vergleich zu U-Bahnen höhere Höchstgeschwindigkeit, die angesichts der großen Haltestellenabstände für die Erhöhung der Beförderungsgeschwindigkeit nutzbar ist.

Auch lokbespannte Wendezüge werden bei entsprechenden Rahmenbedingungen als S-Bahnfahrzeuge eingesetzt, zum Teil auch mit Doppelstockwagen.

U-Bahn

U-Bahnen sind Stadtschnellbahnen, die als kommunale Bahnen nach den Bestimmungen der BOStrab (Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen, 1987) und verschiedenen Richtlinien (z.B. Tunnelbaurichtlinien) gebaut und betrieben werden. Anders als die S-Bahnen erfüllen sie überwiegend Erschließungsfunktionen innerhalb der Stadt. Um schnellbahngerechte Beförderungsgeschwindigkeiten zu garantieren, ist die Untergrenze der Haltestellenabstände bei ca. 500 m,

Abb. 6.1 S-Bahntriebwagen Baureihe 423 der Deutschen Bahn AG. (Foto: Verfasser)

im Mittel bei 750 bis 1000 m. Wird von einer Zugfolgezeit von 90 s ausgegangen, die mit konventioneller Zugsicherungstechnik bei U-Bahnsystemen zu erreichen ist, liegt die theoretische Leistungsfähigkeitsgrenze bei 40.000 Personen je Stunde und Richtung. Ähnlich wie bei der S-Bahn liegen die praktischen Leistungsfähigkeitswerte unter den theoretischen. Bei einzelnen Linien außerhalb der Bündelungsabschnitte ist von ca. 10.000 Personen pro Stunde und Richtung auszugehen. Ein Hauptmerkmal, das der „Untergrund"-Bahn den Namen gab, ist ihr Fahrweg, der grundsätzlich unabhängig vom übrigen Verkehr geführt wird und deshalb aus städtebaulichen Gründen überwiegend Tunneltrassen hat. Die bei U-Bahnen in Deutschland übliche Höchstgeschwindigkeit von 70 bis 80 km/h erfordert großzügige Trassierungselemente. So sehen die Richtlinien Mindestradien von 180 m und maximale Längsneigungen von 40 Prozent vor.

In Deutschland realisierte U-Bahnen (Berlin, Hamburg, München, Nürnberg) sind ausschließlich Gleichstrombahnen, die ihre Traktionsenergie einer seitlich am Oberbau angebrachten Stromschiene entnehmen.

Die Abmessungen der Fahrzeuge sind in engem Zusammenhang mit den Leistungsfähigkeitsmerkmalen zu sehen, wobei die Fahrzeugbreite sich nach dem zur Verfügung stehenden Tunnelquerschnitt richtet. Während die traditionellen U-Bahnsysteme in Berlin und Hamburg Fahrzeugbreiten zwischen 2,30 m und 2,65 m aufweisen, haben die in den siebziger Jahren neu installierten Systeme in München und Nürnberg 2,90 m breite Fahrzeuge (siehe Abb. 6.2). Sie lassen z.B. in Querrichtung vier bequeme Sitzplätze und einen Durchgang in ausreichende Breite zu und werden so den Anforderungen an hohes Fahrgastaufkommen besonders gut gerecht. Bei den Systemen in Hamburg, München und Nürnberg kommen überwiegend Triebwagen mit einer Länge von ca. 40 m zum Einsatz, die im Zugverband auf maximal 120 m verlängert werden können. Aus dem hohen Fahrgastaufkommen resultieren auch gezielte Maßnahmen für die Beschleunigung des Fahrgastwechsels an der Haltestelle. Dazu gehört neben dem ebenerdigen Einstieg eine Türanordnung mit großen Auffangräumen, bei der jeder Tür links und rechts eine Sitzplatzgruppe zugeordnet ist.

Abb. 6.2 U-Bahn-Doppeltriebwagen (C-Wagen) der Stadtwerke München. (Münchner Verkehrsgesellschaft mbH, Foto: D. Jan Kobel)

Was die *Betriebsweise* der U-Bahnen anbetrifft, so sind bereits in den siebziger und achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts gemeinsam mit der Industrie intensive Forschungsarbeiten geleistet worden, um automatische Betriebsablaufsteuerungssysteme zu entwickeln, die der streckenseitigen Automatisierung und der Fahrautomatisierung dienen. An der konkreten Realisierung eines automatischen U-Bahn-Betriebs wird in Nürnberg gearbeitet; Ziel ist, ab 2007 eine komplette Linie automatisiert zu betreiben.

6.1.3 Straßenbahnen und Stadtbahnen

Bei den Straßenbahnen und Stadtbahnen handelt es sich um Schienenverkehrsmittel, die hinsichtlich ihrer Einsatzkriterien und ihrer Beförderungsqualität unterhalb der Stadtschnellbahnen einzuordnen sind. Der Bau und Betrieb von Straßenbahnen und Stadtbahnen erfolgt nach der BOStrab (Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen, 1987). Die konventionelle Straßenbahn verkehrt überwiegend innerhalb des öffentlichen Straßenraums und verfügt nur in Ausnahmefällen über einen besonderen Gleiskörper. Die Entwicklung des motorisierten Individualverkehrs hat allerdings dazu geführt, dass vom Systemmerkmal „gemeinsamer Fahrweg“ eine zunehmende Verschlechterung der Beförderungsqualität und der Zuverlässigkeit ausging.

Hier setzt die Weiterentwicklung der Straßenbahn zur Stadtbahn an, die – wenn ihr Fahrweg vom motorisierten Individualverkehr weitestgehend unabhängig ist – qualitativ an Stadtschnellbahnen heranreicht. Ein Vorläufer war die in den ersten Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg propagierte Unterpflasterstraßenbahn (U-Strab), bei der die konventionelle Straßenbahn abschnittsweise im Tunnel geführt wurde, um besonders kritische Konfliktbereiche mit dem Kraftfahrzeugverkehr zu entschärfen.

Heute umfasst der Begriff „Stadtbahn“ alle weiterentwickelten Straßenbahnsysteme, bei denen besondere technische Maßnahmen zur Verbesserung der Beförderungszeit, der Zuverlässigkeit und der Pünktlichkeit ergriffen werden. Der Begriff „Stadtbahn“ ist inzwischen ein Synonym für die moderne Straßenbahn geworden und wird deshalb in dieser Publikation mit dieser umfassenderen Bedeutung verwendet.

Ein wichtiger Unterschied zu den Stadtschnellbahnen besteht darin, dass bei der

Stadtbahn ein durchgehend unabhängiger Bahnkörper nicht zwingend notwendig ist. Plangleiche Kreuzungen mit dem motorisierten Individualverkehr sind möglich, sollten aber mit einer Signalregelung versehen sein, die der Stadtbahn Vorrang vor dem Kraftfahrzeugverkehr einräumt.

Diese Merkmale lassen eine stufenweise Entwicklung von einer modernen Straßenbahn bis zu einem im Tunnel oder in Hochlage geführten Verkehrsmittel zu, wobei jede Entwicklungsstufe unter Berücksichtigung gewisser Qualitätsmaßstäbe Endstufe sein kann und dennoch eine Weiterentwicklung in die nächsthöhere Stufe ermöglicht.

Die weltweit realisierten Stadtbahnen zeigen, dass diese Systeme sowohl aus der klassischen Straßenbahn heraus entwickelt als auch von vornherein als neue Systeme geplant bzw. gebaut werden können. Ihr Einsatz kann als eigenständiges Primärverkehrsmittel oder als Sekundärverkehrsmittel zur Ergänzung von Stadtschnellbahnen erfolgen.

Stadtbahnsysteme lassen sich – wie ausgeführte Beispiele zeigen – bereits bei einer Nachfrage von 2.000 Fahrgästen pro Stunde und Richtung rechtfertigen. Ohne besondere Maßnahmen durch Zugbildung und ohne höhere Stehplatzausnutzung als die in der Bundesrepublik üblichen 4 Personen pro m² lässt sich eine maximale Beförderungskapazität auf Bündelungsstrecken von 25.000 Fahrgästen pro Stunde und Richtung realisieren. Wird die Zugfolgezeit auf das bei konventioneller Zugsicherungstechnik erzielbare Minimum von 90 s reduziert, so sind bei Verdoppelung der Stehplatzausnutzung und Zugverbänden mit 80 m Länge bis 30.000 Fahrgäste pro Stunde und Richtung bzw. bei Zugverbänden mit 120 m Länge 40.000 Fahrgäste pro Stunde und Richtung erreichbar.

Die (Bonz et al., 1989) entnommene Abbildung 6.3 zeigt eine schematische Zusammenstellung der Systemelemente der Stadtbahn. Sie sind kombinierbar, wobei für die einzelnen Streckenabschnitte unterschiedliche Kombinationen gewählt werden können. Beim Systemelement Fahrzeuge ergeben sich weitere Kombinationsmöglichkeiten.

Fahrweggestaltung

Die Qualität einer Stadtbahn wird im Wesentlichen bestimmt durch die Art und den Umfang der Abtrennung des Fahrwegs von den Fahrbahnen des Individualverkehrs. Dazu zählen besondere Bahnkörper, Tunnelstrecken oder Strecken in Hochlage. Auch die Bevorzugung der Stadtbahn an Kreuzungen mit dem Individualverkehr hebt den Standard des Systems entscheidend an.

Gemeinsames Ziel aller dieser Maßnahmen ist, Verlustzeiten zu verringern und die Regelmäßigkeiten des Betriebsablaufs zu erhöhen. Sofern Gleisradien und Streckenneigungen nicht durch den Verlauf der vorhandenen Straßen vorgegeben sind, sollten sie möglichst großzügig gewählt werden, um eine hohe Beförderungsgeschwindigkeit zu erzielen.

Ein großer Vorteil der Stadtbahn ist die Möglichkeit, Streckenabschnitte mit unterschiedlichem Ausbaustandard beliebig hintereinander zu reihen. Dabei ist anzustreben, möglichst lange Abschnitte mit einheitlich hohem Ausbaugrad zu erhalten. Stadtbahnstrecken können abschnittsweise gebaut werden, was eine stufenweise Inbetriebnahme des gesamten Systems ermöglicht.

Der Gestaltung der Gleisbereiche kommt große Bedeutung zu. Die Möglichkeiten reichen von offenen Schottergleisabschnitten, die stadtgestalterisch nicht immer befriedigend, aber sehr wirtschaftlich beim Bau und bei der Unterhaltung sind, über geschlossene Gleisbauformen, deren Oberfläche durch Pflasterung und spezielle Beläge ansprechend gestaltet werden kann, bis zu Rasengleisabschnitten.

Die Versorgung mit Fahrstrom erfolgt bei

Fahrweg		Fahrzeuge	Betrieb	
Strecken	**Haltestellen**		**Signal-systeme**	**Fahrschein-verkauf**
Im Straßenraum ohne Abtrennung	Im Straßenraum mit Schutzinsel oder Einstieg vom Gehsteig aus	Unmotorisierter Anhänger oder Steuerwagen	Fahrt auf Sicht bzw. mit Verkehrs-regelungsanlagen	Verkauf durch Schaffner im Fahrzeug
Im Straßenraum durch Markierung abgetrennt	Mittelhohe Bahnsteige	Zweiachsig, Ein- oder Doppeldecker-fahrzeug	Beeinflussung der Verkehrsregelungs-anlagen	Verkauf durch Fahrer im Fahrzeug
Im Straßenraum baulich abgesetzt	Hochbahnsteige für ebenen Einstieg	Vierachsig, Ein- oder Doppeldecker-Fahrzeug	Absolute Priorität an Verkehrs-regelungsanlagen	Fahrscheinauto-maten im Fahrzeug oder auf den Haltestellen. Stichproben kontrollen
Im Straßenraum eingezäunt	Oberirdische Bahnhöfe abseits der Straße	Sechs- oder acht-achsig, Eindecker-gelenkwagen	Blocksignalsystem für unabhängige Streckenabschnitte	Geschlossenes System mit Sperren an den Ein- und Ausgängen der Stationen
Eigener Bahnkörper in der Mitte oder seitlich einer Straße	Stationen in Hochlage	Zehn- oder mehr-achsig, Eindecker-gelenkwagen	Automatische Zugsteuerung	
Eigener Bahnkörper abseits der Straße	Unterirdische Bahnhöfe	mehrere Fahrzeuge fest gekuppelt	Fahrerloser Betrieb	
Eisenbahnmäßiger Bahnkörper				
Hochbahnstrecke				
Tunnelstrecke				
Leistungsfähigkeit und Kosten steigen nach unten an				

Abb. 6.3 Kombinierbare Systemelemente einer Stadtbahn. (Bonz et al., 1989)

Stadtbahnen über eine Oberleitung, die optisch in Erscheinung tritt. Ausgeführte Beispiele zeigen, dass durch sorgfältige Gestaltung von Fahrleitung und Tragwerk städtebaulich ansprechende Lösungen gefunden werden können.

Stadtbahnhaltestellen werden mit Haltestelleninseln ausgestattet. Sie dienen vor allem der Sicherheit der wartenden Fahrgäste, erhöhen die Attraktivität der Haltestelle (konzentrierte Anordnung von Fahrgastinformation, Fahrausweisautomat, Sitzgelegenheit, Wetterschutz) und erleichtern das Ein- und Aussteigen. Wesentliche Beiträge zur Barrierefreiheit und zur Verkürzung der Haltezeit leistet der niveaugleiche Einstieg, d.h. die optimale Abstimmung von Bahnsteig- und Wagenbodenhöhe.

Die mittlere Haltestellendistanz beträgt in der Regel zwischen 250 m und vor allem bei Tunnelstrecken bis zu 1000 m. Je größer der Haltestellenabstand, umso geringer wird die Erschließungsqualität der Stadtbahn. Gleichzeitig wächst jedoch die Beförderungsgeschwindigkeit an, die bei großen Stationsabständen bis ca. 40 km/h betragen kann.

Fahrzeuge

Durch die Wahl geräumiger Fahrzeuge und langer Züge kann die Stadtbahn eine hohe Streckenleistungsfähigkeit erreichen. Je konsequenter die Abtrennung der Stadtbahnstrecke vom übrigen Straßenverkehr erfolgt, umso länger dürfen die Züge sein. Die in der Praxis erprobten Zuglängen betragen bei überwiegender Gleislage im Straßenraum 40 bis 50 m, bei großem Anteil abgetrennter Streckenabschnitte 70 bis 80 m. Wenn sich die Konfliktpunkte mit dem Individualverkehr auf signalgesicherte Kreuzungen beschränken, so sind auch bei Stadtbahnen Zuglängen über 100 m möglich. Ein anderer fahrzeugseitiger Faktor, der die Leistungsfähigkeit beeinflusst, ist die Fahrzeugbreite. Bei Queranordnung der Sitze sind je nach Wagenbreite 3 Sitze (bis ca. 2,35 m) bzw. 4 Sitze (über 2,40 m) im Querschnitt möglich.

Große Fahrzeugbreiten setzen aber einen entsprechend breiten Bahnkörper voraus, der im Straßenraum vieler gewachsener Städte oft nicht zur Verfügung gestellt werden kann. Empfohlene Fahrzeugbreiten sind entweder 2,30 bis 2,40 oder 2,65 m. Bei Längsanordnung der Sitzplätze kann das Stehplatzangebot zu Lasten der Sitzplatzanzahl und damit das Fassungsvermögen erhöht werden. Beispiel eines 2,65 m breiten Fahrzeugs zeigt Abbildung 6.4.

Fahrzeuge werden entweder für Einrichtungsbetrieb mit Türen an nur einer Längsseite oder für Zweirichtungsbetrieb mit Türen auf beiden Fahrzeugseiten gebaut. Einrichtungsfahrzeuge erfordern Schleifen zum Wenden der Fahrzeuge. Die Anordnung der Haltestellen muss einheitlich auf der gleichen Gleisseite erfolgen. Diese Fahrzeuge sind einfacher und damit kostengünstiger. Sie weisen in der Regel mehr Sitzplätze auf als Zweirichtungsfahrzeuge. Durch die beidseitige Anordnung von Türen gehen beim Zweirichtungsfahrzeug Sitzplätze verloren. Daneben besitzen diese Fahrzeuge an beiden Fahrzeugenden Führerstände, wodurch weiterer Platz für Fahrgäste verloren geht. Das Wenden dieser Fahrzeuge kann einfach über Gleisverbindungen erfolgen, wobei der Fahrer den Führerstand wechseln muss. Die Haltestellen können beliebig und abwechselnd rechts oder links der Fahrtrichtung angeordnet werden, was vor allem auf Tunnelstrecken vorteilhaft sein kann. Die wahlweise Anordnung der Bahnsteige ist aber auch bei Betrieb mit Einrichtungsfahrzeugen möglich, wenn im Bereich derartiger Haltestellen die Fahrtrichtungen vertauscht werden.

Betrieb

Schienenverkehrsmittel können Störungen von außen weniger flexibel kompensieren als Bussysteme, die bei Betriebsbehinderungen

Abb. 6.4 Stadtbahndoppeltriebwagen DT 8 der Stuttgarter Straßenbahnen AG. (Foto: Verfasser)

umgeleitet werden können. Durch die Anordnung von Zwischenwendeschleifen bzw. Gleisverbindungen bei Betrieb mit Zweirichtungsfahrzeugen können im Fall von Betriebsstörungen Teilnetze isoliert weiter betrieben werden, was die Verfügbarkeit von Stadtbahnsystemen erhöht. Damit können Stadtbahnstrecken nicht nur abschnittsweise in Betrieb genommen, sondern auch bei Störungen betrieben werden.

Im Oberflächenbetrieb und vor allem beim Streckenverlauf im Straßenraum wird in der Regel auf Sicht gefahren. Tunnelstrecken und ausgewählte oberirdische Streckenabschnitte, die mit hoher Geschwindigkeit befahren werden, oder auf denen eingeschränkte Sichtverhältnisse herrschen, werden aus Sicherheitsgründen mit Zugsicherungs- und Überwachungsanlagen ausgerüstet. Mit derartigen Systemen kann darüber hinaus auf Gefällstrecken und vor engen Gleisradien die Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeit überwacht werden.

Beim Oberflächenverkehr kann mit modernen Betriebsleitsystemen und Vorrangschaltungen der Stadtbahnen an Kreuzungen mit dem Individualverkehr die Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit auch bei kleinem Anteil an eigenem Bahnkörper beachtlich erhöht werden.

6.1.4 Mehrsystem-Stadtbahnen (Tram-Train-Systeme)

Stadtbahnen oder Straßenbahnen fahren auf Sicht mit Gleisen, die oft im Straßenraum liegen. Daraus resultiert trotz Beschleunigungsmaßnahmen eine meist geringe Reisegeschwindigkeit. Durch die kurzen Haltestellenabstände haben diese Bahnen eine große Erschließungswirkung. Die Fahrzeuge sind im Vergleich zu Eisenbahnfahrzeugen leichter gebaut. Eisenbahnen fahren auf eigenen Strecke mit hoher Geschwindigkeit. Der Betrieb und die Zugfolge werden über ein Signalsystem gesteuert. Ein Tram-Train-System ist ein Bahnbetrieb, der die wesentlichen Elemente von Stadtbahnen mit denen des Eisenbahnbetriebs verbindet.

Üblicherweise besteht dieser Gemeinschaftsbetrieb darin, dass Stadtbahnfahrzeuge für den Betrieb auf Vollbahngleisen angepasst werden, auf denen sonst Personen- und/oder Güterzüge verkehren. Die Stadtbahnfahrzeu-

ge, die in solchen Systemen in Betrieb sind, werden als „Mehrsystemfahrzeuge“ bezeichnet. Zu dem Systembegriff zählen auch Bahnen, bei denen die Eisenbahn auf Stadtbahngleisen, eventuell sogar mit unterschiedlicher Spurweite, in die Stadt hineinfährt und Stadtbahnen, die ausschließlich auf Vollbahngleisen eingesetzt werden, wobei dazu meist stillgelegte Bahnstrecken reaktiviert werden.

Aufgrund der traditionellen Einsatzgebiete haben Stadtbahnen und Eisenbahnen unterschiedliche betriebliche und technische Merkmale. Im Vergleich zu Eisenbahnlinien erfordert der Betrieb von Stadtbahnen:

- begrenzte Fahrzeugabmessungen, angepasst an die vorhandenen Stadtstrukturen
- kleinere Trassierungselemente für Bogenfahrten wegen engerer Lichtraumprofile
- höhere Beschleunigungs- und Bremsverzögerungen
- geringere Höchstgeschwindigkeit
- niveaugleicher Einstieg
- angemessene Haltemöglichkeiten wegen Gefahrbremsungen
- breitere und mehr Türen für einen schnellen Fahrgastwechsel
- umfassende optische und akustische Fahrgastinformation

Mit dem Aufbau eines Gemeinschaftsbetriebs kann die wachsende Nachfrage nach mittellangen Fahrten insbesondere zu Oberzentren abgedeckt werden. Der wesentliche Vorteil ist darin zu sehen, dass das Ziel ohne Umsteigen zwischen den Verkehrssystemen mit kurzen Reisezeiten erreicht werden kann. Bestehende Netze von Tram-Train-Systemen weisen eine Reihe von Vorteilen aus, die in einem höheren Kundennutzen und größerer Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem Individualverkehr liegen:

- verbesserte Gesamtmobilität in Stadt und Region
- bessere Systemzugänglichkeit als durchgängiges Angebot und größerer Haltestellendichte
- vernünftige Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten
- hohe Effizienz und Zuverlässigkeit in der Betriebsdurchführung
- Möglichkeiten für ein integriertes Management und Marketing
- verbesserte Umweltfreundlichkeit und Energieeinsatz

Bei der Einrichtung solcher Zweisystemmodelle müssen neben den technischen Fragestellungen wie Festigkeit des Wagenkastens, Steuerung von Bahnübergängen, Integration von Signalanlagen und Bordausrüstung, Spurführung, Fahrzeugbeeinflussung und Energieversorgung auch eine Reihe von rechtlichen und administrativen Fragestellungen gelöst werden. Eine Entscheidung für ein solch komplexes System mit höherem Planungsaufwand und in der Regel höheren finanziellen Aufwendungen lässt sich nur dann rechtfertigen, wenn systembedingt eine deutliche Steigerung der Nachfrage erwartet werden kann.

6.1.5 Bus

Innerhalb der öffentlichen Verkehrsmittel gilt der Omnibus als besonders universell einsetzbares Transportsystem. Diese Einschätzung resultiert in erster Linie aus seiner Eigenschaft, als Straßenverkehrsmittel nicht auf einen speziellen Fahrweg angewiesen zu sein. Das lässt, wenn geeignete öffentliche Straßen zur Verfügung stehen, eine sehr flexible Gestaltung seiner Linienführung zu und bringt ihn, ähnlich wie den privaten Pkw, in eine wirtschaftlich günstige Position, da er nur mit einem Teil seiner Wegekosten belastet wird. Zu seiner dominierenden Rolle innerhalb der im ÖPNV erbrachten Verkehrsleistungen hat auch beigetragen, dass der konventionelle Dieselmotor eine sehr ausgereifte und wirtschaftliche technische Lösung darstellt.

Die Tatsache, dass der Bus im übrigen

Kraftfahrzeugverkehr „mitschwimmt“, bringt ihn bei ständig zunehmendem motorisiertem Individualverkehr an Grenzen, die sich negativ auf die Beförderungsqualität auswirken und damit die ohnehin von den Benutzern wahrgenommenen Nachteile gegenüber den Schienenverkehrsmitteln noch weiter vergrößern. Vor diesem Hintergrund sind die mit staatlichen Forschungsmitteln unterstützten Bemühungen zu verstehen, diesem Nachteil zu begegnen, indem alle Komponenten, die den Busbetrieb bestimmen, nämlich Fahrzeug, Fahrweg, Haltestelle, Fahrgastbedienung und Leittechnik in die Angebotsplanung einbezogen werden.

Die Leistungsfähigkeit des Verkehrsmittels Bus ergibt sich aus der Fahrzeuggröße, die anders als bei den Schienenverkehrsmitteln nicht durch Zugbildung vervielfacht werden kann, und den Busfolgezeiten. Werden Fahrzeugfolgezeiten von 1 Minute unterstellt und hohe Stehplatzausnutzung angenommen, so ergibt sich eine theoretische Beförderungsleistung von 6.000-8.000 Personen pro Stunde und Richtung. Diesem Maximalwert sind aber in der Praxis allein schon aus betrieblichen Gründen Grenzen gesetzt, so dass bei einem realistischen 5-Minuten-Takt mit 1.200-1.500 Personen pro Stunde und Richtung zu rechnen ist.

Fahrzeuge

Innerhalb der straßenverkehrsrechtlichen Zulassungsbestimmungen hat sich entsprechend den jeweiligen Einsatzbereichen eine große Variationsbreite von Fahrzeugtypen ergeben, die durch unterschiedliche Gefäßgrößen sowie Sitz- und Stehplatzverhältnisse gekennzeichnet sind. Vor über dreißig Jahren gab es erste Initiativen des Verbandes deutscher Verkehrunternehmen (VDV) und der Fahrzeugindustrie, die Produktpalette zu standardisieren. Auch wenn es heute *den* Standardlinienbus nicht mehr gibt – die wesentlichen Ziele dieses Ansatzes sind verwirklicht: Den Fahrgästen werden Fahrzeuge mit weitgehend standardisierter „Benutzeroberfläche“ geboten. Dem Fahrpersonal steht ein ergonomisch optimierter Arbeitsplatz zur Verfügung. Die Fahrzeuge werden, trotz der Möglichkeit lokale Besonderheiten zu berücksichtigen, den Belangen eines wirtschaftlichen Betriebs gerecht.

Die zurückliegenden zwei Jahrzehnte kennzeichnen große fahrzeugtechnische Anstrengungen beim Bus auf dem Gebiet der Barrierefreiheit und der Umweltverträglichkeit. Im städtischen ÖPNV wird der Niederflurbus mit einer durchgehenden Fußbodenhöhe von 32 cm mehr und mehr zum Standardfahrzeug (siehe Abb. 6.5). Mit fahrzeugseitigen Einrichtungen zur Absenkung des Fußbodens an Haltestellen und mit haltestellenseitigen Maßnah-

Abb. 6.5 Niederflurbus (Foto: Verfasser)

men (Anhebung des Bordsteins) kann die verbleibende Reststufe auf einen Wert reduziert werden, mit denen auch Busverkehrssysteme die Kriterien der Barrierefreiheit erfüllen. Die Ansätze, den konventionellen Dieselbus umweltverträglicher zu gestalten, konzentrieren sich auf das Vermindern der Geräusch- und Schadstoffemission. Mit dem Einsatz von Partikelfiltern bei der Abgasnachbehandlung lassen sich inzwischen Ergebnisse erzielen, die an Werte von erdgasbetriebenen Motoren heranreichen. Eine alle betrieblichen und wirtschaftlichen Kriterien erfüllende Alternative zum Dieselmotor, die völlig schadstofffrei ist, steht derzeit noch nicht zur Verfügung. Zwar sind aktuelle europaweite Praxiserprobungen von Bussen mit Brennstoffzellen-Antrieb technisch vielversprechend. Ihr wirtschaftlicher Einsatz ist unter den heutigen Rahmenbedingungen aber erst in zehn bis zwanzig Jahren zu erwarten.

Betrieb

Die konzeptionellen und betrieblichen Entwicklungstendenzen bei den Busverkehrssystemen, lassen sich aus heutiger Sicht so charakterisieren:

Bei der *Beförderungsqualität* im Sinne höherer Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit an die Maßstäbe des schienengebundenen ÖPNV heranzukommen, bleibt eine Daueraufgabe im Busbetrieb. Rechnergesteuerte Betriebsleitsysteme, die Beschleunigung an Lichtsignalanlagen und geeignete punktuelle oder abschnittsweise Infrastrukturmaßnahmen leisten dazu einen wichtigen Beitrag.

In *Randzeiten und räumlichen Randlagen* geht es darum, die Ziele attraktive, räumliche und zeitliche Verfügbarkeit und wirtschaftlichen Betrieb trotz insgesamt schwacher Nachfrage miteinander in Einklang zu bringen. Hier setzen Lösungen an, die eingesetzten Fahrzeuge, die bis zum Pkw reichen können, von der Bindung an einen fest vorgegebenen Linienweg zu lösen und „flexibel“ bedarfsorientiert einzusetzen. Auch spezielle Liniennetze, die nur zu bestimmten Zeiten bedient werden, gehören dazu – verbreitete Beispiele in Verdichtungsräumen sind die Nachtbusangebote.

Eine systematische Analyse und Angebotsentwicklung für den *ÖPNV von Klein- und Mittelstädten* (10.000 bis 50.000 Einwohner) ist eine andere wichtige Entwicklungstendenz für das Busverkehrssystem. Neben der Erkenntnis, dass sich dort die Probleme für den straßengebundenen ÖPNV nicht wesentlich von denen in Großstädten unterscheiden, gibt es auch strukturelle Herausforderungen. Durch die Ausdehnung von Siedlungsgebieten und Gewerbeflächen, die Auslagerung von öffentlichen Einrichtungen aus dem Ortskern und die Intensivierung der Einkaufs- und Dienstleistungsfunktion des Zentrums entstehen längere Wege – mit der Folge: Die Mit-Bedienung durch den regional ausgerichteten ÖPNV reicht nicht mehr aus. Dazu kommt der Zielkonflikt, den der Binnenverkehr auf Regionalbuslinien auslöst: Regionalfahrgäste, die möglichst schnell an ihr weiter entferntes Ziel gelangen wollen, verlieren durch die innerörtliche Bedienung Zeit.

Die Lösung: Ein lokal zugeschnittenes Orts- bzw. Stadtbusangebot, das sich mit einer übersichtlichen Linienführung, verbesserter Bedienungshäufigkeit und leicht merkbaren Takten präsentiert. Dazu gehören:

- Konzentration auf die zeitlichen Schwerpunkte der Nachfrage, sonst Verweis auf das Regionalbusangebot oder besondere Angebotsformen (z.B. Sammeltaxen)
- Übernahme von Merkmalen und Komponenten des großstädtischen Busverkehrs, also moderne und komfortable Niederflurbusse, sowie zeitgemäße Haltestellenausrüstung, beides in abgestimmtem Erscheinungsbild
- qualifizierte Fahrgastinformation sowie Be-

schleunigungs- bzw. Bevorrechtigungsmaßnahmen
– zentraler Verknüpfungspunkt, eventuell mit Anbindung an das SPNV-Netz, und erweiterten kundendienstlichen Angeboten

6.1.6 Besondere Formen des ÖPNV-Angebots

In den vorangegangenen Kapiteln C 6.1.2 bis 6.1.5 wurden die Verkehrsmittel charakterisiert, die heute vorrangig zum Einsatz kommen, den Großteil der Beförderungsleistungen im ÖPNV erbringen, und damit auch das ÖPNV-Angebot in der Öffentlichkeit prägen. Darüber hinaus gibt es weitere, weniger verbreitete fahrzeugtechnische und betriebliche Lösungen, die je nach konkreter Aufgabenstellung vorteilhaft eingesetzt werden können.

Bahnen besonderer Bauart

Die topographische Situation eines Gebiets kann dazu führen, dass die für die konventionelle Rad-Schiene-Technik notwendigen Reibungsverhältnisse nicht ausreichen oder dass eine Trasse für einen Busverkehr nicht zur Verfügung steht. Das sind die typischen Anwendungsfälle der Bahnen besonderer Bauart, insbesondere dann, wenn die Nachfragestruktur einen Inselbetrieb ohne durchgehende Verbindung zum übrigen ÖPNV-Netz vertretbar erscheinen lässt. Die Mehrzahl der in Deutschland realisierten Bahnen dieses Typs, insbesondere die Schienenbahnen, geht auf die Zeit vor der Massenmotorisierung zurück. Auch wenn sie heute betriebsfähig erhalten und zum Teil modernisiert werden, ist fraglich, ob die Neuinstallation solcher Lösungen heute unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten vertretbar wäre. Zu den Bahnen besonderer Bauart gehören die Zahnradbahnen, die Standseilbahnen und die Seilschwebebahnen.

Bei den *Zahnradbahnen* wird die Aufgabe, stark geneigte Strecken zu befahren, dadurch gelöst, dass die Traktions- und Bremskräfte formschlüssig durch Eingriffe von Zahnrädern in eine meistens mittig verlegte Zahnstange übertragen werden.

Die *Standseilbahnen* sind im Pendelbetrieb verkehrende Bergbahnen, bei denen die beiden auf Schienen laufenden Fahrzeuge von einem gemeinsamen Seil gleichzeitig über die Strecke gezogen werden. Diese kann zweigleisig oder eingleisig mit einem zweigleisig ausgebildeten Ausweichabschnitt sein. Das bergwärts fahrende Fahrzeug wird von der gespeicherten Energie des talwärts fahrenden Fahrzeugs unterstützt.

Bei den *Seilschwebebahnen* werden die Fahrzeuge an einem Seil hängend über die Strecke gezogen. Varianten der Betriebsart sind Pendelbahnen (zwei Kabinen) und Umlaufbahnen (Kabinenanzahl am Bedarf orientiert). Weitere technische Varianten ergeben sich aus der Zahl der Seile, der Art der Verbindung Fahrzeug/Seil, nach der Art der Fahrzeuge und nach dem Grad der Automatisierung.

Unkonventionelle Verkehrssysteme

Dass unkonventionelle spurgeführte Verkehrsmittel schon in der Frühzeit des ÖPNV entwickelt wurden und bis heute ihre Funktion erfüllen können, belegt die Schwebebahn in Wuppertal, deren Fahrzeuge als Hochbahn an einer Schiene hängen, die auf einem von Stützen getragenen Fachwerkträger befestigt ist. Sie ist um 1900 als spezielle Lösung für die topographischen Zwänge des Wupper-Tales konzipiert worden. Das Prinzip der stehenden Einschienenbahn wurde in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts mit der so genannten ALWEG-Bahn zur Betriebsreife entwickel und in verschiedenen Anwendungsfällen im Ausland realisiert.

Von den 20 Jahre später durch staatlich geförderte Forschungsvorhaben entwickelten unkonventionellen spurgeführten Transportsyste-

men ist lediglich ein Anwendungsfall Realität geworden: Die *H-Bahn*, eine Großkabinenbahn, bei der die Kabinen an Fahrwerken aufgehängt sind, die in einem unten aufgeschlitzten Hohlkastenträger laufen. Angetrieben werden die Fahrzeuge von konventionellen Rotationselektromotoren.

Die vor rund 30 Jahren ebenfalls initiierten Ansätze, konventionelle Busse mit Spurführungseinrichtungen zu versehen, um abschnittsweise die Vorteile des spurgeführten Verkehrs nutzbar zu machen, haben in Deutschland lediglich zu einer praktischen Anwendung geführt, dem Spurbus Essen. Derzeit ist eine gewisse Renaissance dieser Ideen in Europa festzustellen. Solche im Deutschen als *Busbahn* bezeichneten Systeme sind inzwischen in Nancy und Rouen in Frankreich realisiert.

Taxi als ÖPNV-Angebot

Schienenverkehrsmittel und Busse sind neben technischen vor allem auch wirtschaftliche Grenzen gesetzt, um den Idealfall einer flächenhaften Bedienung eines Raumes zu verwirklichen.

Deshalb wurden in Gebieten und zu Zeiten schwacher Verkehrsnachfrage Angebotsformen entwickelt, bei denen in Kooperation mit dem Taxigewerbe Lösungen angeboten werden, die sowohl nachfragegerecht als auch wirtschaftlich vertretbar sind. Die in der Bundesrepublik bekannten Bedienungsformen mit Taxis lassen sich in folgende Kategorien unterteilen:

Beim *Linientaxi* handelt es sich um einen Einsatz von Taxen im Linienbetrieb mit regelmäßiger Bedienung fester Routen und Haltestellen, das heißt das Taxi ersetzt hier lediglich das größere Transportgefäß Bus.

Beim *Anruf-Sammeltaxi* (AST) wird der liniengebundene Betrieb zu bestimmten Zeit völlig aufgehoben. Bei Bedarf fahren zu festen Zeiten Taxen von definierten und gekennzeichneten Haltestellen ab. Der Fahrgast meldet seinen Fahrtwunsch (Start, Ziel, Zeit) bei der Leitstelle telefonisch an. Anmeldungen werden gesammelt und nach Start-, Ziel- und Zeitpunkt gebündelt. Die Taxen fahren den Fahrgast von den festgelegten Haltestellen direkt zum gewünschten Ziel.

Der Taxiruf ist eine Serviceleistung der ÖPNV-Unternehmen, bei der sich der Fahrgast vom Fahrer des Busses oder der Bahn ein Taxi zu einer bestimmten Haltestelle bestellen und von dort aus den restlichen Weg zu seinem Ziel mit dem Taxi zurücklegen kann.

6.2 Netzgestaltung im öffentlichen Personennahverkehr

6.2.1 Netzgestaltung als Teil der Angebotsplanung im ÖPNV

Netzgestaltung für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) hat zunächst das Ziel, ein mit den verfügbaren bzw. vorgesehenen Verkehrsmitteln befahrbares Streckennetz festzulegen. Ähnlich wie beim Individualverkehr muss dieses Netz bestimmten Kriterien genügen und so den Erfordernissen gerecht werden, die sich aus der räumlichen Verteilung und der Stärke des Verkehrsbedürfnisses ergeben.

Anders als beim Individualverkehr, bei dem sich die Routenbildung weitgehend individuell innerhalb des befahrbaren Streckennetzes vollzieht, schließt die Netzgestaltung im ÖPNV darüber hinaus die Festlegung von Haltestellen und die Definition eines sie verbindenden Liniennetzes mit ein. Dies ist die räumliche Komponente der eigentlichen Angebotsgestaltung im ÖPNV, die ihre Grenzen im zur Verfügung stehenden bzw. projektierten Streckennetz hat. Sie muss sich einerseits an dem Ziel

orientieren, einen größtmöglichen Nutzen für die (potentiellen) Kunden zu bieten. Andererseits muss das entworfene Liniennetz dem Betreiber des darauf realisierten ÖPNV-Angebots eine wirtschaftliche Abwicklung ermöglichen. Das Liniennetz mit den Haltestellen ist Ausgangsbasis für die weiteren Schritte der Angebotsplanung im ÖPNV, nämlich der Angebotsbemessung und der Fahrplangestaltung. Im Rahmen der Angebotsbemessung sind zwei Variablen zu bestimmen: Die Platzkapazität (= Größe) der eingesetzten Fahrzeuge und darauf aufbauend die Bedienungshäufigkeit. Letztere ist nicht allein von der erwarteten Verkehrsstärke abhängig, sondern muss auch Attraktivitätsgesichtspunkte berücksichtigen. Zur Fahrplangestaltung gehört, das Angebot weiter zu konkretisieren, indem der Zeitbedarf zwischen den Haltestellen, Ankunfts- und Abfahrtszeiten an den Haltestellen und damit auch die zeitliche Lage der einzelnen Linien zueinander (Verknüpfung) festgelegt wird.

Damit sind die für den Benutzer relevanten Merkmale des ÖPNV-Angebots fixiert. Bei den Verkehrsunternehmen intern schließt sich weiterer Planungsbedarf für den Fahrzeug- und Personaleinsatz an. Zwischen den einzelnen Komponenten der Angebotsplanung bestehen Abhängigkeiten, so dass die Liniennetzgestaltung nie losgelöst von der Angebotsbemessung und der Fahrplangestaltung erfolgen kann. Auch Gesichtspunkte des Fahrzeug- und Personaleinsatzes können Rückwirkungen auf die Komponenten der eigentlichen Angebotsgestaltung haben.

6.2.2 Einflüsse auf die Liniennetzgestaltung

Die Faktoren, die im ÖPNV die Liniennetzgestaltung beeinflussen, lassen sich unterschiedlichen Bereichen zuordnen. Die benutzerorientierten verkehrlichen Vorgaben resultieren unmittelbar aus der bekannten bzw. erwarteten Stärke und Struktur der Nachfrage. Faktoren, die im Interessensbereich des Betreibers öffentlicher Verkehrsmittel liegen, sind in der Regel technische, betriebliche und betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte. Dazu kommen Einflüsse, die der Allgemeinheit zuzuordnen sind: verkehrs- oder ordnungspolitische Vorgaben, die auf bestimmte verkehrspolitische Zielsetzungen oder auf das Personenbeförderungsrecht zurückgehen, aber auch volkswirtschaftliche Aspekte. Letzteres vor allem dann, wenn Vorleistungen bei der Verkehrsinfrastruktur erforderlich sind.

Nachfrageorientierte Faktoren

Die entscheidende Ausgangsbasis für eine nachfragegerechte Liniennetzgestaltung ist die Kenntnis von Art und Stärke der Quelle-Ziel-Beziehungen im ÖPNV des Planungsraums. Da hier sowohl der Ist-Zustand als auch künftige durch andere Entwicklungen beeinflusste Zustände interessieren, dienen als Datengrundlage der Liniennetzgestaltung Ergebnisse der in Kapitel B 2 beschriebenen Nachfrageerhebungen bzw. der in Kapitel B 4 dargestellten Prognosemethoden.

Vor dem Hintergrund dieser Kenndaten der Nachfrage ergibt sich für die Liniennetzgestaltung die Aufgabe, einem möglichst großen Anteil ausgeprägter Verkehrsströme eine Bedienung ohne Umsteigevorgänge anzubieten.

Die quantitativen relationsbezogenen Nachfragedaten spiegeln die Siedlungsstruktur, die Siedlungsdichte und die räumliche Verteilung der einzelnen Nutzungen im Planungsraum wider.

Wird ein vergleichbarer Standard der Erschließungsqualität angestrebt, so führen flächenhafte Siedlungsgebiete mit mäßiger Dichte zu einer feineren verästelten Netzstruktur. Gestreckte Siedlungsräume begünstigen dagegen eine achsenförmige Nahverkehrserschließung. Zu verkehrlich, betrieblich und betriebs-

wirtschaftlich extrem ungünstigen Netzformen führen aufgelöste, flächenhafte Siedlungsstrukturen, die hohe Umweganteile bzw. Stichfahrten notwendig machen.

Technische, betriebliche und betriebswirtschaftliche Faktoren

Wesentliche technische Einflussgrößen für die Gestaltung von Liniennetzen sind die spezifischen Merkmale der eingesetzten Verkehrssysteme. So sind die klassischen Schnellbahnen (U- und S-Bahn) mit großen Haltestellenabständen und hoher Beförderungsleistung für achsenförmige Erschließungen prädestiniert. Im Gegensatz dazu ist der Bus ein für die Fläche besonders geeignetes Verkehrsmittel. In seiner konventionellen Version ist der Bus auf keine fahrwegseitigen Spurführungs- oder Energieversorgungseinrichtungen angewiesen. Er kann so, wenn bestimmte fahrdynamische Mindestanforderungen eingehalten sind, das für den motorisierten Individualverkehr vorgehaltene Straßennetz mitbenutzen. Das Merkmalsspektrum zwischen Schnellbahn und Bus decken Stadtbahnen und Straßenbahnen ab, wobei bei der modernen Stadtbahn zumindest in den Außenbereichen monozentrischer Verdichtungsräume eher ein achsenförmiger Netzaufbau vergleichbar den Schnellbahnen zur Anwendung kommt. Herkömmliche Straßenbahnen mit kleinen Fahrzeugeinheiten und geringen Haltestellenabständen haben dichtere Netze, die flächenhaft angelegt sind und so in ihrem Erschließungscharakter oft dem Busverkehrssystem nahe kommen.

Die von der Forderung nach einem unabhängigen bzw. weitgehend unabhängigen Fahrweg bei Schnellbahnen und schnellbahnähnlichen Stadtbahnen ausgehenden Defizite bei der flächenhaften Erschließung führen zu mehrstufigen Verkehrssystemen. Dabei übernimmt die Schnellbahn als Primärsystem mit vergleichsweise kurzen Beförderungszeiten den Transport zwischen Verknüpfungspunkten bzw. Aufkommensschwerpunkten. Dem Sekundärsystem Straßenbahn und/oder Bus kommt Zubringer- und Verteilerfunktion zu. Diese „Arbeitsteilung" mehrerer Verkehrsmittel hat Auswirkungen auf die Netzgestaltung, da der Einsatz mehrerer Verkehrssysteme mit jeweils systemspezifischer Funktion zur Überlagerung von Netzgrundformen führt und damit jedes der beteiligten Verkehrsmittel für sich eine homogenere Netzform erhält.

Zu den technischen und betrieblichen Faktoren gehören auch alle Aspekte, die den Fahrweg betreffen, bei den Schnellbahnen also die Frage, ob die Schaffung eines unabhängigen Fahrwegs (Tieflage, Hochlage, eigener Bahnkörper) mit vertretbarem Aufwand bautechnisch zu realisieren ist. Bei Systemen, die den Fahrweg des motorisierten Individualverkehrs mitbenutzen, spielt eine wesentliche Rolle, ob das bestehende oder projektierte Straßennetz den ÖPNV-spezifischen Anforderungen an die Trassierungselemente gerecht wird, die aus fahrzeugspezifischen und fahrdynamischen Grenzwerten sowie aus den Erfordernissen der Verkehrssicherheit resultieren.

Weiter kommt bei Straßenbahnen und Bus hinzu, dass deren Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit in hohem Maß von der Qualität des übrigen Verkehrsflusses abhängen. Die Gestaltung solcher im öffentlichen Straßenraum verlaufender Liniennetze wird also auch beeinflusst von der

- Vorbelastung von Strecken durch den motorisierten Individualverkehr,
- Leistungsfähigkeit und Störungsempfindlichkeit einer Strecke,
- Verkehrsregelung (Signalisierung, Vorfahrtregelung, Verkehrs- und Geschwindigkeitsbegrenzungen).

Um Fahrpersonal und Fahrzeuge wirtschaftlich einzusetzen, muss bei der Gestaltung des Liniennetzes auch von vornherein berücksichtigt werden, wie Wagenumläufe gebildet werden können.

Zu den Kriterien, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sind, gehören
- Vermeidung unwirtschaftlicher Standzeiten,
- gleichmäßige Auslastung des Angebots (besonders wichtig bei Durchmesserlinien),
- geeignete Kehrmöglichkeiten, um den Fahrzeugeinsatz der räumlichen Belastungsverteilung bestmöglich anzupassen,
- Lage der Depots, um Zeitdauer und Wegelängen für Ein- und Ausrückfahrten in vertretbaren Grenzen zu halten.

Faktoren im Interesse der Allgemeinheit
Bereits bei der Trassenfindung für öffentliche Verkehrssysteme sind die Interessen der Allgemeinheit berührt. So kann die fehlende Durchsetzbarkeit einer bestimmten Streckenführung Zwänge verursachen, die zu einem Verzicht auf die aus Sicht der Benutzer und der Betreiber optimale Linienführung führt. Dies trifft vor allem für dichtbesiedelte Wohngebiete, städtebaulich empfindliche Bereiche und naturlandschaftsschützerisch wertvolle Gebiete zu, wo neben dem baulichen Eingriff auch Aspekte der Emissionsbeeinträchtigung eine Rolle spielen.

Verkehrspolitische Vorstellungen artikulieren sich unter anderem in der Vorgabe besonderer Qualitätsstandards im ÖPNV-Angebot, die sich unmittelbar auf die Liniennetzgestaltung auswirken. Sie können aber auch dem Integrationsgedanken besondere Priorität zumessen und so Anlass sein, von vornherein ein mehrstufiges Verkehrssystem planerisch zu verfolgen.

6.2.3 Linien- und Netzbildung

Die verkehrlichen Kriterien,
- wichtige Ziele ohne Umsteigen zu erreichen,
- die Beförderungszeiten auch bei kombinierter Benutzung mehrerer Verkehrsmittel kurz zu halten und
- in und zwischen vergleichbaren Verkehrsräumen ein qualitativ ähnliches Verkehrsangebot zu bieten,

haben im öffentlichen Personennahverkehr zu Grundmustern der Linien- und Netzformen geführt, die sich nach ihrer geometrischen Struktur unterscheiden lassen.

Halbmesser- bzw. Radiallinien
Halbmesserlinien (siehe Abb. 6.6) werden eingerichtet, wenn der größte Teil der Verkehrsbeziehungen des betrachteten Planungsraums Quelle bzw. Ziel in einem zentralen Bereich hat. Je nach räumlicher Ausdehnung dieses Zentrums kann es notwendig sein, dies mit den radialen Linien zu durchqueren, um für vergleichsweise kurze Restdistanzen Umsteigen zu vermeiden.

Der Betrieb solcher Linien erfordert im zentralen Bereich Wende- und Abstellmöglichkeiten für die eingesetzten Verkehrsmittel. Diese Forderung kann in engen Innenstadtbereichen oft nicht erfüllt werden. Sie kann dann trotz offensichtlicher verkehrlicher Vorteile von Radiallinien zu anderen Lösungen (z.B. Durchmesserlinien) führen.

Ein typischer Anwendungsfall für Radiallinien ist der Regionalverkehr monozentrischer Räume, bei dem die Linien zu einem zentralen Punkt (z.B. zentralem Omnibusbahnhof) geführt werden. Von dort erfolgt dann die Feinverteilung der Fahrgäste mit anderen, auf die innerstädtische Verkehrsbedienung ausgerichteten Verkehrsmitteln.

Durchmesserlinien
Die Bildung von Durchmesserlinien (siehe Abb. 6.6) ist von Vorteil, wenn neben den typischen Radialbeziehungen von und zum Zentrum ein beträchtlicher Teil der Nachfrage Quelle bzw. Ziel in einem außerhalb des Zentrums liegenden Verkehrsgebiet hat. Ein cha-

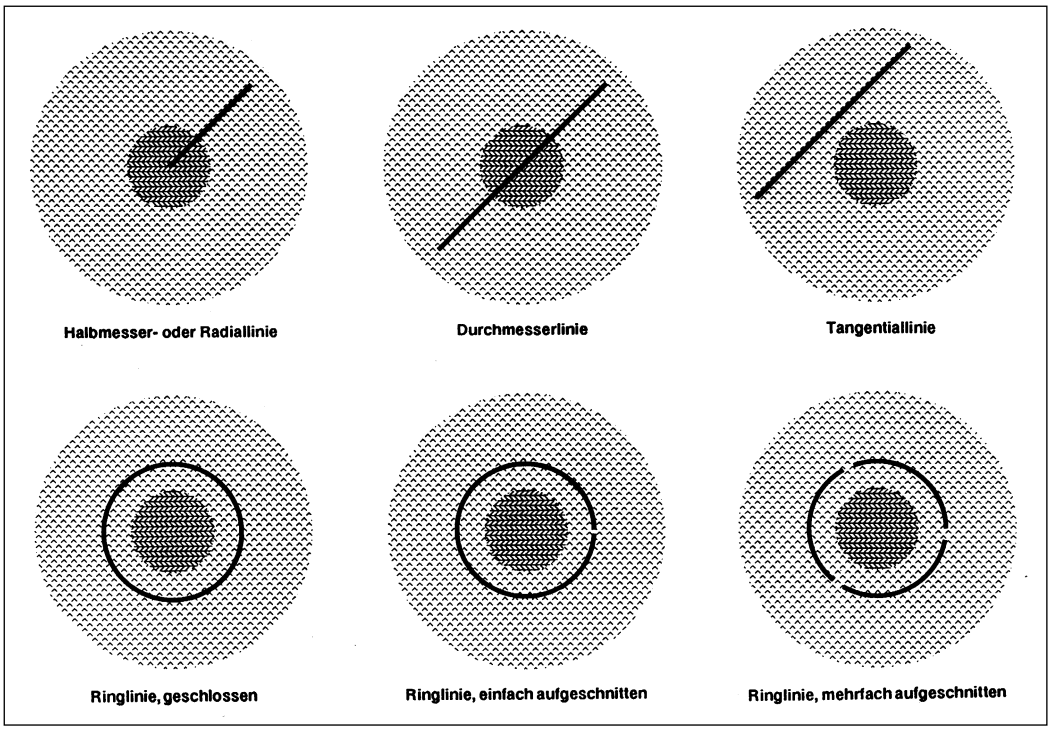


Abb. 6.6 Grundmuster der Linienformen. (Eigene Darstellung)

rakteristischer Anwendungsfall für Durchmesserlinien ist auch, wenn es – wie bereits erwähnt – innerhalb des Zentrums keinen eindeutigen Aufkommensschwerpunkt gibt, der mit einer zentralen Haltestelle erschlossen werden könnte. Insofern befindet sich bereits die bei den Halbmesserlinien erwähnte Verlängerung innerhalb des Zentrums am Übergang von der Radial- zur Durchmesserlösung.

Betrieblich haben Durchmesserlinien Vor- und Nachteile. Voraussetzung für einen insgesamt wirtschaftlichen Betrieb von Durchmesserlinien ist, dass beide Linienäste eine ähnliche Stärke des Fahrgastaufkommens haben und sich so für jeden Ast ein vertretbares Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage einstellt. Günstig wirkt sich auf den Fahrzeugbedarf und eventuell auf den Personalbedarf der geringere Anteil der Wendezeiten an den Umlaufzeiten aus. Andererseits kann die gegenüber einer radialen Linie im Allgemeinen längere Linienführung zu einer höheren Störanfälligkeit führen, die größere Zeitpuffer an den Linienenden notwendig macht. Entsprechend den beschriebenen Merkmalen sind Durchmesserlinien vor allem in Großstädten anzutreffen, bei denen die Verkehrsströme zentrisch auf einen flächenhaften Nachfrageschwerpunkt ausgerichtet sind und in denen die einzelnen radialen Beziehungen eine ähnliche Stärke aufweisen.

Tangential- und Ringlinien

Ergeben sich aus der Flächennutzung und den daraus resultierenden Verkehrsströmen ausgeprägte Beziehungen, die nicht über den Aufkommensschwerpunkt des betrachteten Raumes (z.B. Stadtzentrum) abgewickelt werden müssen, so kann es verkehrlich und betrieblich sinnvoll sein, Tangentiallinien (Abb. 6.6) ein-

zurichten. Tangentiallinien ergeben sich oft als Ergänzung bestehender radial ausgerichteter Liniennetze, wenn neue Wohn- und/oder Arbeitsplatzschwerpunkte im peripheren Bereich eines verdichteten Raumes entstehen. Wirtschaftlich vertretbar sind solche ergänzenden Tangenten aber nur, wenn ein angemessenes Verkehrsbedürfnis besteht und dieses auch ein entsprechendes Fahrgastaufkommen erwarten lässt.

Ringlinien (Abb. 6.6) stellen eigentlich erweiterte Formen der Tangentiallinien dar, wobei die Verbindung aller zu bedienender Potentiale zu einer ringartigen Linienform führt. Abgesehen von dem Problem, eine weitgehend homogene Auslastung des Angebots zu erreichen, treten bei Linien, die in der Funktion großräumiger konzentrischer Ringe um großstädtische Zentren geführt werden, vor allem Probleme bei der zuverlässigen Betriebsabwicklung auf. Dies ist meist dann der Fall, wenn kein durchgehender unabhängiger Fahrweg zur Verfügung steht. Deshalb sind die meisten realisierten Ringlinien „unechte" Ringlinien, die an einer Stelle aufgeschnitten sind und an Orten, an denen die notwendigen Ausgleichszeiten vorgesehen werden können, zwei räumlich identische Endpunkte erhalten. Beim Entwurf solcher „unechter" Ringlinien ist wichtig, dass die Lage des Endpunktes auch einen gewissen Brechpunkt in den tangentialen Verkehrsströmen darstellt.

Mit der Einführung weiterer Endpunkte in einem ringförmigen Erschließungssystem lassen sich Ringlinien in weitere verkehrlich und betrieblich sinnvolle Abschnitte auflösen. Die bei solchen mehrfach aufgeschnittenen Ringlinien entstehende Angebotsstruktur entspricht einem Aneinanderketten von Tangentiallinien.

Verbreitung haben Ringlinien in der Praxis vor allem gefunden, wenn in Neubaugebieten (Wohnnutzung und gewerbliche Nutzung) im Zuge einer ringförmigen Erschließungsstraße ein ÖPNV-Angebot einzurichten ist. In dieser Funktion sind Ringlinien meist Teil eines mehrstufigen Verkehrssystems, indem sie Zubringer- und Verteileraufgaben zum übergeordneten Transportsystem (z.B. Stadtschnellbahn) haben.

Netzformen

Aus den geometrischen Merkmalen einzelner Linien ergeben sich in der Überlagerung zum Streckennetz eines Raumes Netzgrundformen, die sich wie einzelne Linien nach ihrer geometrischen Struktur unterscheiden lassen. In diesem Sinne ergibt die Überlagerung von Radial- bzw. Durchmesserlinien, die alle auf denselben zentralen Bereich ausgerichtet sind, ein Radialnetz (siehe Abb. 6.7). Diese Netzform ist charakteristisch für monozentrische Räume.

Polyzentrische Räume, bei denen mehrere Zentren in unterschiedlichen Richtungen miteinander zu verbinden sind, führen zu Rasternetzen (Abb. 6.7) als charakteristischer Netzform. Dabei sind je nach topgrafischen und verkehrlichen Randbedingungen als Netzgestalt rechteckige oder dreieckige Rasternetze möglich. Eine weitere Variante innerhalb der geometrischen Untergliederung von Netzgrundformen ist das Ringnetz (Abb. 6.7), das sich aus konzentrisch angeordneten Erschließungsringen zusammensetzt.

Für die praktische Umsetzung gilt allerdings einschränkend, dass die beschriebenen geometrischen Netzstrukturen in dieser reinen Form kaum verwirklicht werden. ÖPNV-Netze sind in der Regel Mischformen dieser einfachen Grundstrukturen. Bei vielen realisierten Radialnetzen ist der theoretische Schnittpunkt der Radial- bzw. Durchmesserlinien so aufgelöst, dass dort eine rasterförmige Netzstruktur entsteht, aus der sich dann z.B. in Form von Innenstadttangenten eine flächenhaftere Erschließung des Kernbereichs ergibt. Eine andere Form, mit der solche zentrale Knoten von Radialnetzen aufgelöst werden, ist die über mehrere Haltestellen im Kernbereich

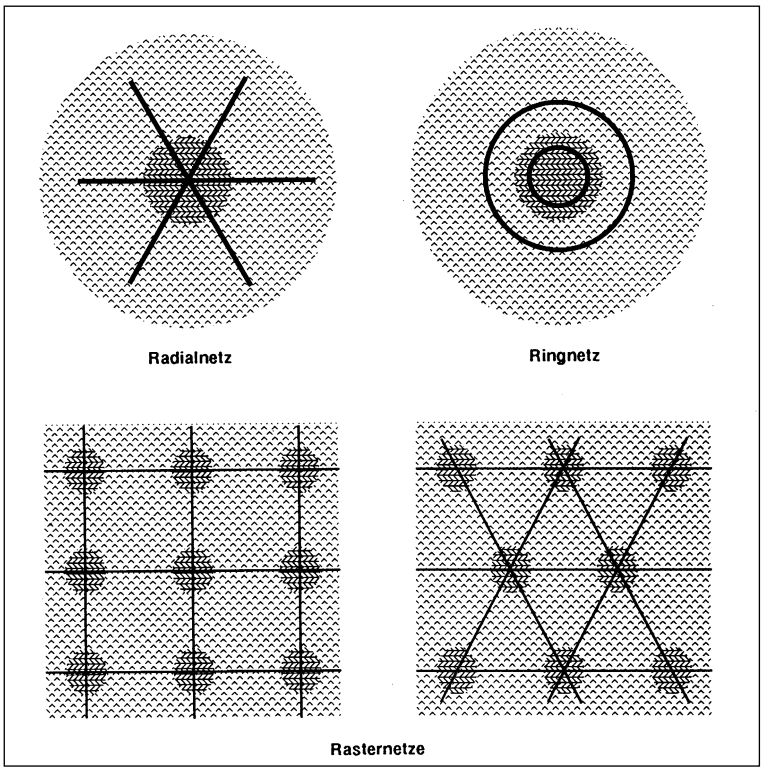


Abb. 6.7 Grundmuster der Netzformen. (Eigene Darstellung)

verlaufende Parallelführung der Radial- bzw. Durchmesserlinien, die vor allem bei einer gestreckten räumlichen Siedlungsstruktur im Kernbereich von Vorteil ist. Mit einer räumlichen Auflösung des zentralen Bedienungsbereichs wird in der Regel auch eine Entzerrung der Umsteigerströme erreicht.

Die Kombination mehrerer Netzgrundformen ist auch ein charakteristisches Merkmal für die Netze mehrstufiger Verkehrssysteme. So kann sich aus dem Ansatz, das Primärsystem (z.B. ein Schnellbahnsystem) am Verlauf der Hauptverkehrsachsen zu orientieren, für diese Komponente des Angebots ein Radialnetz ergeben, das durch ringförmige oder tangentiale Zubringerlinien überlagert wird, so dass insgesamt die Mischform des Radial-Ring-Netzes entsteht.

Typisch für Netze mehrstufiger Verkehrssysteme ist auch die Überlagerung mehrerer gleich strukturierter Netzgrundformen, wenn z.B. auf wichtige Verknüpfungspunkte radialer Primärnetze lokale Radialnetze ausgerichtet werden.

Während bei Tangential-, Ring- und radialen Zubringerlinien meist der verfügbare Fahrweg und die Nachfrageströme keine allzu große Bandbreite bei der Umsetzung in ein Liniennetz zulassen, gibt es bei Radialnetzen, die zentrale Bereiche erschließen, eine gewisse Variationsbreite, wie auf solchen Streckennetzen eine sinnvolle Konfiguration von Radial- und/oder Durchmesserlinien zu konzipieren ist. Um die Vorgehensweise zu verdeutlichen, wird auf ein synthetisches Beispiel zurückgegriffen, das in der Empfehlung des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) zur Linienoptimierung (VDV-Planungsausschuss, 1992) enthalten ist.

Ausgehend von dem in Abbildung 6.8 dargestellten Streckennetz mit den Haltestellen A bis I und dem für die Bedienung wichtigen

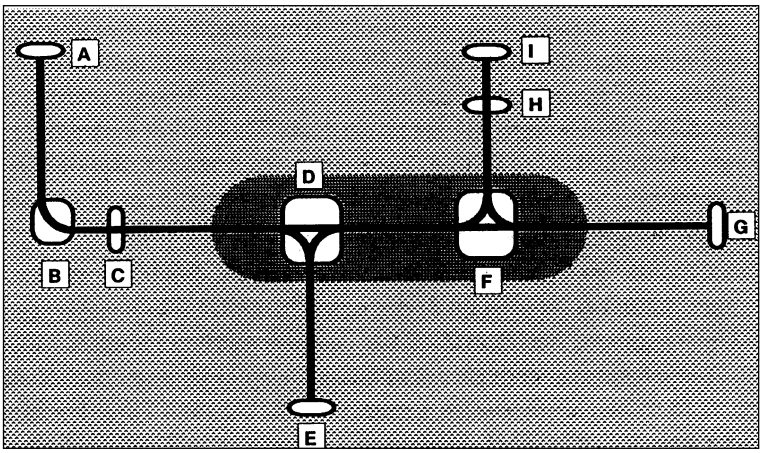


Abb. 6.8 Streckennetz (Eigene Darstellung)

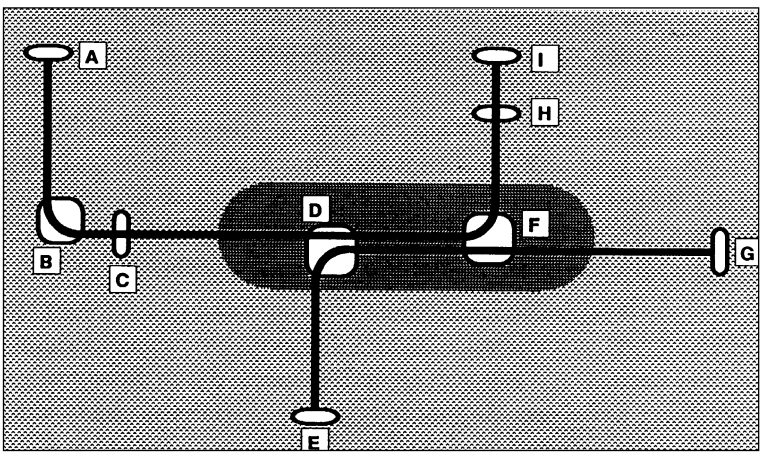


Abb. 6.9 Achsenliniennetz (Eigene Darstellung)

zentralen Bereich, den die Haltestellen D und F erschließen, ergibt sich als erste Liniennetzvariante mit einem Minimum an Linienüberlagerung ein so genanntes „Achsenliniennetz" (siehe Abb. 6.9). Die Konsequenzen, die ein solches einfaches Liniennetz hat, sind offensichtlich: Beziehungen zwischen E und A, B, C, H, I sowie zwischen G und A, B, C, H, I können nur mit Umsteigen erreicht werden. Das heißt, ob diese zweifellos betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten entgegenkommende Liniennetzstruktur auch die Bedürfnisse der Nachfrage ausreichend berücksichtigt, wird entscheidend davon abhängen, welche Stärke die einzelnen Verkehrsbeziehungen aufweisen.

Eine Liniennetzvariante, die ganz daran orientiert ist, die Direktverbindungen zu maximieren, stellt das so genannte „Nachfragelinienennetz" dar, das Abbildung 6.10 zeigt. Abgesehen von Situationen, in denen praktisch identische Stärken aller Beziehungen auf hohem absolutem Niveau vorliegen, sind solche Lösungen im Allgemeinen unrealistisch, da sie zu wirtschaftlich nicht vertretbaren Betriebsführungs- und Fahrzeugvorhaltungskosten führen, bzw. wenn im zentralen Bereich der betriebliche Aufwand in einem vernünftigen Verhältnis

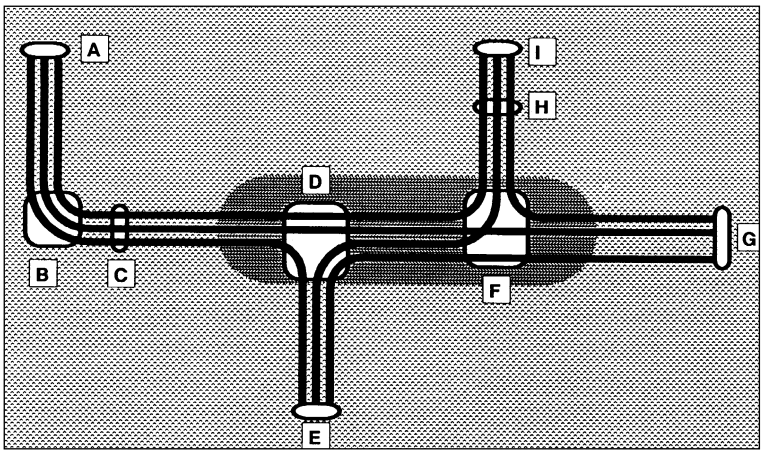


Abb. 6.10 Nachfrageliniennetz (Eigene Darstellung)

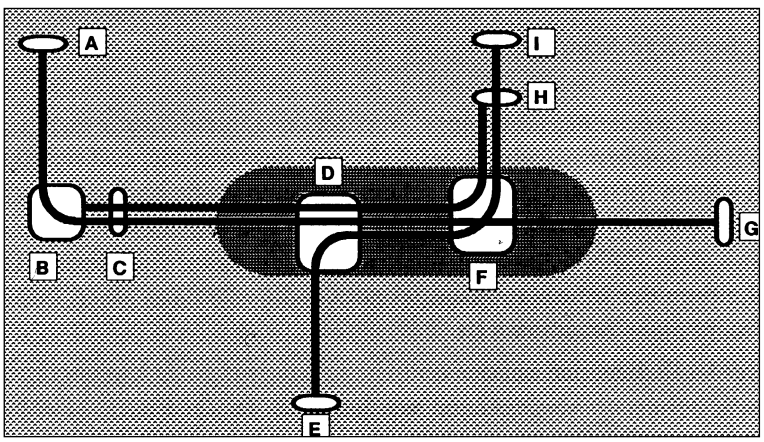


Abb. 6.11 Bedarfslinienetz (Eigene Darstellung)

zur Nachfrage stehen soll, sich in den Außenbereichen Bedienungshäufigkeiten ergeben, die nicht ausreichend attraktiv sind.

Die beiden Extreme „Achsenliniennetz“ und „Nachfrageliniennetz“ zeigen, dass in der planerischen Praxis ein relatives Optimum gefunden werden muss, das einen Kompromiss zwischen den wirtschaftlichen Belangen des Unternehmens und dem Ziel darstellt, für den potentiellen Fahrgast möglichst attraktiv zu sein. Ausgehend von dem erwähnten Beispiel könnte eine solche realistische Lösung das in Abbildung 6.11 gezeigte „Bedarfsliniennetz“ sein, bei dem Direktverbindungen auf die nachfragestärksten Relationen beschränkt werden. Gegenüber dem Achsenliniennetz hat es den Vorteil, dass mehr Fahrgäste ihr Ziel direkt erreichen. Betrieblich ist darüber hinaus von Vorteil, dass es bei Störungen auf einem Streckenabschnitt nicht zum völligen Ausfall des Angebots auf dem jenseits des zentralen Bereichs gelegenen Teilnetz kommt. So würde beim Achsenliniennetz bei einer Betriebsstörung auf der Strecke C - D auch die Strecke I - F ohne Bedienung bleiben.

Der höhere Grad an Linienüberlagerung beim „Bedarfsliniennetz“ und vor allem beim „Nachfrageliniennetz“ führt zu einer notwendigen „Verzahnung“ der Fahrpläne der einzelnen Linien.

Daraus ergeben sich Abhängigkeiten, mit denen die Fahrplankonstruktion erschwert und die Bandbreite möglicher Fahrplanlagen eingeengt wird.

Anpassung von Liniennetzen bei Nachfrageschwankungen

Im vorausgegangenen Abschnitt wurde dargestellt, welche Liniennetzvariationen innerhalb eines vorgegebenen Streckennetzes möglich sind. Hierfür sind – neben den erwähnten betriebswirtschaftlichen Kriterien – vor allem Aspekte der Stärke und Struktur der Nachfrage entscheidend.

Es stellt sich deshalb die Frage, ob angesichts der von der Tageszeit und vom Wochentagstyp abhängigen Schwankungen der Verkehrsstärke und Veränderungen der Nachfragestruktur starre Liniennetze, die heute ein wesentliches Merkmal der meisten ÖPNV-Angebote sind, ihrer Aufgabe gerecht werden. Müssten stattdessen nicht Liniennetze angestrebt werden, die sich entsprechend diesen Schwankungen verändern und zumindest auf die gängigen Kategorien der Verkehrszeiten (Haupt-, Normal- und Schwachverkehrszeit) sowie auf relevante Wochentagsgruppen (Montag bis Freitag, Samstag, Sonntag) zugeschnitten sind? Die Probleme, einen solchen theoretisch berechtigten Ansatz umzusetzen, beginnen mit der Verfügbarkeit qualifizierter, kontinuierlich erhobener Daten der Verkehrsbeziehungen in einem ÖPNV-Netz. Je stärker zeitorientiert Netze differenziert werden, desto höher sind die Anforderungen an die Matrizen der Quelle-Ziel-Beziehungen für kurze Zeitintervalle. Die notwendigen detaillierten und kontinuierlich durchgeführten Erhebungen, die wegen der Eigenart der Merkmale nicht automatisch erfasst werden können, sind mit vertretbarem Aufwand nicht zu leisten.

Ausnahme bilden hier sicher Räume und Zeiten mit sehr schwacher Verkehrsnachfrage, in denen sich dann allerdings auch ein bedarfsorientierter Betrieb ohne Linienbindung anbietet. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass die Bündelung von Verkehrsnachfrage im ÖPNV auch ein Gebot der wirtschaftlichen Betriebsführung ist. In hohem Maße auf Schwankungen der Nachfrage ausgerichtete Liniennetzkonzepte erfüllen vor allem während der Schwachverkehrszeiten die notwendige Konzentration des Verkehrsaufkommens nicht ohne weiteres.

Schließlich sind tageszeitliche und wochentagsabhängige Wechsel der Linienführung auch ein Informationsproblem, denn auch bei solchen Angeboten muss sichergestellt werden, dass sich der Fahrgast zuverlässig informieren kann. In dieser Hinsicht scheitert eine zu große Variationsbreite daran, dass sich der regelmäßige Fahrgast zeitabhängig immer wieder neu orientieren muss und so den „erlernten“ Umgang mit dem ÖPNV-Angebot nicht anwenden kann. Stattdessen ist immer wieder ein intensives Studium der Informationsmittel notwendig, die einen Informationsumfang erreichen, der nicht mehr zuzumuten ist.

Die aufgezeigten Probleme verdeutlichen, dass bei der zeitlichen Anpassung von Liniennetzen an Nachfrageschwankungen sehr behutsam vorgegangen werden muss.

6.2.4 Methoden des Linien- und Netzentwurfs

Einbindung in den Planungsprozess

Der Entwurf von Linien und Liniennetzen im ÖPNV ist Teil des Planungsprozesses, an dessen Ende die Entscheidung für ein bestimmtes Angebot steht. Der Linien- und Netzentwurf ist einer eingehenden Problemanalyse nachgeordnet. Sie umfasst die Analyse des Ist-Zustandes, eine Mängelanalyse (die unter anderem wie bisher dem Angebot der Nachfrage gerecht wird) und die Erarbeitung von Planungszielen. In der eigentlichen Entwurfspha-

se sind neben der Entwicklung von Varianten des räumlichen Angebots auch deren Auswirkungen abzuschätzen, so dass dieser Arbeitsschritt mit einer Bewertung der erarbeiteten Varianten abschließt und so eine qualifizierte Entscheidungshilfe für die anschließende Entscheidungsphase liefert.

Ausgangsinformationen

Unabhängig von den gewählten Verfahren zur Entwicklung von Netzen ist eine Reihe von Ausgangsinformationen über die Situation im Planungsraum unerlässlich. Grunddaten über die Nachfrage sind im Wesentlichen Kenntnisse über die Verkehrsbeziehungen des Planungsgebiets, die als Quelle-Ziel-Matrizes verkehrszellen- oder haltestellenbezogen zur Verfügung stehen und möglichst nach Verkehrszeiten sowie nach Fahrtzwecken differenziert sein sollten. In diesem Zusammenhang ist wichtig, ob es sich bei dem verfügbaren Material um Daten handelt, die Stärke und Struktur der ÖPNV-Nachfrage im Ist-Zustand widerspiegeln oder ob diese Daten Ergebnisse von Gesamtverkehrsuntersuchungen sind, die möglicherweise mit Hilfe eines Planungsmodells die Wirkung bestimmter Planfälle unterstellt haben. In beiden Fällen muss bei der abschließenden Bewertung darauf geachtet werden, inwieweit die einzelnen Netzvarianten die ÖPNV-Nachfrage verändern, indem sie z.B. zu Verlagerungen vom Individualverkehr oder zu induziertem öffentlichen Neuverkehr führen. Die Frage der Aktualität und Qualität der Datengrundlage soll hier nicht behandelt werden, da dies Themen sind, die in den Kapiteln B 2 und B 4 generell angesprochen werden.

Zu den Grunddaten, die in Zusammenhang mit dem bisherigen und künftigen Angebot stehen, gehören:

- Lage von vorhandenen und potentiellen Haltestellen im Planungsgebiet,
- Eignung der Haltestellen als End- bzw. Anfangspunkt von Linien,
- Zusammenstellung der befahrbaren Strecken bzw. Streckenvarianten zwischen den Haltestellen mit Angabe der Entfernung und Fahrtzeit,
- Kapazität sowie Fahrzeugvorhaltungs- und Betriebsführungskosten der Fahrzeuge, die eingesetzt werden können.

Darüber hinaus sind Informationen über bestimmte Randbedingungen erforderlich. Dazu gehören generelle Planungsziele, die sich aus bestimmten verkehrspolitischen oder unternehmenspolitischen Vorstellungen ergeben und konkrete Vorgaben, z.B. dass bestimmte Linien eines bestehenden Netzes nicht verändert werden dürfen. Im zuletzt genannten Fall sind Haltestellenfolge, Betriebsprogramm und Fahrzeugeinsatz dieser Linien von Interesse. Eine wichtige Randbedingung stellt auch die Durchsetzbarkeit dar. Es ist möglich, dass ein nach objektiven Kriterien optimiertes Netz im politischen Raum und von den betroffenen Bürgern nicht akzeptiert wird.

Verfahren

Die Bandbreite der Verfahren zur Bildung von Liniennetzen reicht von der traditionellen Vorgehensweise, die sich weitgehend der praktischen Anschauung und auf Erfahrung gestützter Intuition bedient, bis zu rechnergestützten Planungsverfahren. Natürlich ist auch beim Einsatz der Informationstechnik planerischer Sachverstand, Vorstellungsvermögen und Erfahrung gefordert. Die Vielzahl der Varianten, die gebildet und geprüft werden können, bieten aber gegenüber dem rein manuellen Vorgehen bessere Voraussetzungen, um die Bandbreite optimaler Lösungen einzugrenzen. Schon bei der Aufbereitung der Grunddaten, bei der Abschätzung der Auswirkungen sowie bei der Bewertung ist die EDV inzwischen ein unverzichtbares Hilfsmittel.

Während bei der konventionellen Vorgehensweise zum Netzentwurf eine eindeutige Trennung zwischen dem Entwurf und der Aus-

wahl bestimmter Netzvarianten gegeben ist, ist dies bei den DV-orientierten Verfahren vor allem eine Frage, wie stark diese auf interaktives Arbeiten angelegt sind und damit in bestimmten Phasen den Planer Auswahlentscheidungen anhand bestimmter Zwischenergebnisse treffen lassen.

Unabhängig von der Frage, in welcher Stufe des Verfahrensablaufs eine solche Auswahl und damit eine Wertung von Ergebnissen zu erfolgen hat, wird dies anhand von Kenngrößen erfolgen, mit denen die Belange des Fahrgastes und des Betreibers berücksichtigt werden. In (VDV-Planungsausschuss, 1992) wird für die Bewertung auf folgende relevante Kenngrößen verwiesen:

- Anzahl der einzusetzenden Fahrzeuge differenziert nach Fahrzeugtypen,
- Wagen- und/oder Zugkilometer pro Zeiteinheit,
- aus dem Fahrzeugeinsatz resultierende Kosten (insbesondere wenn Planfälle unterschiedlicher Betriebszweige – z.B. Straßenbahn und Bus – untersucht werden),
- Summe der Beförderungszeiten oder mittlere Beförderungszeit,
- Anzahl/Anteil der Direktfahrer,
- Anzahl/Anteil der Einmalumsteiger und Mehrfachumsteiger,
- Erfüllungsgrad (= Anteil der erfüllbaren Fahrtwünsche) der vorgegebenen Fahrtenmatrix,
- Beförderungsqualität (= Anteil der auf Sitzplätzen beförderten Fahrgäste) im für die Bemessung einer Linie maßgebenden Querschnitt.

Ob Fahrgast- und Betreiberaspekte für die Ergebnisbewertung ausreichen, hängt unter anderem auch von der Frage ab, welche Investitionsaufwendungen mit der Realisierung eines solchen Netzes verbunden sind. Insbesondere bei Netzen für Schienenbahnen kann die Einbeziehung der Nutzenseite der Allgemeinheit von Bedeutung sein. Solche umfassenderen Bewertungen müssen dann in Nutzen-Kosten-Untersuchungen erfolgen, die eine Bewertung unter betriebs- und gesamtwirtschaftlichen Aspekten ermöglichen.

6.3 Entwurf von Fahrwegen des Öffentlichen Personennahverkehrs

6.3.1 Grundlagen der Gestaltung des Fahrweges von Schienenbahnen

6.3.1.1 Vorbemerkungen

Zu den klassischen schienengebunden Nahverkehrssystemen zählen die Straßenbahn, die Stadtbahn und die U-Bahn. Sie unterscheiden sich sowohl in ihrer verkehrlichen Wirkung als auch in ihrer betrieblichen Ausgestaltung voneinander. Neben den unterschiedlichen Betriebsformen, der verschiedenartigen Erschließungsfunktion und der großen Bandbreite bei der Leistungsfähigkeit weisen die Systembegriffe auch auf die Ausbauformen beim Fahrweg hin.

Grundlage für die Planung und den Bau von städtischen Schienenbahnen bildet die Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) (Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen, 1987). Die BOStrab wurde aufgrund von § 57 des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) (Personenbeförderungsgesetz, 1961) am 11. Dezember 1987 mit Zustimmung des Bundesrates erlassen.

Der Anwendungsbereich der BOStrab sind die Straßenbahnen. Dazu zählen im Sinne von § 4 des Personenbeförderungsgesetzes

- straßenabhängige Bahnen (§ 4 Absatz 1 PBefG),

– unabhängige Bahnen (§ 4 Absatz 2 PBefG).

Straßenabhängige Bahnen sind Schienenbahnen, die den Verkehrsraum öffentlicher Straßen mitbenutzen und sich in ihrem Betrieb dem Straßenverkehr anpassen. Die klassische Straßenbahn hat deshalb in die Straßenfahrbahn eingepflasterte Gleise, also einen straßenbündigen Bahnkörper.

Nach § 4 Absatz 1 PBefG können Straßenbahnen auch eigene Fahrwege aufweisen. Dabei wird unterschieden, ob die Gleisanlagen außerhalb oder abgegrenzt innerhalb des Verkehrsraums öffentlicher Straßen verlaufen. Die BOStrab definiert hierzu in § 16 „Bahnkörper" die abgegrenzten Gleisanlagen als besondere Bahnkörper und die Strecken außerhalb der Straßen als unabhängige Bahnkörper.

Wenn ein Verkehrssystem auf der gesamten Linienlänge einen unabhängigen Fahrweg hat, dann nehmen die Fahrzeuge nicht mehr am Straßenverkehr teil. Solche Bahnen werden zu den unabhängigen Bahnen gezählt. Das PBefG behandelt als unabhängige Straßenbahnen Hoch- und Untergrundbahnen, Schwebebahnen oder ähnliche Bahnen besonderer Bauart. Zu den bekannten unabhängigen Bahnen gehören neben den verschiedenen U-Bahnen in Deutschland die Wuppertaler Schwebebahn, aber auch unkonventionelle Systeme wie die H-Bahn.

Im Gegensatz zu den unabhängigen Bahnen wird mit dem besonderen Bahnkörper eine weitgehende, aber keine vollständige Unabhängigkeit vom übrigen Straßenverkehr erreicht. Diese als Stadtbahn bezeichnete weiterentwickelte Straßenbahn hat höhengleiche Kreuzungen mit dem übrigen Verkehr. Dort nimmt sie in aller Regel auch am Straßenverkehr teil und bleibt daher abhängig vom Straßenverkehr.

6.3.1.2 Trassierungs- und Entwurfselemente für Schienenverkehrsmittel

Die BOStrab enthält die bahnspezifischen Grundsatzforderungen, deren Festlegung im Interesse von Sicherheit und Ordnung notwendig ist. Die Konkretisierung der Grundsatzforderungen der BOStrab erfolgt in verschiedenen Richtlinien. Dadurch ist eine kurzfristige Anpassung an neue technische Entwicklungen jederzeit möglich.

Die Grundlage für Trassierungsüberlegungen bilden die Trassierungsrichtlinien (VDV, 1993), die in Ergänzung zur BOStrab erlassen sind. Sie regeln, wie die Lage des Fahrweges der Straßenbahnen im Grund- und Aufriss einheitlich bestimmt werden kann. Die Trassierungsrichtlinien schreiben die Erfordernisse fest, die aus Gründen der Sicherheit und eines ordnungsgemäßen Betriebsablaufes einzuhalten sind.

Unter Trassierungselementen versteht man alle Größen, welche die Trassenführung beeinflussen können. Ihre Kenntnis ist für den Stadtplaner wichtig, um entsprechende Flächen für die Schienenbahnen zur Verfügung stellen zu können.

Die Trassierungsrichtlinien enthalten Empfehlungen für die Festlegung einer Entwurfsgeschwindigkeit.

Diese soll für das gesamte Streckennetz oder für größere zusammenhängende Teile einheitlich gewählt werden. Die Entwurfsgeschwindigkeit soll unter Berücksichtigung vorhandener und künftiger Fahrzeuge für straßenbündige und besondere Bahnkörper nicht kleiner als 50 km/h, für unabhängige Bahnkörper nicht kleiner als 70 km/h sein. Die Ausbaugeschwindigkeit wird deshalb in der Regel bei U-Bahnen mit 100 bis 120 km/h, bei Stadtbahnen mit 80 km/h und bei Straßenbahnen mit 50 bis 70 km/h festgelegt. Ausgehend von den zulässigen Geschwindigkeiten lassen sich dann die notwendigen Trassierungselemente be-

rechnen. Mit der richtigen Wahl der Trassierungselemente wird das Ziel verfolgt, kurze Fahrtzeiten für die Schienenbahnen zu ermöglichen. Noch immer steht für den Nutzer die Reisezeit an erster Stelle bei der Bewertung eines Verkehrssystems. Für den Betreiber bedeuten verkürzte Fahrzeugumläufe eine Reduzierung der eingesetzten Fahrzeuge und einen geringeren Fahrpersonalbedarf.

Daneben hat die Trassierung in Grund- und Aufriss einen entscheidenden Einfluss auf den Fahrkomfort. Sofern Gleisradien und Streckenneigungen nicht durch den Verlauf von vorhandenen Straßen vorgegeben sind, sind sie deshalb möglichst großzügig zu wählen. Bogenhalbmesser und Längsneigung sollen fahrdynamisch günstig sein und hohe Geschwindigkeiten zulassen.

Zu den Trassierungselementen gehören die Gerade, der Gleisbogen und die Überhöhung, der Übergangsbogen und die Überhöhungsrampe sowie Längsneigung und Neigungswechsel. In (VDV, 1993) sind die Grundformeln für die Berechnung der einzelnen Trassierungsparameter enthalten.

Für einen sicheren Fahrbetrieb mit hohem Fahrkomfort sind einige Grenzwerte zu beachten.

Bei Fahrt durch Gleisbogen soll die Querbeschleunigung nicht größer als 0,65 [m/s²] sein.

Die Überhöhung des Gleisbogens wird mit maximal 150 mm und nur in Ausnahmefällen bis 165 mm festgelegt. Im Bereich von Haltestellen sind die Bahnsteiggleise ohne Überhöhung auszuführen.

Zwischen Gerade und Gleisbogen soll der Übergangsbogen so ausgelegt werden, dass der Querruck möglichst klein wird. Der Querruck darf nicht größer sein als 0,67 [m/s³].

Die Längsneigung der Streckengleise ist auf das Anfahr- und Bremsvermögen der Fahrzeuge abzustimmen. Die Längsneigung soll im Regelfall den Wert von 40 Promille nicht überschreiten. In Ausnahmefällen sind 50 Promille für unabhängige Bahnen und 60 Promille für straßenabhängige Bahnen zulässig. Bei Bahnen mit großer Straßenabhängigkeit kann die örtliche Topographie auch darüber hinausgehende Werte erforderlich machen, wie beispielsweise in Stuttgart mit 70 Promille- und in Ausnahmefällen mit 85 Promille-Neigungen. Entwurfsgeschwindigkeit, Topographie und Fahrkomfort bestimmen auch die Ausrundung von Neigungswechseln. Bei unabhängigen Bahnen sollte ein Mindestradius von 2.000 m nicht unterschritten werden.

6.3.1.3 Fahrweg in Tief- oder Hochlage

In Ergänzung zu den Trassierungsrichtlinien müssen bei den Planungen für Tunnelabschnitte von U-Bahnen und Stadtbahnen die Tunnelbaurichtlinien (VDV, 1991) Beachtung finden. In ihnen sind insbesondere nähere Ausführungen zum Tunnelquerschnitt und zur Haltestellengestaltung enthalten.

Bei der Festlegung der Tunnelquerschnitte ist die Umgrenzung des lichten Raumes für das jeweilige Schienenverkehrsmittel zu beachten. Der Tunnelquerschnitt ergibt sich auch aus den notwendigen Sicherheitsräumen und den Räumen für Einbauten wie Oberbau, Fahrleitungsanlagen, Signal- und Kabelanlagen. Tunnelquerschnitte müssen aufgeweitet werden, in Kurven mit Schrägstellung des Fahrzeuges infolge Überhöhung und durch den Wagenausschlag bei Kurvenfahrt. Herstellungstoleranzen des Tunnels sind in Zuschlägen zum lichten Raum zu berücksichtigen.

Zum Schutz von Personen müssen bei Tunnelstrecken, aber auch bei Gleisanlagen in Hochlage außerhalb der Lichtraumumgrenzung Sicherheitsräume vorhanden sein. Über diese Sicherheitsräume müssen Personen liegengebliebene Züge verlassen und Betriebsbedienstete, die sich vorübergehend im Fahrbereich aufhalten, Zügen ausweichen können. Sicherheitsräume müssen deshalb gut erkenn-

bar und schnell erreichbar sein. Neben den Tunnelbaurichtlinien enthalten die BOStrab sowie die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften (Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahn und Eisenbahnen, 1990) Angaben über die Mindestmaße von Sicherheitsräumen, deren Anordnung im Gleisbereich sowie deren Kenntlichmachung.

Zur Räumung von Tunnelstrecken im Notfall müssen ins Freie führende Notausstiege vorhanden sein. Die Notausstiege sind so anzulegen, dass der Rettungsweg bis zum nächsten Bahnsteig, Notausstieg oder zum Tunnelmund nicht mehr als 300 m lang ist. Notausstiege werden durch ein blaues Licht deutlich gekennzeichnet. Führen Ausgänge von Notausstiegen ins Freie, so dürfen sie insbesondere nicht durch Straßenfahrzeuge zugestellt werden können. Die Ausgangsöffnungen müssen zum sicheren Begehen in einem angemessenen Abstand zu Straßenfahrbahnen angelegt werden.

Die Tunnelbaurichtlinien enthalten auch Hinweise zu den verschiedenen Tunnelbauweisen.

Bei der Planung von Tunnelbaustrecken müssen die unterschiedlichen Auswirkungen auf den ruhenden und fließenden Verkehr und die Anlieger besonders beachtet werden. Wegen der gestiegenen Anforderungen an den Anlieger- und Umweltschutz sollten verstärkt umweltfreundliche Bauweisen zur Anwendung kommen. Besonders geeignet hierfür sind die Deckelbauweise und bergmännisch vorgetriebene Tunnel mit Schildvortrieb bzw. der weitverbreiteten Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (siehe Abb. 6.12). Diese Bauweisen lassen auch eine alsbaldige Wiederherstellung der Straßenoberfläche zu.

Die offenen Bauweisen haben in den letzten Jahren an Stellenwert verloren. Ein Grund hierfür ist auch im Verhältnis der Kosten zwischen den einzelnen Bauweisen zu sehen. Die technische Entwicklung beim Tunnelbau hat inzwischen dazu geführt, dass die Kosten für bergmännisch vorgetriebene Tunnel sich günstiger gestalten können als für Tunnel in offener Bauweise.

So belaufen sich die Kosten für einen bergmännischen Tunnel – ohne Streckeneinrichtungen – auf etwa 25.-60.000 € pro Meter. Sie werden sehr stark von den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen sowie von eventuell notwendigen Gebäudesicherungen

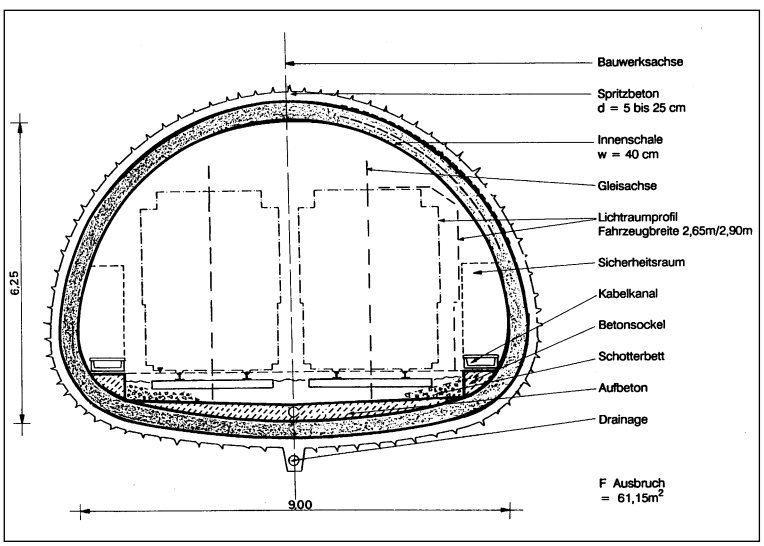


Abb. 6.12 Zweigleisiger Tunnelquerschnitt (Stadtbahn Stuttgart)

beeinflusst. Bei bergmännischen Tunneln sind jedoch die Kosten für Folgemaßnahmen und zur Aufrechterhaltung des Verkehrs sehr gering. Für einen in offener Bauweise hergestellten doppelgleisigen Tunnel in einfacher Tiefenlage müssen ca. 30.-35.000 € pro Meter angesetzt werden. Der Kostenanteil für die Aufrechterhaltung des Verkehrs und die Verlegung von Leitungstrassen liegen bei etwa 10-15 Prozent. Nähere Angaben zur Konstruktion und Ausführung von Tunnelstrecken bei verschiedenen Nahverkehrsbahnen in der Bundesrepublik sind in (Blennemann, 1975) enthalten.

Besondere Bedeutung kommt bei der Planung von Tunnelstrecken dem Schall- und Erschütterungsschutz zu. Während bei ebenerdigen Verkehrswegen der Luftschall überwiegt, werden die in Gebäuden nahe einer unterirdischen Bahn auftretenden Geräusche durch Körperschall hervorgerufen.

Ursache hierfür sind Schwingungen, die vom Tunnelbauwerk ausgehen und sich vom Gleisoberbau auf die angrenzenden Gebäude übertragen. Bei dem aus dem Körperschall entstehenden Luftschall überwiegen die tiefen Frequenzen von 40 bis 80 Hz, die sich als dumpfes Rollgeräusch bemerkbar machen.

Lärmmindernde Maßnahmen bei Tunnelstrecken sind bereits bei der Planung des Tunnelquerschnitts zu berücksichtigen. Je nach Maßnahme kann dies Einfluss auf die Tunnelhöhe haben.

Der Schotteroberbau hat eine gute Körperschalldämmung. Die optimale Schotterhöhe beträgt dabei etwa 30 cm zwischen Schwellenunterkante und Planum bzw. Tunnelsohle. Eine wirksame zusätzliche Schalldämmung kann erreicht werden durch den Einbau von Unterschottermatten.

Hochleistungsfähige Unterschottermatten bringen bereits ab etwa 16 bis 18 Hz eine Verbesserung, die ab etwa 50 Hz eine Körperschallreduzierung bis zu 20 dB erreichen. Auch wirkt sich bei der Anordnung von Unterschottermatten eine größere Schotterbetthöhe positiv aus.

Die wirkungsvollste, aber in der Regel auch die technisch und kostenmäßig aufwendigste Maßnahme ist das Massefedersystem. Massefedersysteme kommen zum Einsatz, wenn bei niedrigen Frequenzbereichen eine gute Dämmwirkung erzielt werden soll, vor allem aber dann, wenn kraftschlüssige Körperschallbrükken zwischen Tunnel und Gebäuden vorhanden sind.

Ausführungsbeispiele für Massefedersysteme existieren in schotterloser Form als auch mit schottergelagertem Gleisrost mit Einzelfertigteilen und mit Ortbetonplatten. Die lichte Höhe zwischen Schienenoberkante und Tunnelsohle beträgt dabei je nach System und Achslast zwischen 65 und 110 cm. Die einwandfreie Funktion eines Massefedersystems hängt nicht zuletzt von der exakten Bau- und Montageausführung ab.

6.3.1.4 Stadtbahnstrecken im Straßenraum

Stadtbahnen können wie U-Bahnen Strecken sowohl im Tunnel als auch in Hochlage haben. Ein wesentliches Element eines Stadtbahnsystems ist jedoch der Fahrweg im Straßenraum (siehe Abb. 6.13). Die Stärken der Stadtbahn sind hierbei in der vielfältigen Möglichkeit der Fahrweggestaltung zu sehen. Um betrieblich optimale Rahmenbedingungen zu schaffen, muss jedoch auch dabei die weitgehende Trennung der Fahrwege von öffentlichem und individuellem Verkehr angestrebt werden. Im Gegensatz zur U-Bahn lässt die Stadtbahn Kreuzungen mit dem übrigen Verkehr in Form von Überwegen und Überfahrten zu.

Die Planung des Fahrwegs von Stadtbahnen im Straßenraum ist als ganzheitlicher Straßenraumentwurf eine Aufgabe mit hoher Zielsetzung. Es gilt, die betrieblich notwendigen Anforderungen an einen modernen Stadtbahnbe-

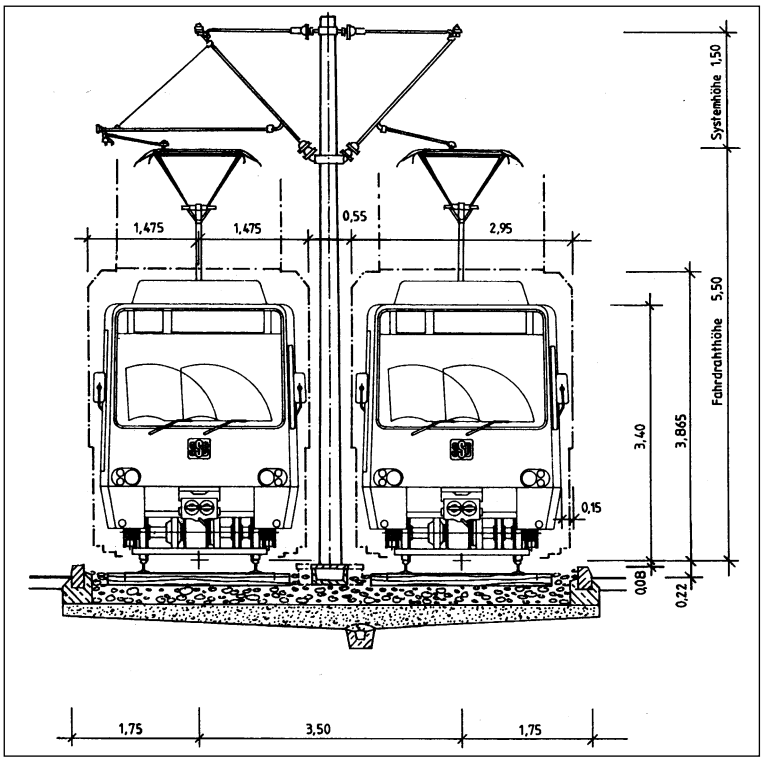


Abb. 6.13 Regelquerschnitt Fahrweg im Straßenraum (Stadtbahn Stuttgart)

trieb mit den sonstigen vielfältigen Nutzungsansprüchen durch Wohn- und Geschäftsbetrieb miteinander zu verbinden (Schnüll u. Straube, 1988). Dies setzt differenzierte Lösungsansätze voraus, die auch in sensiblen Teilbereichen eine bessere städtebauliche Integration von Bahnkörpern der Stadtbahn in das Stadtumfeld ermöglichen. Der Fahrweg der Stadtbahn im Straßenraum bietet die Chance einer optimalen Erschließungswirkung mit einer leichten Zugänglichkeit zum System sowie der damit verbundenen Aufwertung von Straßenraum und Wohnquartier.

Wie bei U-Bahnstrecken wird auch bei einer Linienführung im Straßenraum eine gestreckte und zügige Trassierung als ideal angesehen. Große Gleisbogenhalbmesser vermindern die Fahrgeräusche der Schienenbahn und verringern den Verschleiß an Rad und Schiene. Die Führung der Gleise und der Straßenfahrbahn sind so aufeinander abzustimmen, dass ein sicherer und leistungsfähiger Gesamtverkehr möglich ist. Die Zungenvorrichtung von Weichen bei straßenbündigem Bahnkörper sollen so gelegt werden, dass eine Blockierung durch Schmutz oder Gegenstände weitgehend ausgeschlossen wird. An Fußgängerüberwegen sind solche beweglichen Teile grundsätzlich zu vermeiden. Im Übrigen beinhalten die Oberbaurichtlinien und die Oberbauzusatzrichtlinien (VDV, 1984) die Grundsätze für den Oberbau, auch für die Streckengleise im Straßenraum.

In (FGSV, 2003) sind auch besondere Streckenanlagen, die für die Stadtverkehrsplanung von Bedeutung sein können, dargestellt wie

- Sortieranlagen an Verzweigungspunkten von Straßenbahn- bzw. Stadtbahnlinien,
- Wendeschleifen,
- Verschwenkung von Gleisanlagen von der Mittellage in die Seitenlage.

Abgrenzung des Fahrwegs vom übrigen Verkehrsraum

Die Abgrenzung des Fahrwegs vom übrigen Verkehrsraum kann prinzipiell auf drei Arten erfolgen, durch

- organisatorische und verkehrslenkende Maßnahmen,
- besondere Markierung des Fahrwegs,
- bauliche Abtrennung des Fahrwegs (Bonz, 1983).

Organisatorische und verkehrslenkende Maßnahmen sind meist ohne großen baulichen Aufwand zu verwirklichen. Ihre Umsetzung erfordert jedoch ein Konzept für den gesamten zu verbessernden Verkehrsbereich. Die Markierung der Gleisbereiche im Straßenraum verschafft dem Schienenverkehrsmittel gegenüber dem Individualverkehr bessere Geltung. Sie hindert den Kraftfahrzeugverkehr jedoch nicht – oft auch regelwidrig – den Bahnkörper mitzubenutzen. Beide Maßnahmen sollen die Leistungsfähigkeit der Schienenverkehrsmittel auf straßenbündigen Bahnkörpern verbessern.

Mit baulichen Maßnahmen soll das Befahren des Bahnkörpers vermieden oder erschwert werden.

Durch die bauliche Trennung der Fahrwege von öffentlichem und individuellem Verkehr entsteht der besondere Bahnkörper für die Stadtbahn. Er liegt im Verkehrsraum öffentlicher Straßen und ist nach § 16 BOStrab vom übrigen Verkehr durch Bordsteine, Leitplanken, Hecken, Baumreihen oder andere ortsfeste Hindernisse getrennt.

Verbesserter Verkehrsfluss bei straßenbündigen Bahnkörpern

Die organisatorischen Maßnahmen zielen im Wesentlichen darauf ab, den Straßenraum so zu gestalten, dass auch bei fehlender Abgrenzung genügend Fahrfläche für den Kraftfahrzeugverkehr neben der Bahntrasse vorhanden ist. Dies kann verkehrslenkende Maßnahmen zur Folge haben. Auch kann dadurch der ruhende Verkehr aus bestimmten Straßenzügen verdrängt werden müssen. Für den Lieferverkehr müssen ebenfalls besondere Maßnahmen entwickelt werden.

Eine wesentliche Störquelle für einen zügigen Stadtbahnbetrieb stellen auch Abbiegespuren im Gleisbereich dar. Sie sollten deshalb so weit wie möglich vermieden werden oder, wenn dies unvermeidbar ist, durch steuerungstechnische Maßnahmen rechtzeitig von aufgestauten Kraftfahrzeugen geräumt werden können.

Grundsätzlich sollte innerhalb eines Straßenzuges alles vermieden werden, was die Autofahrer zu überraschendem und unbedachtem Ausschwenken auf den straßenbündigen Bahnkörper verleiten könnte. Hilfreich hierfür sind eine gut erkennbare Straßenführung, gute Sicht für alle Verkehrsteilnehmer und eine gute Erkennbarkeit der Fahrspuren.

Leitlinien als Markierung des Fahrwegs der Schienenbahn (siehe Abb. 6.14) sind vielerorts in Gebrauch.

Sie werden trotz eingeschränkter Wirksamkeit als erster Schritt für einen zügigeren Stadtbahnbetrieb angesehen. Sie können kurzfristig und ohne großen Aufwand angebracht werden.

Unterbrochene Leitlinien machen das Fahrzeugprofil der Stadtbahn sichtbar und sind so eine Orientierungshilfe für alle Verkehrsteilnehmer. Die gestrichelte Linie wird jedoch häufig missachtet. Durchgehende Leitlinien werden von den Autofahrern im Allgemeinen besser beachtet.

Auch sie schließen jedoch nicht aus, dass Straßenfahrzeuge in den Lichtraum der Stadtbahn hineinragen. Bei der Festlegung der Leitlinien im Gleisbogen ist der durch die Fahrzeuggeometrie bedingte Wagenausschlag nach außen und nach innen zu berücksichtigen.

Wirksamer, da optisch auffälliger, sind Sperrflächen, also durchgehende Leitlinien mit schräger Strichelung des Gleisbereichs.

Abb. 6.14 Abmarkierung (Foto: Verfasser)

Abb. 6.15 Aufpflasterung (Foto: Verfasser)

Sperrflächen befinden sich auch dort, wo Stadtbahnzüge regelmäßig zum Halten kommen und entsprechender Platz freizuhalten ist, also vor Straßenverkehrs-Lichtsignalanlagen und an Haltestellen.

Die Hervorhebung des Gleisbereiches kann auch durch optische Veränderungen beim Fahrbahnbelag erfolgen. Möglich sind Pflasterungen des Bahnkörpers (siehe Abb. 6.15) wenn die angrenzenden Fahrspuren im Asphalt oder Beton ausgeführt sind, oder unterschiedliche Farbgebung für die einzelnen Straßenbeläge.

Eigener Fahrweg der Stadtbahn innerhalb des Straßenraumes

Die Qualität des Stadtbahnangebotes wird wesentlich mitbestimmt durch die Art und den Umfang der Trennung des Fahrwegs der Stadtbahn von den Verkehrswegen des Individualverkehrs.

Insofern kommt der Abgrenzung des Fahrwegs der Stadtbahn im Straßenraum durch bauliche Maßnahmen eine besondere Bedeutung zu (Bonz et al., 1989).

Der Begriff des besonderen Bahnkörpers und dessen Definition zeigt, dass es sich hier nicht in jedem Fall um den aus der Betriebswelt der Eisenbahn bekannten Bahnkörper handelt. Vielmehr sind zahlreiche Bahnkörperformen für Stadtbahnen inzwischen entwickelt worden. Diese können individuell in die einzelnen Stadtbereiche eingepasst werden. Ein möglicher Zielkonflikt zwischen der notwendigen technischen Lösung einerseits und der Einbindung der Bahn in das Stadtumfeld andererseits muss auch durch die politische Zielsetzung zum Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs gelöst werden.

Hierbei ist auch zu prüfen, inwieweit ein Verzicht auf vorhandene Straßenflächen die Verwirklichung eines Bahnkörpers erst ermöglicht. Weiter reichende Überlegungen können deshalb dahin gehen, die Flächen des Straßenverkehrs zugunsten der Stadtbahn zu reduzieren. Dies kann im Zusammenhang mit Verkehrsberuhigungsmaßnahmen zur Sperrung einzelner Straßenzüge für den Kraftfahrzeugverkehr führen, die jedoch für Stadtbahnen weiterhin offen bleiben.

Welche Maßnahmen die bauliche Trennung der Verkehrswege umfasst, wird anhand der verschiedenen Bauformen deutlich. Die unterschiedlichen Bauformen bedeuten auch Qualitätsstufen für den Stadtbahnbetrieb, für dessen Wirtschaftlichkeit und dessen Beitrag zur Verringerung der Umweltbelastung. Die Abgrenzung des besonderen Bahnkörpers reicht von der einfachen Schwelle bis zum Schotterbahnkörper.

Durch den Einbau von Bordsteinen oder Schwellen parallel zum Stadtbahnfahrweg wird der eigentliche Gleisbereich zum besonderen Bahnkörper. Der vorhandene Straßenbelag des Gleiskörpers wird in der Regel belassen. Der Bahnkörper ist gegenüber dem Kraftfahrzeugverkehr wirksam getrennt. In Ausnahmefällen kann der Bahnkörper vom Kraftfahrzeugverkehr weiterhin befahren werden. Zur besseren Hervorhebung können die Schwellen auch farblich gegenüber dem Straßenbelag abgesetzt werden. Als besondere Lösung kann der gesamte Gleiskörper auf Bordsteinhöhe angehoben werden. Auch bei dieser geschlossenen Oberbauform werden als Gleise Rillenschienen verwendet.

Offene Bahnkörper mit Schotteroberbau, wie sie für Stadtbahnen in den letzten Jahren verstärkt gebaut worden sind, bringen die größtmögliche Trennung der Fahrwege. Die Herstellung derartiger Bahnkörper kann vor allem beim stadtbahnmäßigen Ausbau bestehender Strecken oft ein Platzproblem darstellen. Sie ist jedoch als Forderung für einen hochwertigen Schienenverkehr bei modernen Stadtbahnsystemen anzusehen.

Weiter gehende Maßnahmen können die Akzeptanz der Fahrwegtrennung erhöhen und die Sicherheit insgesamt verbessern. So sind begleitende Grünstreifen als gestalterisches Element für den gesamten Straßenraum zu werten. Bei Fußwegen unmittelbar neben dem Bahnkörper kann es notwendig sein, den Bahnkörper mit Ketten, Zäunen oder Geländern zum Schutz der Fußgänger abzuschranken. Auch hier kann die Kombination der Maßnahme mit Grünpflanzen die Einbindung des Bahnkörpers ins Straßenbild verbessern.

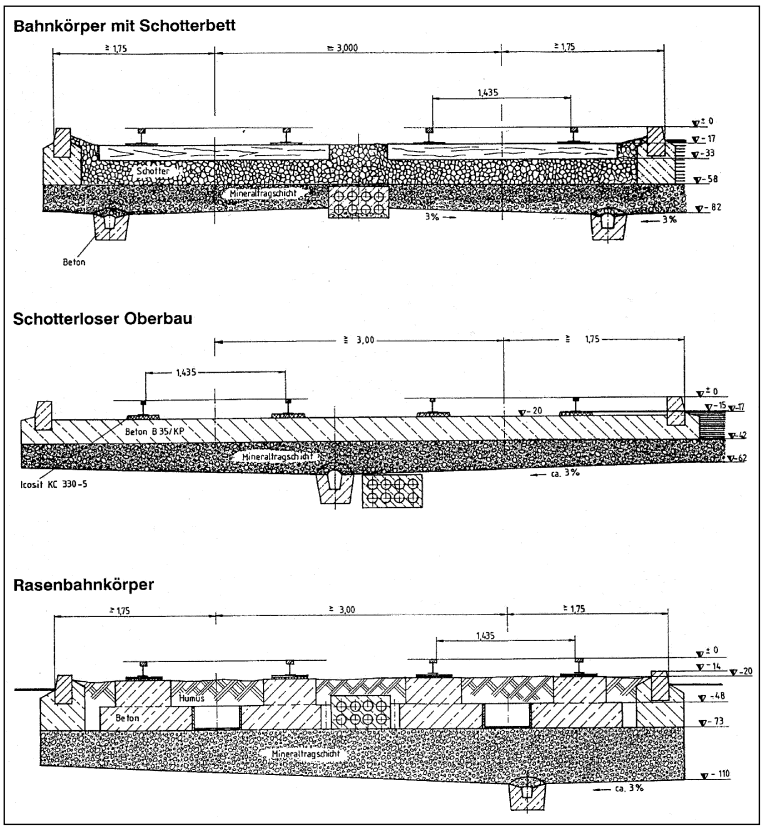


Abb. 6.16 Verschiedene Oberbauformen für besondere und unabhängige Bahnkörper. (Eigene Darstellung)

Oberbauformen als gestaltendes Element

Neben den beiden Grundformen des geschlossenen Oberbaus mit Rillenschiene und des offenen Oberbaus mit Vignolschiene auf Holzschwellen im Schotterbett wurden auch verschiedene Sonderformen des Oberbaus entwickelt (siehe Abb. 6.16). Hierzu zählt auch die Eindeckung des Schotteroberbaus mit Fertigteilplatten. Dabei werden die fahrdynamischen Vorteile des Vignolschienengleises mit den optischen Vorzügen des Rillenschienenoberbaus verbunden.

Neben der kompletten Eindeckung des Bahnkörpers ist auch eine Teileindeckung seitlich vom Bordstein bis zur äußeren Schiene sowie als Variante eine seitliche Teilpflasterung möglich. Die Abdeckplatten können zusätzlich eingefärbt werden. Dem optischen Effekt steht allerdings durch den kostspieligen Ein- und Ausbau der Platten ein hoher Herstellungs- und Unterhaltungsaufwand entgegen.

Der schotterlose Oberbau zeichnet sich durch seine geringe Bauhöhe aus. Er wird vorwiegend auf Brücken verwendet. Im Gegensatz zur Rillenschiene ist hier die Vignolschiene auf eine Betontragplatte sichtbar montiert.

Zu den optisch ansprechenden Oberbauformen zählt der Rasenbahnkörper (siehe Abb. 6.17). Rasengleisabschnitte passen sich besonders gut in die Umgebung ein und reduzieren den Anteil asphaltierter Straßenflächen. Der begrünte Fahrweg eignet sich vorwiegend für Stadtbahnstrecken in Wohngebieten. Er kann auch zur Erweiterung bereits vorhandener Grünflächen sinnvoll sein. Rasenbahnkörper führen zu einem Imagegewinn für das Verkehrsunternehmen (de Graaff et al., 1988).

Bei einem Rasenbahnkörper wird der Be-

Abb. 6.17 Unabhängige Streckenführung mit Rasenbahnkörper. (Foto: Verfasser)

reich zwischen und neben den Schienen durch Humus oder Grasbewuchs eingedeckt. Dadurch wirkt diese Oberbauform ähnlich lärmdämmend wie das Schottergleis, das bei der Wärme- und Wasserableitung viele Vorteile aufweist. Die Lärmwerte beim Schotteroberbau liegen bei den im Straßenraum üblicherweise gefahrenen Geschwindigkeiten um 5 bis 10 dB(A) unter den Werten der geschlossenen Oberbauformen. Darüber hinaus ist der Schotterbahnkörper auch im Bau und in der Unterhaltung die wirtschaftlichste Lösung von allen Bahnkörperformen.

Fahrleitung als Teil des Fahrweges

Zum Fahrweg der Stadtbahn im Straßenraum gehören auch die Elemente der Stromversorgung, insbesondere die Fahrleitungsanlagen. Die Tragseilfahrleitung (siehe Abb. 6.18) hat sich als die wirtschaftlichste Lösung erwiesen. Durch die höhere Stromaufnahme von modernen Stadtbahnwagen sind die von der Straßenbahn her bekannten Flachkettentragwerke ungeeignet. Zum Bild des Fahrweges der Stadtbahn im Straßenraum gehört deshalb eine Fahrleitung mit Mittel- oder Seitenmasten.

Die optische Wirkung der Fahrleitungsanlagen prägt die Charakteristik des Straßenzuges stark mit. Als Teil der Stadtmöblierung des Straßenzuges ist deshalb ein Abstimmungsprozess zwischen Verkehrsbetrieb und Stadtverwaltung bei der Auswahl von Materialien und Farbgebung für die Fahrleitungsanlagen notwendig.

Ausgeführte Beispiele, wie etwa in Hannover (Habermayer, 1986) veranschaulichen, dass durch sorgfältige Gestaltung von Fahrdraht und Tragwerk auch städtebaulich verträgliche Lösungen gefunden werden können. In Habermayer (1986) sind auch zahlreiche Regelquerschnitte für Stadtbahngleisanlagen im Straßenraum enthalten.

Abb. 6.18 Tragseilfahrleitung kombiniert mit Straßenbeleuchtung. (Foto: Verfasser)

6.3.1.5 Überfahrten und Überwege

Ein Systemmerkmal der Stadtbahn ist die niveaugleiche Kreuzung durch andere Verkehrsteilnehmer. Dabei wird unterschieden in Überfahrten für Kraftfahrzeuge und Überwege für Fußgänger. Überfahrten und Überwege unterscheiden sich in ihrer Funktion. Auf den Stadtbahnbetrieb wirken sich beide nachteilig aus, denn sie beeinflussen einen zügigen Fahrtablauf der Bahn.

Zum Schutz aller Verkehrsteilnehmer müssen Überfahrten und Überwege besonders gesichert werden. Bei der Planung und dem Bau von Stadtbahnstrecken im Straßenraum ist deshalb diesen Bereichen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Beide Formen kommen sowohl einzeln als auch gemeinsam vor.

Anordnung von Überfahrten

Überfahrten über die Stadtbahngleise liegen vor allem in Bereichen von Verkehrsknotenpunkten.

Für einen modernen Stadtbahnbetrieb besteht die grundlegende Forderung, Überfahrten nur an ausgewählten Stellen zuzulassen und ihre Anzahl zu minimieren. Bei der Stadtbahnplanung ist deshalb die Festlegung der Kreuzungspunkte im Rahmen eines Gesamtverkehrskonzepts für den ÖPNV und IV durchzuführen. Dabei kann es auch notwendig werden, zur Verbesserung des Stadtbahnbetriebs vorhandene Kreuzungsbereiche zu schließen.

Die Überfahrten an Verkehrsknotenpunkten werden in der Regel signalisiert. Eine Spurenorganisation für den Individualverkehr, insbesondere mit separaten Linksabbiegespuren, kann die Bevorrechtigung der Stadtbahn bei der Signalisierung erleichtern. Überhaupt ist bei der Knotenpunktgestaltung zu prüfen, welche Fahrbeziehungen zwingend notwendig sind. Umwege und sonstige Nachteile für den Individualverkehr sollen jedoch bei der Beschränkung von Querungen bzw. bei der Festlegung von Abbiegeverboten in Grenzen gehalten werden.

Für Überfahrten bei unabhängigen Bahnkörpern ist in jedem Fall eine technische Sicherung notwendig, wenn mehr als 100 Kraftfahrzeuge täglich den Bahnkörper überqueren. Nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (1987) sind diese

Bahnübergänge durch Andreaskreuze zu kennzeichnen und durch eine zweifeldrige Lichtsignalanlage zu sichern. Auf den Bahnübergängen hat der Straßenbahnverkehr vor dem Straßenverkehr Vorrang. Die Bahn nimmt nicht am Straßenverkehr teil. Wenn Überfahrten bei besonderen Bahnkörpern gleichermaßen gesichert sind, zählen diese ebenso zu den Bahnübergangen.

Kennzeichnung oder Sicherung durch Spiegel, Verkehrszeichen oder Lichtsignalanlagen sind auch notwendig bei Überfahrten über Bahnkörper in Seitenlage bzw. beim Wechsel des besonderen Bahnkörpers von der Mittellage in die Seitenlage.

Abb. 6.19 Überweg mit Z-Abschrankung und bahnabhängiger Signalisierung. (Foto: Verfasser)

Besondere Sicherungsmaßnahmen bei Überwegen

Auf Überwegen überquert der nicht motorisierte Verkehr die Stadtbahn. Sie sollten beschränkt werden auf Straßenkreuzungen und auf Haltestellen. Bei Stadtbahnen mit einem großen Anteil von eigenem Fahrweg auf besonderem oder unabhängigem Bahnkörper lassen sich jedoch Überwege auch auf der Strecke nicht immer vermeiden. An diese Überwege sind besonders hohe Sicherheitsanforderungen zu stellen. In den EAÖ (FGSV, 2003) sind verschiedene Bahnkörper-Überquerungsstellen für Fußgänger außerhalb des Haltestellenbereiches dargestellt.

Bei der Planung von Überwegen für Fußgänger muss die Wahrnehmung der Straßenbahn bzw. Stadtbahn sichergestellt werden, der Gleisbereich deutlich kenntlich gemacht und durch die bauliche Gestaltung des Überweges ein unbeabsichtigtes Überqueren vermieden werden.

Bei Gleisquerungen auf freier Strecke ist deshalb in jedem Fall eine Z-Abschrankung (siehe Abb. 6.19) anzuordnen. Dadurch wird die Blickrichtung des Fußgängers bewusst in Richtung der herannahenden Bahn umgelenkt. Auffällige Gelbblinker können die Wahrnehmung der Bahn noch verbessern. Die Konfliktzone, also der eigentliche Gleisbereich, soll durch eine besondere Markierung gegenüber den Aufstandsflächen hervorgehoben werden. Besondere Hinweisschilder mit einem Straßenbahnsymbol gehören zum Standard für die Kennzeichnung von Überwegen.

Eine spezielle Beleuchtung des Überweges kann zur Erhöhung der Sicherheit für Fußgänger an den Querungsstellen nachhaltig beitragen.

6.3.1.6 Beschleunigung der Stadtbahn als eine integrierte Aufgabenstellung

Die Bevorrechtigung öffentlicher Verkehrsmittel an Lichtsignalanlagen ist ein wesentliches Aufgabengebiet des Verkehrsplaners. Wegen der grundsätzlichen Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der Städte sind die öffentlichen Verkehrsmittel an Lichtsignalanlagen besonders zu berücksichtigen (FGSV, 1990). Hohe Zeitverluste an Lichtsignalanlagen beeinträchtigen dauerhaft die Zuverlässigkeit des Bahnbetriebes, eine gleichmäßige Fahrzeugbesetzung sowie die Einhaltung planmäßiger Anschlüsse. Fahrzeitanalysen haben z.B. in Stuttgart (Stuttgarter Straßenbahnen AG, 1984)

gezeigt, dass auf den einzelnen Linien LSA-Verluste im Mittel zwischen 8 und 16 Prozent vorhanden waren, bezogen auf die Fahrzeit zwischen den Endpunkten.

Die Bevorrechtigung öffentlicher Verkehrsmittel an Lichtsignalanlagen bringt eine Reihe von Nutzen:

- Das öffentliche Verkehrsmittel wird gegenüber dem Kfz-Verkehr – sichtbar– bevorzugt.
- Die Pünktlichkeit und Regelmäßigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel wird verbessert.
- Die Fahrzeiten und als Folge davon Umlaufzeiten verringern sich, was zu Fahrzeugeinsparungen führen kann.
- Die personenbezogenen Wartezeiten verringern sich wegen der im Vergleich zur Zahl der Kfz-Insassen großen Zahl an Fahrgästen in einem Zug besonders stark.
- Die Brems- und Anfahrvorgänge und damit Verschleiß und Energieverbrauch werden vermindert.
- Das Fahrpersonal wird entlastet.

Fahrtverlauf beim Schienenverkehrsmittel

Der Zeit-Weg-Ablauf des Schienenverkehrsmittels unterscheidet sich sehr stark vom Individualverkehr.

Er ist charakterisiert durch gegenüber dem Kfz-Verkehr unterschiedliche Beschleunigungswerte und teilweise auch durch andere Höchstgeschwindigkeiten. Entlang einer Strecke sind Haltestellen vorhanden, die eine große Streubreite bei den Haltestellenaufenthaltszeiten aufweisen können. Durch die längeren Bremswege der Schienenverkehrsmittel ergeben sich größere Signalsichtzeiten. Aus verkehrstechnischer Sicht ist zudem eine Bahn, auch bei dichter Zugfolge, ein seltenes Ereignis, während der Kfz-Verkehr in zeitlicher Hinsicht eine Dauergröße darstellt.

Während beim Kfz-Verkehr die Einrichtung fester Grüner Wellen zwischen benachbarten Lichtsignalanlagen in vielen Fällen noch die beste Lösung darstellt, kommt die Einrichtung fester Grüner Wellen den spezifischen Bedürfnissen des Schienenverkehrsmittels nicht entgegen.

Eine Anpassung fester Grüner Wellen an den Fahrtverlauf des Schienenverkehrsmittels ist wegen der verbleibenden Streuungen im Fahrtablauf der Bahn nicht sinnvoll. Für die Bahn und den Kfz-Verkehr sind somit Signalsteuerungen anzuwenden, die für die Bahn auf Bedarf eine Freigabe immer dann zuteilen, wenn die Bahn sich der Lichtsignalanlage nähert.

Signalisierung und Knotenpunktentwurf

Signalisierung und Knotenpunktentwurf müssen als Einheit angesehen werden. Die Qualität einer Signalisierung, die die Bahn bevorrechtigt, hängt auch von der Ausgestaltung des Knotenpunktes ab. Vor der Detailplanung der Signalsteuerung sollte deshalb untersucht werden, ob nicht durch bauliche Veränderungen am Knotenpunkt bessere Randbedingungen für eine verkehrsabhängige Signalisierung geschaffen werden können. Denkbar sind hier die Aufhebung von Abbiegebeziehungen und die Einführung bedingter Verträglichkeiten beim Kfz-Verkehr sowie die Teilung von Fußgängerüberwegen.

Bei Knotenpunkten, die in freier Phasensteuerung verkehrsabhängig gesteuert werden, ist eine Bevorrechtigung der Bahn relativ einfach durchzuführen. Die Bahnphase kann nach jeder anderen Phase beliebig geschaltet werden. Grenzen in der Bevorrechtigung ergeben sich durch die maximal zulässigen Wartezeiten für den Kfz-Verkehr.

Bei Knotenpunkten, die in Grüner Welle geschaltet werden, müssen je nach dem Eintreffens-Zeitpunkt der Bahn innerhalb der Umlaufzeit unterschiedliche Signalisierungszustände vorgesehen werden. Im Allgemeinen ist ein höherer Logikaufwand als bei freien Anlagen erforderlich.

Möglich sind Vor- und Nachläufe zu festen Freigabezeiten und Freigabezeiteinblendungen für die Bahn. Eingriffe der Bahn können hierbei zu Kürzungen und Verschiebungen von Freigabezeiten des Kfz-Verkehrs und der Fußgänger führen.

Sind die einzelnen Knotenpunkte innerhalb der Grünen Welle für den Kfz-Verkehr genügend weit voneinander entfernt, so dass keine Restriktionen bezüglich des erforderlichen Stauraums bestehen, kann eine Grüne Welle für den Kfz-Verkehr durch Eingriffe der Bahn in den Signalisierungsablauf vorübergehend vollständig aufgehoben werden.

Eine Reduzierung der Gesamtleistungsfähigkeit für den Kfz-Verkehr sollte durch die Bevorrechtigung der Bahn an Lichtsignalanlagen jedoch nicht eintreten. Deshalb ist es in vielen Fällen sinnvoll, neben der Bahn auch den Kfz-Verkehr an einem Knotenpunkt zu erfassen. In Signalumläufen ohne Bahneingriff kann dann abhängig von den Verkehrsstärken im Kfz-Verkehr den zuvor gekürzten Kfz-Signalgruppen mehr Freigabezeit als im Grundzustand der Signalisierung zugeteilt werden.

In einigen Fällen kann es sinnvoll sein, bestehende Grüne Wellen für den Kfz-Verkehr ganz aufzuheben, um damit bereits im Grundzustand der Signalisierung zu einer Reduktion der Wartezeiten für den Kfz-Verkehr zu gelangen. Da sich bei Grünen Wellen die Umlaufzeit immer nach den Erfordernissen des am stärksten belasteten Knotens richtet und selbst dort die Verkehrsstärken nicht immer so groß sind, wie der Signalplanberechnung zugrunde gelegt, ergeben sich für weite Teilstrecken der Grünen Welle und große Tageszeitbereiche Wartezeiten für Kfz-Ströme, die größer als eigentlich notwendig sind. Durch die Aufhebung der Grünen Wellen reduzieren sich die maximalen Wartezeiten für viele Kfz-Ströme merklich. Je geringer die Wartezeiten des Kfz-Verkehrs während der Zeiten ohne Bahneingriff sind, desto mehr kann die Bahn in den Signalplanablauf eingreifen, ohne dass die maximal zulässigen Wartezeitgrenzen erreicht werden. Eine Aufhebung Grüner Wellen ist besonders dann sinnvoll, wenn bei der Bahn eine dichte Zugfolge besteht und/oder beim Kfz-Verkehr starke Ströme quer zur Hauptrichtung vorhanden sind.

Durch die heute weit verbreiteten mikroprozessorgesteuerten Lichtsignalsteuergeräte sind hard- und softwareseitig auch komplizierte Steuerungslogiken einfach zu schalten. Bei einer komplizierten Steuerungslogik ist jedoch darauf zu achten, dass in der Folgezeit notwendig werdende Änderungen, z. B. durch geänderte Verkehrsaufteilungen oder Zwischenzeiten, nicht ständig einen unverhältnismäßig hohen Aufwand verursachen. In vielen Fällen ist deshalb eine strukturierte Programmierung, also z.B. feste Phasenübergänge und Phasenaufrufpläne auch bei festen Umlaufzeiten, sinnvoll.

Das öffentliche Verkehrsmittel muss für die Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen erfasst werden.

Als Erfassungssystem stehen verschiedene technische Möglichkeiten zur Verfügung. Beim Vorhandensein eines rechnergesteuerten Betriebsleitsystems können die Einrichtungen dieses Systems für die Beeinflussung der Lichtsignalanlagen mit verwendet werden. Bei besonderem oder unabhängigem Bahnkörper kann als einfachste Möglichkeit die Erfassung durch im Gleis verlegte Induktionsschleifen angewandt werden. Auch am Fahrzeug vorhandene Einrichtungen z.B. zur Weichenansteuerung können genutzt werden. Bei Lösungen mit Funk- oder Infrarotübertragung können auch Fahrtrichtungswünsche übermittelt werden.

6.3.2 Grundlagen der Gestaltung des Fahrweges beim Busverkehrssystem

6.3.2.1 Grundlagen der Fahrgeometrie und Fahrdynamik

Die Verkehrsunternehmen setzen im Linien- und Gelegenheitsverkehr unterschiedliche Fahrzeuge ein, die sich in der Größe und der Bauart unterscheiden. Im Wesentlichen sind dies Kleinbusse, Linienbusse, Überland-Linienbusse, Gelenkbusse. Teilweise kommen auch spezielle Fahrzeugtypen wie Doppeldecker, O-Busse und Reisebusse zum Einsatz.

Die wichtigsten Abmessungen der Fahrzeuge sind aus (FGSV, 1990a) ersichtlich. Die maximal zulässigen Maße der Busse sind in § 32 StVZO (Straßenverkehrszulassungsordnung) festgelegt und betragen in der Breite 2,55 m (ohne Spiegel), in der Höhe 4,00 m, in der Länge 13,50 m bei 2-achsigen Bussen bzw. 15,0 m bei 3-achsigen Normalbussen und 18,75 m bei Gelenkbussen bzw. bei Bussen mit Fahrgastanhängern.

Aus Gründen eines flexiblen und wirtschaftlichen Fahrzeugeinsatzes ist ein Verkehrsbetrieb bestrebt, die vorhandenen Fahrzeugtypen im gesamten Liniennetz zu jeder Zeit einsetzen zu können. Fahrwege und Haltestellen sollten daher von allen Fahrzeugen des Linienverkehrs befahrbar sein. Ist in Ausnahmefällen aus städtebaulichen Gründen oder anderen Sachzwängen in Wohngebieten eine Beschränkung auf einen bestimmten Fahrzeugtyp erforderlich, so sind frühzeitige Abstimmungen der Planungsbehörden mit dem Verkehrsbetrieb notwendig.

Fahrgassenbreite in der Geraden und in Kurven

Das Grundmaß der Fahrgassenbreite in der Geraden beträgt für Linienbusse im Einrichtungsverkehr mindestens 3.50 m und im Zweirichtungsverkehr 6.50 m.

Für Erschließungsstraßen wird in den EAE 85/95 (FGSV, 1985/95) und in den EAÖ (FGSV, 2003) bei den Grundmaßen für Verkehrsräume und lichte Räume unterschieden in Begegnungsfälle mit unverminderter Geschwindigkeit (< 50 km/h) und mit verminderter Geschwindigkeit (≤ 40 km/h). Welche Begegnungsfälle und Fahrweisen beim Entwurf zugrunde zu legen sind, muss aufgrund der maßgebenden Funktion der Straße und der Fahrtenhäufigkeit entschieden werden.

Die minimale Breite von Erschließungsstraßen, auf der sich Linienbusse begegnen können, wird mit 6,00 m angegeben. Voraussetzung hierfür ist jedoch das Begegnen bei verminderter Fahrgeschwindigkeit, was betrieblich nachteilig ist. Eine Fahrgassenbreite von 6,00 m im Begegnungsverkehr muss deshalb die Ausnahme bleiben.

Auch in den „Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen“ (FGSV, 1993) sind Standardfahrstreifenbreiten für den Linienbus- und Schwerlastverkehr empfohlen in Abhängigkeit der Flächenverfügbarkeit und dem Anteil des Linienbus-/Schwerlastverkehrs. Die Möglichkeit, für Linksabbieger bei beengten Verhältnissen eine Fahrstreifenbreite von kleiner als 3,0 m zu wählen, gilt nicht, wenn Busse auf dem Linksabbiegestreifen geführt werden müssen (EAÖ, FGSV, 2003).

Der Mindestflächenbedarf von Linienbussen in Kurven sowie beim Ein- und Abbiegen und beim Befahren von Wendeschleifen und Haltestellenbuchten wird durch die Fahrgeometrie der eingesetzten Busse und dem zu fahrenden Richtungsänderungswinkel bestimmt.

In den Richtlinien (FGSV, 1995) sind Angaben über die Verbreiterungsmaße enthalten, die den Fahrgassenbreiten der Geraden hinzuzurechnen sind, bzw. es sind dort für verschiedene Richtungsänderungswinkel Schleppkurven der verschiedenen Fahrzeuge abgebildet.

Beim Entwurf von Knotenpunkten, Haltestellen und Kurven im Linienverlauf empfiehlt

es sich, den Flächenbedarf der Linienbusse mit Hilfe von Schleppkurvenschablonen im konkreten Planungsfall zu überprüfen. Schleppkurvenschablonen für verschiedene Fahrzeugtypen sind in der Zusammenstellung „Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen“ (FGSV, 2001) zusammengestellt. Gegebenenfalls kann eine Planung auch durch Fahrversuche in der Örtlichkeit überprüft werden, z.B. wenn Elemente der Verkehrsberuhigung (Inseln, Versätze) eingebaut werden sollen oder wenn auf einer Strecke ein anderer Bustyp eingesetzt wird.

Bei Buswendeschleifen sind in den „Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Busbahnhöfen“ für den inneren Halbmesser 8,00 m und den äußeren Halbmesser 15,00 m angegeben. Beispiele mit kleinerem Flächenanspruch, die trotzdem von Bussen gut befahrbar sind, werden in den EAE 85/95 (FGSV, 1985/95) und in den EAÖ (FGSV, 2003) mit Wenderadien von 12,00 m (12,50 m bei Gelenkbussen) dargestellt.

6.3.2.2 Busfahrweg im öffentlichen Straßenraum

Wie der Schienenverkehr kann auch der Busverkehr mit dem übrigen Verkehr geführt oder durch besondere Fahrstreifen von ihm getrennt werden. Wird der Busverkehr gemeinsam mit dem Individualverkehr geführt, so sollen die Straßen so bemessen und ausgebaut werden, dass der öffentliche Verkehr sicher, zuverlässig und schnell durchgeführt werden kann. Hierzu ist die eigentliche Straßenplanung durch geeignete verkehrslenkende und verkehrsregelnde Maßnahmen zu ergänzen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Durchführung eines ungestörten Busverkehrs ist eine ausreichende Breite der Fahrbahn. Ist der Verkehrsraum durch parkende Fahrzeuge eingeschränkt, so ist im betreffenden Abschnitt das Parken (Halten) zu untersagen. Für Lieferverkehr und als Parkmöglichkeit sind dann Längsparkstreifen vorzusehen. Dabei soll ein zügiges Ein- und Ausparken gewährleistet sein. Ist die Anlage von Längsparkstreifen nicht möglich, kann die Einrichtung eines Haltverbotes (Zeichen 283 StVO), in Ausnahmefällen mit tageszeitlicher Beschränkung) im Interesse eines leistungsfähigen öffentlichen Nahverkehrs notwendig sein. Aus Gründen der Verkehrssicherheit sind in Straßen mit Linienbusverkehr Senkrechtparkstände nicht empfehlenswert.

Falschparker können erhebliche Störungen des Busverkehrs verursachen. Durch geeignete bauliche Maßnahmen kann ein Falschparken schon oft von vornherein verhindert werden, z.B. im Haltestellenbereich durch die Anlage von Haltestellenkaps.

Zur Beschleunigung des öffentlichen Verkehrs sind Straßen mit Linienbusverkehr grundsätzlich als Vorfahrtstraßen zu kennzeichnen, um einen zügigen Fahrtablauf und eine Minimierung der Wartezeiten zu gewährleisten (EAÖ). Eine besondere Bedeutung kommt wie bei den Schienenbahnen auch beim Bus der Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen zu.

Verkehrslenkende Maßnahmen zur Förderung des Busverkehrs

Zur Beschleunigung des Busverkehrs können auch Ausnahmegenehmigungen für den Linienverkehr von Verboten, die durch Vorschriftszeichen, Richtzeichen oder Verkehrseinrichtungen angeordnet sind, einen wesentlichen Beitrag leisten. Die Straßenverkehrsbehörden können nach § 46 StVO in bestimmten Einzelfällen für bestimmte Antragsteller entsprechende Ausnahmen genehmigen.

Die Mitbenutzung von MIV-Fahrstreifen durch Linienbusse in Abweichung von der vorgeschriebenen Fahrtrichtung an (signalgesteuerten) Knotenpunkten (siehe Abb. 6.20) ist grundsätzlich möglich, sofern die Sicherheit

des Verkehrsablaufs und die Begreifbarkeit für alle Verkehrsteilnehmer gewährleistet werden kann (FGSV, 1999).

Abb. 6.20 Ausnahmegenehmigung vom Abbiegeverbot. (Foto: Verfasser)

Für den geradeausfahrenden Linienbusverkehr ist es oft von Vorteil, wenn von ihm schwach belastete Abbiegefahrstreifen mitbenutzt werden können. Der Abbiegefahrstreifen hat dann den Effekt eines Busfahrstreifens. Wird bei schwachem Rechtsabbiegeverkehr und starkem geradeausfahrenden Verkehr vom Linienbus der Rechtsabbiegefahrstreifen mitbenutzt, um z.B. direkt die hinter dem Knotenpunkt liegende Haltestelle anzufahren, kann der Bus am rückstauenden Geradeausverkehr vorbei fahren. Die Wartezeiten an der Signalanlage können dadurch minimiert werden.

Denkbar ist auch, Linienbusse aus Geradeausspuren abbiegen und in einen Busfahrstreifen oder eine Haltestellenbucht einfahren zu lassen. Auch zur Vermeidung von Umwegen, z.B. „Blockumfahrungen“ oder andere für den Bus ungünstige Linienführungen kann es sinnvoll sein, zusammen mit einer geeigneten Signalsteuerung Linienbussen das Linksabbiegen zu genehmigen bei für den MIV anderen Fahrtrichtungsgeboten.

6.3.2.3 Trennung der Fahrwege beim Busverkehr

Die Einrichtung von Busfahrstreifen ist eine Maßnahme zur Verbesserung der Qualität des Linienverkehrs an kritischen Stellen im Netz. Die getrennte Führung vom individuellen Verkehr kann die Leistungsfähigkeit des Busverkehrs erhalten bzw. steigern. Busfahrstreifen ermöglichen dem Linienverkehr unabhängig vom Individualverkehr zu verkehren oder an regelmäßig auftretenden Staus des Individualverkehrs vorbeizufahren.

Busfahrstreifen tragen somit zu einem verbesserten Betriebsablauf, zur Harmonisierung des Fahrtablaufs, zur besseren Einhaltung des Fahrplans und zur Entlastung der Busfahrer sowie zur Reduktion von Schadstoffemissionen bei.

Verkehrstechnische Einsatzgrenzen für Busfahrstreifen

Insbesondere in Straßen vor stark belasteten Knotenpunktzufahrten können Busfahrstreifen besondere Vorteile bringen. Rückstaus vor signalgeregelten Knotenpunkten können umfahren und mit Sondersignalen kann dem Busverkehr bevorzugte Fahrtfreigabe erteilt werden. Die Anlage von Busfahrstreifen und die Beeinflussung von Lichtsignalanlagen durch den Bus sind sich ergänzende Maßnahmen. Oftmals ist ein Busfahrstreifen Voraussetzung für eine wirkungsvolle signaltechnische Bevorrechtigung an einem Knotenpunkt.

Die Notwendigkeit zur Einrichtung von Busfahrstreifen ergibt sich allgemein aus hohen Fahrzeitverlusten, insbesondere während der Spitzenzeiten des Verkehrs (siehe Abb. 6.21) sowie aus den heutigen bzw. künftig zu erwartenden Verkehrsbelastungen in Verbindung mit anderen bei der Planung zu beachtenden Kriterien.

Die Anordnung von Busfahrstreifen soll gemäß Verwaltungsvorschrift zur StVO in der Regel nur dann erfolgen, wenn in der Ver-

Abb. 6.21 Busfahrstreifen (Foto: Verfasser)

kehrsspitze mindestens 15-20 Busse pro Stunde verkehren. Die Anlage eines Busfahrstreifens wird erleichtert, wenn er von mehreren Buslinien genutzt werden kann, da durch die Linienbündelung eine Steigerung der Fahrtenhäufigkeit erreicht wird.

Bei der Beurteilung der Angemessenheit von Busfahrstreifen soll jedoch auf die Anwendung starrer Bemessungsgrenzwerte für die Mindestfahrtenhäufigkeit verzichtet werden (FGSV, 1999). Oftmals werden heute auch Busfahrstreifen eingerichtet, auf denen nur 5-10 Busse pro Stunde in der Verkehrsspitze verkehren, wenn diese durch den Individualverkehr erheblich behindert werden.

Gestaltung und Kennzeichnung von Busfahrstreifen

Die Anwendung von Busfahrstreifen ist in allen Lagen innerhalb des Straßenquerschnitts möglich (Seitenlage oder Mittellage). Die Regelbreite von Busfahrstreifen beträgt in der Geraden 3,50 m. Die EAÖ (FGSV, 2003) verweisen auf die in der Verwaltungsvorschrift zur StVO zu § 41/Zeichen 245 angegebene Mindestbreite von 2,35 m.

Vorteilhaft kann auch die Mitbenutzung einer vom Individualverkehr abgetrennten Gleiszone bzw. des eigenen Bahnkörpers der Straßen/Stadtbahn durch im gleichen Straßenabschnitt verkehrende Linienbusse sein. Erforderlich hierfür ist eine ausreichende Breite der Gleiszone oder des Bahnkörpers.

In Sonderfällen können Busfahrstreifen auch auf der Gegenfahrbahn zeitlich beschränkt eingerichtet werden. Eine gut erkennbare Beschilderung, Markierung und ggf. zusätzliche Einrichtungen wie Wechselverkehrszeichen, Klappschranken oder Dauerlichtzeichen sind hier jedoch zwingend notwendig (Nöske, 1983).

Die Kennzeichnung des Busfahrstreifens erfolgt durch Zeichen 245 StVO (Linienomnibusse) evtl. mit Zusatzschildern, die die zeitliche Begrenzung regeln. Die Fahrstreifen sind mit ununterbrochenen Linien (Z 295 StVO) bzw. bei zeitlicher Begrenzung mit einer unterbrochenen Linie (Z 340 StVO) seitlich abgegrenzt. Die Fahrbahnschriftmarkierung „BUS“, die in regelmäßigen Abständen aufgebracht wird, soll die Kennzeichnung unterstützen.

Mitbenutzung durch Taxi und Fahrradverkehr

Busfahrstreifen werden zur Beschleunigung des Busverkehrs eingerichtet; eine Mitbenutzung durch andere Verkehrsteilnehmer soll nur dann erwogen werden, wenn ihr eigentlicher Zweck nicht in Frage gestellt wird. Grundsätzlich kann Taxen das Mitbenutzen von Busfahrstreifen (siehe Abb. 6.22) gestattet werden; dies ist durch ein Zusatzschild zum Zeichen 245 StVO anzuzeigen.

Taxen sollen Busfahrstreifen nur dann mitbenutzen, wenn sichergestellt werden kann, dass der Busbetrieb nicht behindert wird, z.B. durch Anhalten, um Taxifahrgäste ein- bzw. aussteigen zu lassen. Ungeeignet kann die Mitbenutzung von Busfahrstreifen durch Taxen auch dann sein, wenn innerhalb des Busfahrstreifens Induktionsschleifen zur Beeinflussung von Lichtsignalanlagen verlegt sind und eine Bevorrechtigung auch von Taxen angefordert werden kann, dies aber unerwünscht ist.

Die Verwaltungsvorschriften zur StVO verlangen bei der Einrichtung von Busfahrstreifen, dass für etwa vorhandenen Radfahrverkehr besondere Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden müssen. Radverkehr soll auf Radwegen oder anderen Straßen geführt werden bzw. er ist auszuschließen, wenn sich Radfahrer zwischen dem Linien- und Individualverkehr fortbewegen müssten.

Fahrradverkehr sollte auf Busfahrstreifen in der Regel nicht zugelassen werden, da der langsame Radverkehr den Busverkehr erheblich behindern kann, insbesondere dann, wenn die Radfahrer bei ungenügender Fahrstreifenbreite nicht gefahrlos überholt werden können. In Ausnahmefällen, z.B. auf Gefällstrecken wird vereinzelt Radverkehr auf Busfahrstreifen zugelassen, wenn keine andere Führung des Radverkehrs möglich ist und ein Busfahrstreifen ansonsten nicht eingerichtet werden könnte. Aus den genannten Gründen sollten dies jedoch Ausnahmen bleiben.

Bevorrechtigungsmaßnahmen beim Bus

Noch mehr als die Straßenbahn fährt der Bus auf Flächen, die auch von anderen Verkehrsarten benutzt werden. Eine Signalsteuerung, die den Bus bevorrechtigt (siehe Abb. 6.23), muss deshalb auch die Verkehrssituation vor allem des übrigen Kfz-Verkehrs berücksichtigen. So ist eine Freigabezeitzuteilung für den Bus z.B.

Abb. 6.22 Mitbenutzung eines Busfahrstreifens durch Taxiverkehr. (Foto: Verfasser)

Abb. 6.23 Bevorrechtigungsmaßnahme für den Bus. (Foto: Verfasser)

wenig sinnvoll, wenn andere Fahrzeuge den Bus daran hindern, den Knotenpunkt überhaupt zu erreichen.

Bei der Bevorrechtigung von Bussen an Lichtsignalanlagen ist eine netzweite Planung wichtig.

Lichtsignalanlagen, die abseits des Fahrweges der Busse liegen, können z.B. eine Funktion als Zuflussdosierer übernehmen, um die Straßen dort, wo der Bus fährt, von Überstauungen freizuhalten.

Busfahrstreifen und die Bevorrechtigung des Busses an Lichtsignalanlagen ergänzen sich gegenseitig und sollten deshalb gemeinsam geplant werden.

Bei großem Verkehrsaufkommen des Kfz-Verkehrs und bei Überlastungen sind Busfahrstreifen als ergänzende Maßnahme zur Lichtsignalbevorrechtigung besonders wichtig. Durch Busfahrstreifen können die Verlustzeiten abgebaut werden, die für den Bus beim Warten im Stau entstehen. Durch die Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen werden die Verlustzeitanteile abgebaut, die durch die Lichtsignalanlage selbst entstehen. Sind Busfahrstreifen in der Nähe von Knotenpunkten vorhanden, kann die Anforderung des Busses für die Lichtsignalanlage über Induktionsschleifen erfolgen, die in den Busfahrstreifen verlegt sind. Sind keine Busfahrstreifen in Knotenpunktsnähe vorhanden, muss die Erfassung des Busses über Funk oder Infrarot erfolgen.

Hierzu können auch die technischen Einrichtungen sowohl am Fahrzeug als auch auf der Strecke von rechnergesteuerten Betriebsleitsystemen mitbenutzt werden (Chazelas u. Schilling, 1989).

6.3.2.4 Busverkehr und Verkehrsberuhigungsmaßnahmen

Bei der Einrichtung von verkehrsberuhigten Gebieten und Straßen kann zwischen folgenden Möglichkeiten unterschieden werden:

- Verkehrsberuhigte Bereiche und Fußgängerzonen
- Zonen-Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Verkehrsbeschränkende und verkehrslenkende Maßnahmen

Die Attraktivität des ÖPNV soll durch Verkehrsberuhigungsmaßnahmen nicht verschlechtert werden. Straßen, auf denen öffentliche Verkehrsmittel verkehren, sollen deshalb nicht in die Verkehrsberuhigung einbezogen werden. Dies gilt insbesondere auch für die Schienenbahnen.

Es empfiehlt sich, bei der Planung von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen zunächst ein Netz von leistungsfähigen Straßen mit maßgebender Verbindungsfunktion festzulegen, die nicht beruhigt werden und die Vorfahrtsberechtigung behalten (Vorbehaltsnetz). In dieses Vorbehaltsnetz sind Straßen mit Linienverkehr einzubeziehen.

Müssen aufgrund örtlicher Gegebenheiten dennoch Straßen mit Busverkehr in die Verkehrsberuhigung miteinbezogen werden und ist eine alternative Linienführung nicht möglich, so sind folgende Grundsätze zu beachten (FGSV u. VÖV, 1990):

- Der vom Bus befahrene verkehrsberuhigte Abschnitt sollte möglichst kurz sein.
- Die angewandten Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung müssen die möglichen Auswirkungen auf das Fahrverhalten der Busse und auf die Fahrgäste berücksichtigen.
- Ist eine Absenkung der Reisegeschwindigkeit unvermeidbar, sollten auf anderen Streckenabschnitten geeignete Beschleunigungsmaßnahmen einen Ausgleich schaffen.

Die Möglichkeit, die in verkehrsberuhigten Bereichen eingetretenen Fahrzeitverluste durch Beschleunigungsmaßnahmen im übrigen Netz wieder auszugleichen, wird von Verkehrsbetrieben nach ersten Erfahrungen als gering eingeschätzt (Cypra, 1988).

Verkehrsberuhigte Bereiche und Fußgängerzonen

Das Befahren von verkehrsberuhigten Bereichen (Zeichen 325 StVO) ist nur unter ganz bestimmten Umstanden akzeptabel, wenn es die Qualität der Erschließung erfordert und keine anderen Linienführungen möglich sind.

In verkehrsberuhigten Bereichen soll die Aufenthaltsfunktion überwiegen und der Fahrzeugverkehr nur eine untergeordnete Bedeutung haben. Das Zeichen 325 StVO fordert die Einhaltung von Schrittgeschwindigkeit, was einem attraktiven Busverkehr deutlich entgegensteht, Beobachtungsergebnisse in einem verkehrsberuhigten Bereich in Bochum mit Busverkehr im Rahmen von Forschungsarbeiten zeigen, dass die mittlere Geschwindigkeit der Busse mit 15,9 km/h relativ hoch lag, was mit der geforderten Schrittgeschwindigkeit (7 km/h) nicht vereinbar erscheint (Baier u. Hartlich, 1989).

Bei der Planung von Fußgängerbereichen (Zeichen 242 StVO) sind die Belange des ÖPNV, insbesondere die Linienführung und Anordnung von Haltestellen zu berücksichtigen. Eine zentrale Erschließung von Fußgängerzonen durch den ÖPNV wird vereinfacht, wenn Schienenverkehrsmittel in der zweiten Ebene vorhanden sind.

Soll die Fußgängerzone auch durch Buslinien zentral erschlossen werden, so kann dies durch

- das Führen der Buslinien und Anordnen der Haltestellen am Rande der Fußgängerzonen erfolgen,
- das Führen der Buslinien auf allgemeinen Verkehrsstraßen, die den Fußgängerbereich kreuzen und unterbrechen. Ist eine derartige Erschließung nicht möglich, kann der Bus innerhalb des Fußgängerbereichs geführt werden, wenn die Fahrbahn entsprechend gestaltet wird.

Es wird empfohlen, die Fahrgassen für Busse (siehe Abb. 6.24) innerhalb von Fußgängerbereichen deutlich abzugrenzen und für die Fußgänger als solche erkennbar zu gestalten. (Farbmarkierungen, unterschiedliche Art der Pflasterung, unterschiedliche Baustoffe, Poller, Pfosten, Anpflanzungen).

Tempo-30-Zonen

Kann eine vom Bus befahrene Straße nicht in das Vorbehaltsnetz aufgenommen und auch eine andere Linienführung für den Busverkehr nicht verwirklicht werden, so ist die Zonen-

Abb. 6.24 Busverkehr in einer Fußgängerzone. (Foto: Verfasser)

Geschwindigkeitsbeschränkung für den ÖPNV nur hinnehmbar, wenn er auf kurzen Streckenabschnitten betroffen ist.

Die Einführung der Regelung „Rechts vor Links“ an Knotenpunkten innerhalb von Tempo-30-Zonen ist für den Busverkehr nicht akzeptabel. Voraussetzung für das Befahren von Tempo-30-Zonen durch Busse ist die Ausweisung der von ihnen befahrenen Straßen als Vorfahrtsstraßen.

Werden bauliche Elemente zur Geschwindigkeitsdämpfung in Tempo-30-Zonen vorgesehen, so ist in jedem Fall die Befahrbarkeit durch Linienbusse zu überprüfen.

Bauliche Maßnahmen zur Geschwindigkeitsdämpfung sollen vorrangig dort eingesetzt werden, wo der Bus ohnehin langsam fahren muss, wie an Einmündungen, Kreuzungen, Haltestellen oder Querungsstellen, um die Beeinträchtigung des Busverkehrs klein zu halten. Für den Busverkehr verträglich können Fahrgassenversätze und Fahrbahneinengungen gestaltet werden.

Werden Fahrgassenversätze (siehe Abb. 6.25) mit Haltestellen kombiniert, so können die fahrdynamischen Auswirkungen, insbesondere die auf die Fahrgäste wirkende Querbeschleunigung, vermindert werden.

Fahrbahneinengungen sind für Linienbusse meistens besser befahrbar als Fahrbahnversätze.

Die Häufigkeit der Begegnungsfälle Bus/Bus bzw. Bus/Lkw, die das Anhalten des Linienbusses erforderlich machen, muss jedoch berücksichtigt werden. Besondere Aufmerksamkeit ist auch dem ruhenden Verkehr zu widmen, der zu Behinderungen des Busverkehrs führen könnte.

Beispiele zu Fahrgassenversätzen und Fahrbahneinengungen sind in den „Richtlinien für Lichtsignalanlagen RiLSA Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr“ (FGSV, 1990) und in „Verkehrsberuhigung und öffentlicher Personennahverkehr“ (Cypra, 1988) dargestellt.

Fahrdynamisch wirksame Schwellen sind wegen der Sicherheitsrisiken, das heißt die auf stehende Fahrgäste einwirkenden Beschleunigungskräfte, für den Busverkehr nicht verträglich.

Wo ohnehin langsam gefahren wird, können auch Aufpflasterungen vertretbar sein. Im Grenzfall wird eine Aufpflasterung mit abgerundetem Flachbord auf einen Niveauunterschied von bis zu 2 cm für denkbar gehalten (FGSV, 1985/90).

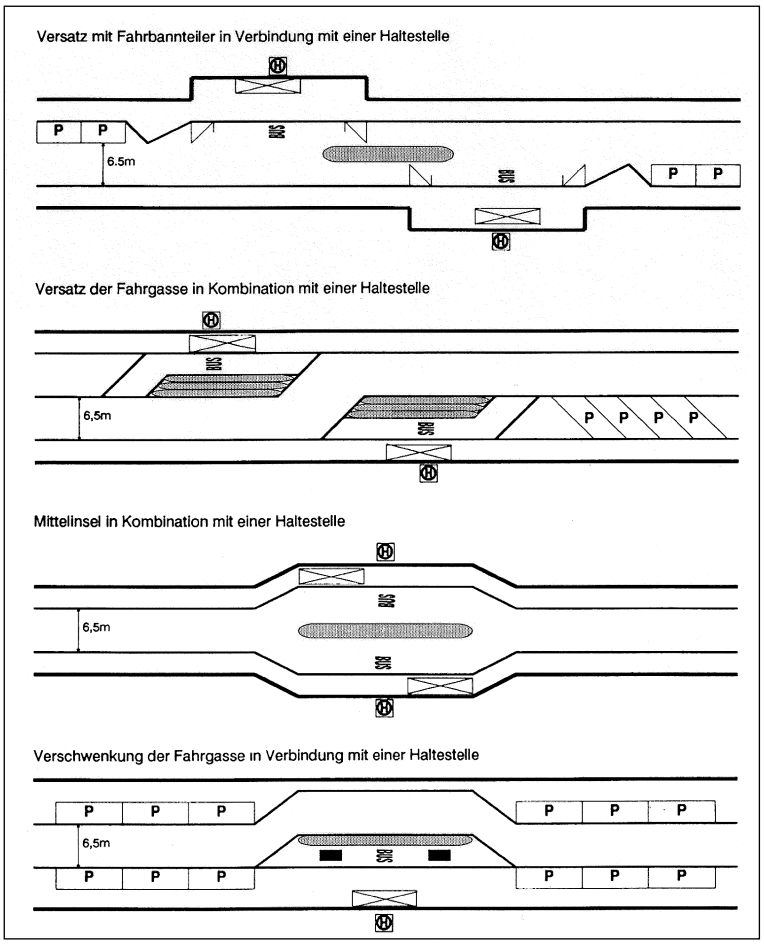


Abb. 6.25 Kombination Fahrgassenversätze mit Haltestellen. (Eigene Darstellung)

Erste Ergebnisse einer Untersuchung über die Auswirkungen von Tempo-30-Zonen auf den Busverkehr (Wewers, 1990) zeigen, dass die Fahrzeitverluste durch die Einrichtung von Tempo-30-Zonen bei etwa 30 Sekunden auf 1000 m liegen. Für verschiedene Gebietstypen, die sich in der Art und Ausbildung der Tempo-30-Zonen unterscheiden, sind mittlere Zeitverluste in (Wewers, 1990) angegeben.

Die Fahrzeitverlängerungen können je nach örtlichen Gegebenheiten zu einem Mehraufwand an Personal und an Bussen führen.

Es wird empfohlen, bei der Planung von Tempo-30-Zonen die Belange des ÖPNV zu berücksichtigen, verträgliche Maßnahmen für die Durchfahrung von Tempo-30-Zonen zu entwickeln.

Bereits in der Planungsphase sollten sich deshalb alle Beteiligten abstimmen (Wewers, 1990).

Verkehrsbeschränkende und verkehrslenkende Maßnahmen

Im Rahmen der Verkehrsberuhigung werden auch zunehmend verkehrslenkende Maßnahmen eingesetzt. Diese können so angelegt sein, dass sie den Busverkehr nicht behindern, sondern häufig sogar fördern können. Um gebietsfremden Verkehr (Durchgangsverkehr) von bestimmten Straßen eines Stadt-/Wohngebiets

fern zu halten, können Fahrverbote oder Sperrung von Straßenabschnitten für den Kraftfahrzeugverkehr als geeignete Maßnahme in Betracht kommen.

(Zeichen 250 StVO „Verbot für Fahrzeuge aller Art“, Zeichen 267 StVO „Verbot der Einfahrt“, Abbiegegebote). Wird der ÖPNV durch Zusatzbeschilderung zugelassen, kann sowohl eine gewünschte gute Quartiererschließung durch den öffentlichen Verkehr als auch eine günstige direkte Linienführung erreicht werden.

In Sonderfällen kann auch der Einbau von Schranken (siehe Abb. 6.26), die vom Linienbus geöffnet werden können, vorgesehen werden, ebenso geeignete Aufpflasterungen, die nur von Bussen, nicht aber von Pkw überfahren werden können, sind in Einzelfällen denkbar; sie sollten jedoch nur dann, wenn keine anderen Maßnahmen möglich sind, angewendet werden.

Abb. 6.26 Freihalten des Busfahrweges durch Schranken. (Foto: Verfasser)

6.3.3 Entwurf von Haltestellen von U-Bahnen, Stadtbahnen und beim Busverkehrssystem

6.3.3.1 Vorbemerkungen

Die Lage und die Anzahl der Haltestellen werden in engem Zusammenhang mit der Liniennetzplanung festgelegt. Die Lage wird örtlich bestimmt durch die vorhandene Aufsiedelung und die städtebauliche Situation in den einzelnen Stadtquartieren. Haltestellen sind sowohl Elemente des Fahrwegs als auch des Fahrbetriebs. Sie bilden die Nahtstelle zwischen den Nutzern der öffentlichen Verkehrsmittel und deren Betreibern. Insofern kommt der Zugänglichkeit der Haltestellen und deren Ausgestaltung eine besondere Bedeutung zu. Haltestellen können das Image des öffentlichen Verkehrsangebotes wesentlich beeinflussen. In den letzten Jahren hat die Forderung nach einer besseren städtebaulichen Integration zunehmend an Bedeutung gewonnen (Meyer, 1990).

6.3.3.2 Erreichbarkeit von Haltestellen

Die Reisegeschwindigkeit für die Fahrgäste wird einerseits durch die Zuwege zur Haltestelle, andererseits durch den Haltestellenabstand beeinflusst. Das ist bei der Festlegung der Haltestellen zu berücksichtigen. Bei Verkehrssystemen mit linienmäßiger Erschließung und hoher Leistungsfähigkeit wie bei U-Bahnen sind Haltestellenabstände von 750-1.000 m angemessen.

Als zumutbare Fußwegentfernungen zur Haltestelle von Stadtbahnen sind im innerstädtischen Bereich 400 m und in Außenbereichen bis zu 800 m bei der Planung zugrunde zu legen. Beim typischen Flächenverkehrsmittel Bus sollten Haltestellenabstände von 300-500 m gewählt werden.

In jedem Fall ist sicherzustellen, dass sich

die Einzugsbereiche benachbarter Haltestellen entlang einer Linie überschneiden, sofern eine geschlossene Bebauung vorhanden ist.

6.3.3.3 Haltestellen von unabhängigen Bahnen

In § 31 der BOStrab sowie in den Tunnelbaurichtlinien sind nähere Ausführungen zur Ausgestaltung von Haltestellen in unterirdischen Streckenabschnitten gemacht. Die Bahnsteiglänge bei U-Haltestellen errechnet sich nach der zukünftig größten Zuglänge. Die Bahnsteige sollen mit jeweils zwei Treppenanlagen erschlossen werden. Dabei soll die nutzbare Breite der festen Treppen 2 m nicht unterschreiten. Ab 4 m Höhenunterschied von der Oberfläche zur U-Haltestelle sind Fahrtreppen vorzusehen. Für eine behindertengerechte Erschließung der Haltestellen werden in der Regel heute Aufzüge eingebaut. Bei einer Anordnung von Rampen sollen diese keine größere Steigung als 6 Prozent haben.

U-Haltestellen werden sowohl mit Mittel- als auch mit Seitenbahnsteigen ausgeführt. Seitenbahnsteige ermöglichen eine geradlinige Trassierung der Gleisanlagen und eine fahrgastfreundliche Ein- und Ausfahrt der Züge ohne große Seitenbeschleunigung. Seitenbahnsteige machen jedoch eine doppelte Ausrüstung der Haltestellen mit Treppenanlagen und sonstigen Einbauten für die Fahrgäste notwendig. Mittelbahnsteige sind besonders für Haltestellen mit hohem Verkehrsaufkommen geeignet. Sie bieten den Fahrgästen eine bessere Orientierungsmöglichkeit als bei Seitenbahnsteigen. In besonderen Fällen kann auch eine Anordnung mit drei Bahnsteigen an zwei Gleisen zweckmäßig sein, um den Fahrgastfluss beim Haltestellenaufenthalt zu beschleunigen.

Die lichten Höhen in Bahnsteigsbereichen sind so zu gestalten, dass die Übersichtlichkeit gewahrt bleibt und die Unterbringung von Informations- und Betriebsmitteln möglich ist. Nach VDV (1991) soll die lichte Höhe über dem Bahnsteig 2,5 m nicht unterschreiten. Zur Verbesserung des Komforts und zur Erhöhung der Attraktivität der Haltestellen sollten neben Zugzielanzeigern Informationsvitrinen mit Hinweisen zum Netz, zur Linienführung, zum Tarif und zum Fahrplan, Fahrscheinautomaten sowie Sitzgelegenheiten dem Fahrgast zur Verfügung stehen. Die Anordnung dieser Fahrgasteinrichtungen muss so sein, dass ein reibungsloser Fahrgastfluss möglich ist.

Die Bahnsteighöhe in U-Haltestellen ist so zu wählen, dass zwischen Bahnsteig und Fahrzeugfußboden keine oder nur eine geringe Stufe bleibt. Die Bahnsteigoberfläche soll in jedem Betriebszustand nicht höher als der Fahrzeugfußboden liegen. Bei Haltestellen im Gleisbogen ist darauf zu achten, dass kein unzulässiger Abstand zwischen Fahrzeug und Bahnsteigkante entsteht.

Er darf im ungünstigsten Fall in der Mitte der Fahrgasttüren 0,25 m nicht überschreiten.

6.3.3.4 Stadtbahnhaltestellen im Straßenraum

Bei Stadtbahnhaltestellen im Straßenraum (siehe Abb. 6.27) ist eine gute städtebauliche lntegration sicherzustellen. Die Lage der Haltestelle wird deshalb auch mitbestimmt von dem vorhandenen Verkehrswegenetz. Kurze und vor allem sichere Zuwege erhöhen die verkehrliche Funktion der jeweiligen Haltestelle. Haltestellen sollen dabei von weitem gut erkennbar sein.

Stadtbahnhaltestellen im Straßenraum liegen in der Regel im Bereich von Verkehrsknotenpunkten. Sie können sowohl hinter als auch vor dem Knoten angeordnet sein. Bei der Haltestellenlage vor dem Knotenpunkt kann die Rotphase einer Lichtsignalanlage gleichzeitig zum Fahrgastwechsel genutzt werden. Wenn eine verkehrsabhängige Steuerung für die Stadtbahn gegeben ist oder eine Grüne Welle geschaltet wird, kann auch die Lage hinter der

Abb. 6.27 Stadtbahnhaltestelle im Straßenraum mit vorgezogenem Randstein. (Foto: Verfasser)

Kreuzung günstig sein. Ein sicherer Zugang zur Haltestelle ist durch lichtsignalgeregelte Überwege zu ermöglichen.

Haltestellen im Straßenraum sollen eine Haltestelleninsel erhalten, bei Anordnung der Haltestelle hinter der Kreuzung ist dies zwingend erforderlich (VDV, 1988/1).

Haltestellen ohne Inseln sind wegen des erschwerten Einstiegs ins Fahrzeug für ein modernes Verkehrssystem zu vermeiden. Sofern dies unumgänglich ist, sind zum besseren Schutz der Fahrgäste dynamische Haltestellen einzurichten. Durch ein vom Zug geschaltetes Lichtsignal wird der Autoverkehr am Zugende angehalten, die Fahrgäste können einen ungehinderten und sicheren Fahrgastwechsel vornehmen.

Haltestelleninseln sind entsprechend des Verkehrsaufkommens ausreichend zu dimensionieren. Entlang der Bahnsteigkante sollte eine Breite von mindestens 2,50 m vorhanden sein. Die Haltestelleninsel wird mindestens bis auf Gehsteighöhe angehoben, um das Ein- und Aussteigen zu erleichtern. Zum Schutz der Fahrgäste ist eine Abschrankung des Haltestellenbereichs gegenüber der Straßenfahrbahn in Form einer Spritzschutzwand anzuordnen. Haltestellenkennzeichnung, Wetterschutz, Sitzgelegenheit, ausreichende Beleuchtung, verkehrliche und tarifliche Informationen sowie gegebenenfalls ein Fahrscheinautomat gehören ebenso zum Standard von oberirdischen Stadtbahnhaltestellen.

Gegenseitig angepasste Einstiegsverhältnisse sind auch bei oberirdischen Haltestellen anzustreben. Eine wichtige Aufgabe der Stadtgestaltung ist deshalb die Integration von Hochbahnsteigen (siehe Abb.6.28) in das Stadtumfeld. Wie bei U-Haltestellen erlauben Hochbahnsteige an der Oberfläche einen zügigen und sicheren Fahrgastwechsel, der sich entscheidend auf die Haltestellenaufenthaltszeit auswirkt. Zeitersparnisse von bis zu 10 sec pro Haltestelle sind dabei möglich. Durch die Anordnung von Rampen zum Hochbahnsteig wird die Haltestelle behindertengerecht.

Bei der Gestaltung von Hochbahnsteigen ist Wert zu legen auf eine leichte Konstruktion der Aufbauten in freundlichen Farben oder mit Glas (siehe Abb. 6.29). Gestaltungsmöglichkeiten sind gegeben in der Form der Wartehalle, bei den Beleuchtungseinrichtungen, aber

Abb. 6.28 Niveaugleicher Einstieg über Hochbahnsteig. (Foto: Verfasser)

Abb. 6.29 Möblierung von Hochbahnsteigen. (Foto: Verfasser)

auch bei den Sitzgelegenheiten, Spritzschutzwänden und den betrieblichen Einrichtungen. Bei allem Gestaltungsaufwand sollte jedoch beachtet werden, dass ein einheitliches Erscheinungsbild des Verkehrsbetriebes erhalten bleibt und die Haltestellen gleich nutzbar sind.

Bei Bahnen mit neuartigen Niederflurfahrzeugen, deren Türaustritte 290 mm über der Schienenoberkante liegen, kann auf Hochbahnsteige verzichtet werden. Für einen schnellen Fahrgastwechsel sind Bahnsteighöhen bis 250 mm nötig (Siegloch, 1990).

6.3.3.5 Bushaltestellen im Straßenraum

Bei der Anordnung von Haltestellen im Straßenraum sind auch beim Bus betriebliche, fahrgastbezogene und örtliche Gesichtspunkte sowie gestalterische Aspekte zu berücksichtigen. Oft muss gerade beim Bus zwischen verschiedenen Forderungen abgewogen und ein Kompromiss bei der Standortfestlegung gefunden werden (VDV, 1988a), (FGSV, 1993).

Bushaltestellen werden im Allgemeinen in Seitenlage am Fahrbahnrand angeordnet. An Kreuzungen und Einmündungen ohne Lichtsignalanlagen werden Haltestellen in der Regel in Fahrtrichtung hinter dem Knotenpunkt angelegt (FGSV, 2003), (VDV, 1988a). Für die Fußgänger wird eine höhere Verkehrssicherheit beim Überqueren der Fahrbahn erreicht, da das Sichtfeld nicht durch haltende Busse beeinträchtigt wird. Die Anlage der Haltestellen hinter dem Knotenpunkt kann auch an signalisierten Kreuzungen von Vorteil sein, weil die während der Sperrzeiten verursachten Zeitlücken im Fahrzeugstrom für von der Haltestelle abfahrende Busse genutzt werden können.

Im Interesse der Erreichbarkeit bei starkem Umsteigeverkehr oder im Zuge koordinierter Lichtsignalsteuerungen kann es günstig sein, die Haltestelle vor dem Knotenpunkt vorzusehen. Auf die Sicherheit der Fahrgäste ist dann besonders zu achten.

Eine Haltestellenanordnung in der Knotenpunktzufahrt erfordert besondere Regelungen für die Ausfahrt der Busse. Eine zurückgesetzte Haltelinie für den Individualverkehr sowie ein Sondersignal ermöglichen eine zügige Abfahrt von der Haltestelle. So wird auch das gefahrlose Einfädeln in den Verkehrsstrom und ggf. die Abschirmung gegen rechtsabbiegende Fahrzeuge erreicht (spezielle ÖPNV-Vorlaufphase oder Busschleuse).

Bei einer Grünen Welle kann es vorteilhaft sein, die Haltestellen abwechselnd vor und hinter den Knotenpunkten anzulegen. An Fußgängerüberwegen sollen die Haltestellen grundsätzlich unter Beachtung der Sichtverhältnisse hinter diesen angelegt werden.

Ist eine Anordnung der Haltestelle außerhalb von Kreuzungen oder Fußgängerüberwegen geboten, so sind bei zweispurigen Straßen mit Gegenverkehr die beiden Bushaltestellen beider Fahrtrichtungen versetzt anzuordnen. Zwischen den Haltestellen ist nach EAÖ (FGSV, 2003) ein Mindestabstand von 30 m vorzusehen.

In den „Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ)“ (FGSV, 2003), in „Haltestellen für Busse und Straßenbahnen“ (VDV, 1988a) und den „Empfehlung für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen EAHV“ (FGSV, 1993) sind in Prinzipskizzen die möglichen Anordnungen von Haltestellen im Straßenraum dargestellt.

Bushaltestellen werden mit dem Haltestellenschild (Zeichen 224 StVO) gekennzeichnet. Das Parken ist je 15 m vor und hinter dem Haltestellenschild unzulässig. Zusätzlich sollte die Haltestelle mit der Fahrbahnmarkierung „BUS“ kenntlich gemacht werden. Mit der Grenzmarkierung (Zeichen 299 StVO) kann die vorgeschriebene Haltverbotszone verdeutlicht oder verlängert werden. Auch kann ein absolutes Haltverbot mit Zeichen 283 StVO sinnvoll sein.

Bushaltestelle am vorgezogenen Fahrbahnrand

Bushaltestellen (siehe Abb. 6.30) können sowohl am Fahrbahnrand angeordnet oder als Busbucht ausgebildet werden. In jüngster Zeit setzen sich zunehmend Haltestellenkaps durch, bei denen die Haltestelle an einem vorgezogenen Fahrbahnrand liegt.

Haltestellenkaps weisen viele Vorteile auf. Durch den zur Straßenmitte hin versetzten Bordstein kann der Bus geradlinig die Haltestelle anfahren, was insbesondere die Sicherheit für stehende Fahrgäste verbessert. Der

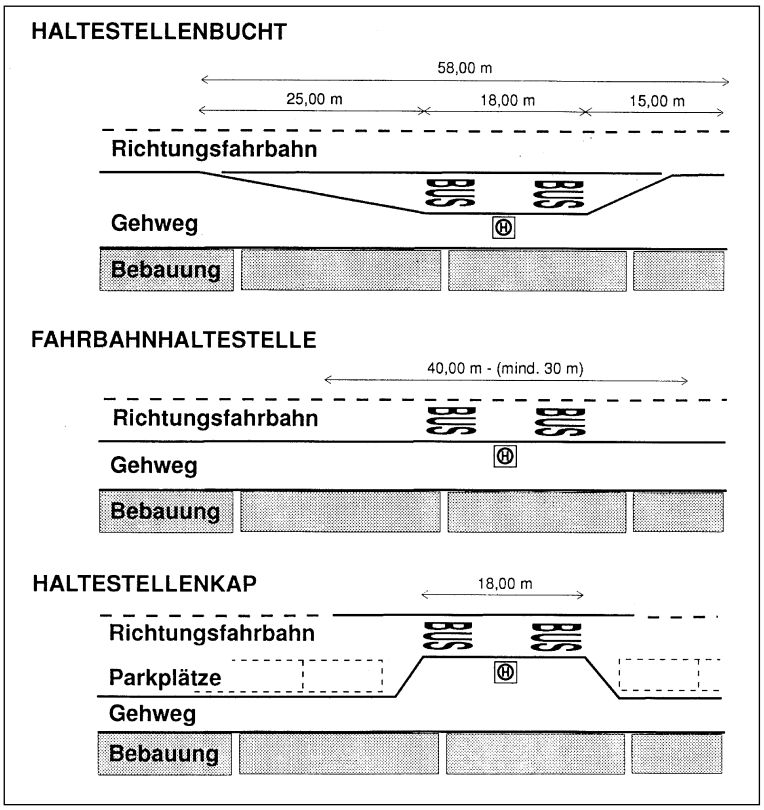


Abb. 6.30 Bushaltestellen – Haltestellenkaps. (Eigene Darstellung)

Bus kommt mit allen Türen direkt am Bordstein zum Stehen.

Durch die Anhebung der Wartefläche auf bis zu 18 cm ist ein sicherer und vor allem schneller Fahrgastwechsel möglich. Das Wiedereinfädeln in den fließenden Verkehr entfällt, von der Haltestelle kann zügig abgefahren werden. Die Länge der Haltestelle sollte beim Haltestellenkap gleich der Fahrzeuglänge sein.

Die besondere Form der Haltestelle erleichtert das Freihalten des Haltestellenbereichs von verbotswidrig parkenden Fahrzeugen. Dies wird verstärkt, wenn die Haltestellenkaps so weit vorgezogen sind, dass direkt vor und hinter der Haltestelle Parkstände angelegt werden können. Durch die große Tiefe der Wartefläche können Einrichtungen für Fahrgäste, insbesondere der Wetterschutz leichter untergebracht werden.

Voraussetzung für die Ausbildung einer Haltestelle als Buskap sind kurze Aufenthaltszeiten. Endhaltestellen oder Haltestellen, an denen planmäßig Anschlüsse abgewartet werden müssen, sind deshalb nicht geeignet. Ein Haltestellenkap sollte auch nicht in unmittelbarer Nähe zu einem vollsignalisierten Knotenpunkt liegen, da sonst die Gefahr der Überstauung besteht und erhebliche Störungen im Verkehrsablauf des Knotenpunktes auftreten können. An Haltestellenkaps sollte das Linksüberholen des Busses durch geeignete Maßnahmen verhindert werden.

Ausführungen von Haltestellenkaps zeigen, dass diese Haltestellenform allen bisherigen hinsichtlich der Verkehrssicherheit, des Betriebsablaufes und des behindertengerechten Zugangs überlegen ist. Befürchtungen, dass es durch die Anordnung von Haltestellenkaps und die durch den Bushalt bedingte kurzzeiti-

ge „Sperrung“ der Straße zum Zusammenbruch des Kfz-Verkehrs kommen würde, haben sich nicht bestätigt. Im Allgemeinen sind die Haltestellenaufenthaltszeiten an Haltestellenkaps geringer als an Busbuchten, da sich die Ein- und Ausstiegsverhältnisse verbessern und sich das An- und Abfahren der Busse erleichtert (Girnau, 1991), (Dittemer, 1990).

Haltestellen am Fahrbahnrand haben ähnliche Eigenschaften wie Haltestellenkaps. Sie werden jedoch oft von verbotswidrig abgestellten Fahrzeugen zugeparkt, was einen sicheren Busbetrieb erheblich beeinflusst. Auch kann das teilweise Einfädeln in den fließenden Verkehr zu Behinderungen für den Busverkehr führen.

In Knotenbereichen sollen Haltestellen am Fahrbahnrand 30 m vom Knotenpunkt entfernt angelegt sein, um eine Aufstellfläche für abbiegende Fahrzeuge und gute Sichtverhältnisse zu schaffen.

Busbuchten sind dann erforderlich, wenn längere Haltestellenaufenthaltszeiten zu erwarten sind. Dies ist besonders an Endpunkten und an Haltestellen mit starkem Fahrgastaufkommen gegeben.

Busbuchten ermöglichen auch einen Haltestellenstandort direkt hinter oder vor signalgeregelten Knotenpunkten. Im Gegensatz zu den anderen Haltestellen haben Busbuchten einen großen Flächenbedarf. Die S-förmige Fahrkurve beim Ein- und Ausfahren ist für die Fahrgäste im Fahrzeug fahrdynamisch ungünstig. Das Wiedereinfädeln in den fließenden Verkehr stellt ein potentielles Unfallrisiko dar und ist oftmals mit Wartezeiten verbunden. Haltestellenkaps sowie Haltestellen am Fahrbahnrand ist deshalb der Vorzug vor Haltestellen mit Busbuchten zu geben.

Bemessung von Bushaltestellen

Bei der Bemessung von Haltestellen müssen vor allem betriebliche, verkehrliche und fahrgeometrische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Neben der gewählten Haltestellenform sind das prognostizierte Fahrgastaufkommen sowie die Anzahl und Art der gleichzeitig haltenden Busse für den Flächenbedarf maßgebend. Durch die richtige Haltestellengestaltung muss auch ein möglichst zügiges An- und Abfahren und ein paralleler Bushalt an der Bordsteinkante erreicht werden. Wartende Fahrgäste dürfen nicht durch ausschwenkende Fahrzeugüberhänge gefährdet werden. Bei Gelenkzügen muss der Fahrer eine ausreichende Sicht auf alle Türen haben.

Im Gegensatz zum Haltestellenkap benötigt man für den Halt am Fahrbahnrand eine wesentlich größere Länge. In den Vorschriften sind unterschiedliche Empfehlungen angegeben. So wird in den EAÖ (FGSV, 2003) für den Normalbus 40 m Haltestellenlänge angesetzt, während sie in „Haltestellen für Busse und Straßenbahnen“ (VDV, 1988a) mit 50 m für den Normalbus bzw. 56 m für den Gelenkzug angegeben sind. In den EAE (FGSV, 1985/95) wird zur Buslänge ein Zuschlag von 20 m empfohlen. In den EAÖ (FGSV, 2003) sind entsprechende Angaben auch für die Busbucht gemacht. Hier werden beim Gelenkzug Längenentwicklungen bis 66,80 m notwendig. In EAE (FGSV, 1985/95) sind für die Längenentwicklung von Busbuchten an Hauptsammelstraßen 62,70 m für Gelenkzüge ausreichend. Für die Breite des Bushalteplatzes wird 3 m empfohlen.

Bushaltestellen als Buskap lassen einen mit 18 cm erhöhten Randstein zu. Wenn Warteflächen durch ein- und ausfahrende Busse überstrichen werden, muss die Bordsteinhöhe auf 16 cm begrenzt werden. Bei Spurführung der Busse sind Haltestellen mit 30 cm Bahnsteighöhe möglich.

6.3.3.6 Verknüpfungspunkte öffentlicher Verkehrsmittel

In vielen Ballungsräumen wird heute entsprechend der Verkehrsnachfrage eine abgestufte Verkehrsbedienung vorgenommen. Durch den Einsatz verschiedener Verkehrssysteme müssen besondere Verknüpfungspunkte geplant werden. Der Fahrgast muss beim Umsteigen an solchen Anlagen Fußwege und Wartezeiten in Kauf nehmen. Die Art der Verknüpfung der verschiedenen Verkehrsmittel ist deshalb mitbestimmend für die Qualität des Verkehrsangebotes. Das gilt auch für die Umsteigehaltestellen innerhalb eines Verkehrssystems.

Verknüpfungspunkte müssen kurze Umsteigewege aufweisen. Weglängen von über 200 m werden vom Fahrgast als zu lang empfunden. In „Verkehrliche Gestaltung von Verknüpfungspunkten öffentlicher Verkehrsmittel“ (VDV, 1981) werden deshalb bei Anlagen im Oberflächenverkehr Umsteigewege unter 50 m empfohlen. Beim Umsteigen an Schnellbahnhaltestellen lassen sich diese Grenzwerte meist nicht einhalten. Mit Hilfe von Fahrsteigen und vor allem Fahrtreppen lassen sich die Umsteigewege attraktiver gestalten.

Um auch die Umsteigezeiten kurz zu halten, ist eine gute Orientierung und Begreifbarkeit der einzelnen Umsteigebereiche notwendig. Die Fahrgastinformation muss systematisch und umfassend gestaltet sein und soll vom Fahrgast schnell erkannt und für ihn gut lesbar sein.

Aktuelle Lautsprecherdurchsagen können die optische Information unterstützen. Ausreichende Beleuchtung und ansprechende Form- und Farbgebung der Umsteigeanlage verbessern die Situation für die wartenden Fahrgäste. In jedem Fall ist ein angemessener Wetterschutz bei Umsteigeanlagen notwendig.

Entscheidend für die Akzeptanz einer Umsteigebeziehung ist auch die fahrplanmäßige Anschlusssicherung. Unter Einbeziehung moderner Betriebssteuerungssysteme können kurze Anschlussbeziehungen mit kurzen Umsteigezeiten geplant und gesichert werden. Dem Fahrgast kann dabei angezeigt werden, wie viel Zeit ihm noch zum Umsteigen auf das Anschlussverkehrsmittel zur Verfügung steht. Dem Fahrer des Anschlussverkehrsmittels kann bei Verspätung des Zubringers eine Wartezeit signalisiert werden.

In den EAHV (FGSV, 1993) sind verschiedene Grundformen der Verknüpfung für endende, sich kreuzende oder berührende Linien dargestellt. Anhand zahlreicher Beispiele werden Lösungen für Verknüpfungspunkte an der Oberfläche der verschiedenen Grundformen für Haltestellen mit Haltepunkten in der gleichen Ebene, aber auch in unterschiedlichen Ebenen aufgezeigt. In den EAHV (FGSV, 1993) sind auch die Berechnungsformeln und -hinweise für Bahnsteige, feste Treppen, Rampen, Fahrsteige, Fahrtreppen und Aufzüge enthalten. Für Bushaltestellen sind auch Planungshinweise gegeben, wenn mehrere Busse gleichzeitig eine Haltestelle benutzen müssen, insbesondere beim Aufstellen parallel zur Fahrbahnkante und bei sägeförmiger Aufstellung am Bussteig. In „Verknüpfung von Nahverkehrssystemen“ (Girnau u. Blennemann, 1970) sind nähere Ausführungen zu Verknüpfungspunkten unterirdischer Systeme gemacht.

6.3.4 Barrierefreiheit im öffentlichen Raum

6.3.4.1 Vorbemerkungen

Mobilität gehört zu den Grundbedürfnissen der Menschen. Die Verbesserung der Mobilitätschancen aller Menschen, einschließlich mobilitätseingeschränkter Personen, mittels öffentlicher Verkehrsmittel ist in Deutschland als bedeutsames gesellschaftspolitisches Ziel erkannt und anerkannt. Das ist der Hintergrund für das am 1. Mai 2002 in Kraft getrete-

ne Behindertengleichstellungsgesetz (BGG), das im rechtlichen Rahmen Barrierefreiheit definiert und die Rechte mobilitätsbehinderter Menschen stärkt.

Um die Umsetzung und Verbreitung behindertenfreundlicher Anlagen und Fahrzeuge zu beschleunigen, haben Bund und Länder insbesondere mit Mitteln des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (GVFG) und des Regionalisierungsgesetzes eine Finanzierungsregelung und Förderpraxis geschaffen. Von den Zuschussgebern werden Neubeschaffungen und -bauten in der Regel nur noch finanziert, wenn sie den Kriterien der Barrierefreiheit entsprechen.

Das Ziel der Barrierefreiheit lässt sich in wenigen Jahren nicht vollständig erreichen. Dies hängt insbesondere mit der Lebensdauer vorhandener, seinerzeit noch nicht barrierefrei konzipierter Infrastruktureinrichtungen, zusammen. Dennoch sollte auch eine nachträgliche Anpassung in Abhängigkeit der technischen und finanziellen Möglichkeiten schrittweise realisiert werden.

Die barrierefreie Gestaltung von Anlagen und Fahrzeugen ist nicht nur ein wichtiges Nutzungs-Kriterium für Mobilitätsbehinderte, sondern sie steigert ganz generell für alle Kundengruppen die Attraktivität und Qualität des öffentlichen Personennahverkehrs.

Zu den Personen die als mobilitätseingeschränkt anzusehen sind, gehören Menschen mit sehr verschiedenen Fähigkeiten und unterschiedlichen Schwierigkeiten bei der Benutzung öffentlicher Verkehrsanlagen und Verkehrsmittel.

Als mobilitätseingeschränkt gelten Personen, die wegen dauernder Beeinträchtigung oder akuter Erkrankung – *Blinde/Sehbehinderte, Gehörlose/Hörbehinderte, Rollstuhlbenutzer, Gehbehinderte, Greifbehinderte, Geistigbehinderte, Orientierungsbeeinträchtigte, ältere Menschen, Kleinwüchsige/Kinder* – und wegen temporärer Behinderungen oder in bestimmten Situationen – *mit Gepäck, Kinderwagen, Verletzungen* – in ihrer Mobilität eingeschränkt sind.

Die Anforderungen dieser unterschiedlichen Personengruppen an die Gestaltung von Anlagen und Fahrzeuge stimmen in vielen wesentlichen Punkten überein. Zum Teil ergeben sich aber auch gegensätzliche Anforderungen, die zu Zielkonflikte führen können.

6.3.4.2 Rechtlicher Rahmen

Bund, Länder und Kommunen haben in einschlägigen gesetzlichen Regelungen und Richtlinien die Rechte mobilitätseingeschränkter Menschen festgeschrieben:

- Grundgesetz Artikel 3 Abs. 3 – Benachteiligungsverbot
- Sozialgesetzbuch IX – Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen
- Bürgerliches Gesetzbuch – Antidiskriminierungs-Gesetz (Entwurf)
- Behindertengleichstellungsgesetz – Selbstbestimmung und Gleichberechtigung Behinderter

Konkretisiert werden die Rechte behinderter Menschen durch das Behindertengleichstellungsgesetz (BGG). Das Bundesgesetz richtet sich gegen die Benachteiligung von Behinderten und fördert den Integrationsgedanken. Das BGG verankert die Forderung behinderter Menschen nach gleichberechtigter Teilhabe an allen Lebensbereichen und selbstbestimmter Lebensführung nachdrücklich ohne fremde Hilfe. Als Folgerung hieraus ergibt sich die Zielvorgabe nach der barrierefreien Gestaltung der Lebensbereiche.

Das BGG sieht folgende bundesgesetzliche Regelung zur Herstellung der Barrierefreiheit im Bereich ÖPNV – sowie Anlagen wie Fahrzeuge – vor:

Artikel 1 § 4: Barrierefreiheit (Definition)

Artikel 1 § 5: Zielvereinbarungen (Festlegung von Mindestbedingungen unter Angabe eines Zeitplans)

Artikel 1 § 8: Barrierefreiheit im Bereich Bau und Verkehr (Maßgaben für neue Vorhaben)
Artikel 1 § 13: Verbandsklagerecht (Klagerecht gegen Verstöße)
Artikel 49: Änderung des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (Bedingung für Förderung)
Artikel 51: Änderung des Personenbeförderungsgesetzes (Aussage über erforderliche Maßnahmen und Zeitplan; Nahverkehrsplan)
Artikel 52 § 2: Änderung der Eisenbahn-, Bau- und Betriebsordnung (Verpflichtung zur Aufstellung von Programmen zur Gestaltung von Anlagen und Fahrzeugen)
Artikel 52 a: Änderung der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Anforderungen an Betriebsanlagen und Fahrzeuge)

Um die Belange behinderter Menschen im Sinne der Herstellung der Barrierefreiheit wirksamer als bisher zu berücksichtigen, wird die Förderung von Maßnahmen nach dem GVFG an die Bedingung der Beteiligung entsprechender Behindertenbeauftragter/Behindertenbeiräte bei der Vorhabenplanung geknüpft. Ein Anhörungsrecht wurde verbindlich eingeführt.

Bei frühzeitiger Beteiligung können Hauptprobleme und Defizite schneller erkannt und Planungsmängel vermieden werden, deren nachträgliche Behebung – soweit überhaupt möglich – meist mit hohen Kosten verbunden ist.

Die Standards der Barrierefreiheit werden spezifisch für die einzelnen Regelungsbereiche teils durch DIN-Normen, teils durch allgemeine technische Standards und teils über Programme, Pläne und Zielvereinbarungen festgelegt.

Kompromisse können z.B. wegen der Topographie oder der technische Machbarkeit sowie aus Gründen der wirtschaftlichen Verhältnismäßigkeit notwendig werden. Allerdings müssen diese Gründe hierfür geprüft und mit den Behindertengremien abgestimmt sein.

Gemäß der föderalen Struktur der Bundesrepublik Deutschland liegt die Zuständigkeit in weiten Bereichen von Bau und Verkehr in den Bundesländern. Die Bundesländer sind in ihren Landesnahverkehrsgesetzen, Landesbauordnungen sowie mit dem Landes-Behindertengleichstellungsgesetzen ebenfalls auf die Belange mobilitätseingeschränkter Menschen eingegangen.

Für die bauliche Umsetzung gelten spezielle DIN-Normen für die Herstellung von Barrierefreiheit. Von besonderer Bedeutung ist hierbei:

– DIN 18024 Teil 1: Barrierefreies Bauen – Straßen, Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze
– DIN 18024 Teil 2: Barrierefreies Bauen – Öffentlich zugängliche Gebäude und Arbeitsstätten
– DIN 18030: Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen (Entwurf)

6.3.4.3 Die geschlossene Mobilitätskette

Bei der Betrachtung einer Reise aus Sicht der Verkehrsteilnehmer wird erkennbar, dass es nicht ausreicht, einzelne Verkehrsmittel und Verkehrsanlagen fahrgastfreundlich und behindertengerecht zu gestalten. Der ÖPNV muss als komplexes System begriffen werden. Damit das jeweilige Reiseziel ohne besondere Erschwernisse erreichbar wird, sollten barrierefreie Mobilitätsketten gebildet werden.

Jede Mobilitätskette wird begleitet von einer *Informationskette*. Vor Beginn der Reise und während des gesamten Reiseverlaufs, z.B. an den wichtigen Punkten der Reise, müssen die relevanten Informationen wie Fahrplanzeiten, Fahrpreise, Tarife jeweils aktuell und verständlich – wichtige Informationen möglichst akustisch, optisch oder taktil – verfügbar sein.

Zur Vorbereitung jeder Reise ist ein bedarfsgerechtes Informationsangebot (z.B. Fahrplanbuch, Internet, Servicenummern) unerlässlich.

Der *Weg zur Haltestelle* sollte speziell für Mobilitätsbehinderte nicht zu weit sein. Die Wegweisung zur Haltestelle, aber auch die Haltestellen- und Namensbeschilderung muss leicht und deutlich erkennbar und einheitlich gestaltet sein.

Zu den *Haltestellen* und sämtlichen Bahnsteigen muss mindestens ein barrierefreier Zugang vorhanden sein. Ein Informations- und Wegeleitsystem ist bei größeren Anlagen zur leichteren Orientierung erforderlich. Geeignete Informationseinrichtungen (Fahrplan) und Aufenthaltsbedingungen (Sitzgelegenheit, Wetterschutz) sind zweckmäßig.

Die Beschilderung oder die Markierung der *Fahrzeughalte- und Türposition* auf dem Bahnsteig ist vorteilhaft. Diese Maßnahmen dienen auch den Fahrgastwechselzeiten.

Der *Aus- und Einstieg* ins Fahrzeug sollte so gestaltet werden, dass nur eine geringe Reststufe und ein schmaler Restspalt verbleiben.

Ein wichtiges Kriterium für den öffentlichen Nahverkehr ist, dass die *Fahrt* vom Kunden als angenehm empfunden wird. Neben ruhiger Fahrweise gewinnt der Wunsch nach einem bequemen Sitzplatz – für Behinderte in der Nähe der Tür – an Bedeutung. Für Rollstühle und Kinderwagen sind ausreichend bemessene und bedarfsgerecht gestaltete Plätze (Mehrzweckplätze) im Fahrzeug wichtig. Akustische und optische Haltestelleninformationen sind erforderlich.

Für die *Umsteige- oder Zielhaltestelle* gelten die Ausführungen wie beim Einstieg. Wichtig sind hier kurze Umsteigewege und ein zielführendes Orientierungs- und Informationssystem.

6.3.4.4 Haltestellen, Zugangswege und Fahrzeuge

Als wichtiger Grundsatz für die Konzeption muss gelten, dass den Bedürfnissen aller Fahrgäste möglichst Rechnung getragen wird.

Zugangswege

Jeder Bahnsteig muss über mindestens einen barrierefreien Zugangsweg zu erreichen sein. Hierbei ist auf eine Durchgangsbreite von mindestens 0,90 m zu achten. Hindernisse, z.B. durch Bordsteinkanten oder einen unebenen Bodenbelag (Kopfsteinpflaster) sind zu vermeiden.

Vorspringende oder freistehende Einbauten stellen für Blinde und Sehbehinderte eine Gefahrenquelle dar. Ein Blindenleitsystem oder ein tastbarer Sockel dient der Orientierung für Sehbehinderte mit Blindenstock.

Die Bahnsteige müssen für Gehbehinderte ebenerdig erreichbar sein. Ist dies nicht möglich, kann eine Erschließung über eine Rampe erfolgen, deren Längsneigung allerdings 6 Prozent nicht übersteigen darf. Die 1,20 m breite Rampe darf maximal eine Länge von 6,00 m besitzen, danach ist ein Zwischenpodest von 1,20 bis 1,50 m Länge, mit einer maximalen Querneigung von 1,50 bis 2,50 Prozent erforderlich.

Alternativ ist auch eine Erschließung mit Aufzügen – besonders bei tiefgelegenen Haltestellen – möglich. Allerdings haben Aufzüge den Nachteil, dass sie besonders durch Vandalismusschäden störungsanfällig sind und eine regelmäßige Wartung notwendig ist. Bei den Aufzügen sollte es sich um so genannte Durchlader (gegenüberliegende Türen) handeln. Die Kabine ist mit einer Größe von mindestens 1,10 m x 1,40 m transparent zu gestalten. Die Breite der Türen sollte mindestens 0,90 m betragen. Die Anforderungsknöpfe müssen auch in einer Bedienhöhe von 0,85 m angebracht sein, möglichst kontrastreich und taktil erkennbar.

Haltestellen/Bahnsteige

Der Abstand zwischen Bahnsteigkante und Einbauten sollte gemäß BOStrab eine Mindestnutzbreite von 2,00 m, bei Haltestellen im Verkehrsraum öffentlicher Straßen ein Maß von 1,50 m haben. Empfohlen wird eine Breite von 2,50 m. Der Kopffreiraum sollte mindestens 2,30 m betragen.

Bauliche Hindernisse sind kontrastreich zu markieren. Eine gleichmäßige und blendfreie Beleuchtung ist vorteilhaft. Die Haltestellen sollten über einen Witterungsschutz, Sitzgelegenheiten und Informationsanlagen (akustisch und optisch) verfügen. Hell markierte Warn-/Orientierungsstreifen lassen die Bahnsteigkante erkennen. Der Bodenbelag muss rutschfest sein. Im Belag eingelassen sind Leitstreifen/Bodenindikatoren für Sehbehinderte notwendig. Die Indikatoren müssen sich farblich kontrastreich von der Umgebung abheben und sollen nach der DIN 32984 eine sinuskurvenförmige Rillen-Profilierung aufweisen . So genannte Aufmerksamkeitsfelder dienen als Warn- oder Orientierungspunkte, so beispielsweise für die Halteposition/Türbereiche der Fahrzeuge, vor Treppen oder vor Überwegen.

Die Reststufe und Spaltbreite zwischen Bahnsteig und Fahrzeug sollte im Idealfall zwischen 0 mm und 50 mm betragen. Unter Erschwernissen sind aber auch Maße von 50 mm und 100 mm noch vertretbar.

Fahrzeuge

Ein möglichst niveaugleicher Aus- und Einstieg ist anzustreben. Sollte ein weitgehend stufenloser Zugang zum Fahrzeug nicht möglich sein, kann eine fahrzeuggebundene Einstiegshilfe zur Überbrückung eingesetzt werden. Möglich sind manuell zu betätigende Klapprampen, automatische Rampen oder Hublifte. Eine weitere Möglichkeit besteht im seitlichen Absenken des Fahrzeugaufbaus (Kneeling) bei Niederflurbussen.

Türdrücker müssen kontrastreich gestaltet sein und für Rollstuhlfahrer auch eine Bedienhöhe von 0,85 m besitzen. Die Türen sollten über eine hindernisfreie Durchgangsbreite von 0,90 m verfügen. Mehrzweckplätze in Türnähe mit einer Größe von 1,50 m x 1,50 m dienen als Stellplatz für Kinderwagen und Rollstühle. Aufstellvorrichtungen (Anlehnplatte) für Rollstühle sind entgegen der Fahrtrichtung anzubringen.

Anforderungstaster oder Haltemöglichkeiten sind in einer Höhe von 0,85 m vorzusehen. Sitzplätze für Behinderte mit entsprechender Kennzeichnung müssen sich in Nähe der Türen befinden. Der Bodenbelag muss rutschfest sein. Der Fahrzeuginnenraum (Haltestangen, Taster) soll kontrastreich gestaltet sein und über eine gute Beleuchtung verfügen. Akustische und optische Informationseinrichtungen für Haltestellen-, Linien-, Umsteige- und Zielinformationen sind erforderlich.

Literatur

Baier u. Hartlich (1989): Belange des ÖPNV bei der Planung und Anlage verkehrsberuhigter Zonen-II. Nahverkehrsforschung, Statusseminar XVI

Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahn und Eisenbahnen (1990): Sicherheitsräume, Sicherheitsabstände und Verkehrswege bei Straßenbahnen

Blennemann, F. (1975): U-Bahnen und Stadtbahnen in Deutschland: Planung, Bau, Betrieb, Alba Buchverlag, Düsseldorf

Bonz, M. (1983): Gestaltung des Fahrweges der Stadtbahn im Straßenraum. Internationaler Ausschuß für Stadtbahnen der UITP, Kongressbericht

Bonz, M.; Lohrmann, K.-D.; Schaffer, H. (1989): Kriterien für die Wahl von Stadtbahnsystemen. Bericht 7 zum 48. Internationalen Kongress, Budapest, der UITP, Brüssel

Bonz, M.; Schmid, C. (1980): Untersuchung des Flächenbedarfs von Bussen in der Kurvenfahrt und an Haltestellen. Straßenverkehrstechnik

Bundesminister für Verkehr (1988): Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs

Chazelas, E. u. Schilling, K. (1989): LSA-Beeinflussung zur Busbeschleunigung. Der Nahverkehr 5/89

Cypra, T. (1988): Verkehrsberuhigung und öffentlicher Personennahverkehr – Erste Erfahrungen des Modellversuchs in Mainz-Bretzheim. Der Nahverkehr 5/88

de Graaff, K.; Nickel, B.G.; Zehetner, S.-R. (1988): Erfahrungen mit Rasengleis. Der Nahverker 5/88

Dittemer, T. (1990) Haltestellenkap für Bus und Straßenbahn. Der Nahverkehr 4/90

Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), 1967

Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) und Verband öffentlicher Verkehrsbetriebe (VDV) (1990): Öffentlicher Personennahverkehr und Verkehrsberuhigung

Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:

– FGSV (1990): Arbeitsgruppe für Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Richtlinien für Lichtsignalanlagen RiLSA Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr 5/90
– FGSV (1993): Empfehlung für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen EAHV
– FGSV (1985/95): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen, EAE 85/95
– FGSV (1995): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Linienführung (RAS-L)
– FGSV (1999): Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen
– FGSV (2001): Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen
– FGSV (2003): Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ)

Girnau, G. (1991): Das Niederflur-Verkehrskonzept. Der Nahverkehr 1; S. 35-42

Girnau, G. u. Blennemann, F. (1970): Verknüpfung von Nahverkehrssystemen. Alba Buchverlag, Düsseldorf

Habermayer, R. (1986): Straßenraum und Stadtbahn. Landeshauptstadt Hannover

Meyer, W. (1990): Städtebauliche Integration von Haltestellen in Oberflächenverkehr. Der Nahverkehr 4/90

Nöske, J. (1983): Busspur mit Fahrstreifensignalisierung und Wechselverkehrszeichen. Verkehr und Technik 2/83

Personenbeförderungsgesetz (PBefG) (1961): BGB1.III 9240-1

Schnüll, R. u. Straube, E. (1988): Eignung von Bahnkörpern in ausgebauten Hauptverkehrsstraßen. Der Nahverkehr 5/88

Siegloch, W. (1990): Vom Niederflurfahrzeug zum Niederflursystem. Der Nahverkehr 2/90

Straßenverkehrsordnung (StVO) mit allgemeiner Verwaltungsvorschrift (VwV-StVO) BGB1.III 9233-1

Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) BGB1.III 9232-1

Stuttgarter Straßenbahnen AG (1984): Verlustzeiten im Schienenverkehr (nicht veröffentlicht)

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) (Hrsg.):

– VDV (1981): Verkehrliche Gestaltung von Verknüpfungspunkten öffentlicher Verkehrsmittel
– VDV (1984): Oberbau-Richtlinien (OR) mit Oberbau-Zusatzrichtlinien (OR Z)
– VDV (1985): Fahrgastinformation im Straßen- und Busbetrieb
– VDV (1988a): Haltestellen für Busse und Straßenbahnen. Anordnung, Gestaltung, Bemessung und Ausstattung
– VDV (1988b): Fahrgastinformation im Schnellbahnbetrieb
– VDV (1991): Richtlinien für den Bau von Tunneln nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab). BOStrab-Tunnelbaurichtlinien
– VDV (1993): Richtlinien für die Trassierung von Bahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen (BOStrab). BO-Strab-Trassierungsrichtlinien
– VDV (1995): Busse und Bahnen: Mobilität für Menschen und Güter, Alba Buchverlag, Düsseldorf
– VDV (1997): Zukunftsfähige Mobilität, Alba Buchverlag, Düsseldorf
– VDV (1999): Linienbusse, Alba Buchverlag, Düsseldorf
– VDV (2000): Stadtbahnen in Deutschland, Alba Buchverlag, Düsseldorf
– VDV (2001): Telematik im ÖPNV in Deutschland, Alba Buchverlag, Düsseldorf
– VDV (2003): Barrierefreier ÖPNV in Deutschland, Alba Buchverlag, Düsseldorf

VDV-Planungsausschuss: Linienoptimierung (1992)
Verband öffentlicher Verkehrsbetriebe (1987): Forschung im öffentlichen Personennahverkehr – Forschung für Menschen. Alba Buchverlag, Düsseldorf
Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung – BOStrab) (1987)
Wewers, B. (1990): Tempo 30 und ÖPNV. Verkehr und Technik 1/90

Weiterführende Literatur

Hamann, R.R. (1985): Fußgängersicherheit an Haltestellen. Bericht zum Forschungsprojekt 8041 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. Bergisch Gladbach
Hüttmann, R. (1979): Planungsmodell zur Entwicklung von Nahverkehrsnetzen liniengebundener Verkehrsmittel. Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswissenschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover 1
Keudel, W. u. Kirchhoff, P. (1985): Rechnergestützte Liniennetzbildung und Angebotsbemessung durch DIANA. Der Nahverkehr 1, S. 50-55
Mott, P. (1987): Interaktive Liniennetz- und Angebotsplanung für den ÖPNV. Tagungsbericht Heureka, S. 417-429
Müller-Hellmann, A. (1990): Europäische Firmen präsentieren Niederflur-Bahnfahrzeug- Konzepte. Der Nahverkehr 6, S. 17-24
Niemann, K. (1983): Vom handgelenkten Linienbus zum vollautomatischen Großraumzug. Verkehr und Technik 9/83
Simonis, C. (1981): Optimierung von Omnibuslinien. Berichte „Stadt, Region, Land“ der RWTH Aachen B 26
Sonntag, H. (1979): Ein heuristisches Verfahren zum Entwurf nachfrageorientierter Linienführung im öffentlichen Personennahverkehr. Zeitschrift für Operations Research B 23, S. 11-31
Sparmann, U. (1982): Linienplanung im öffentlichen Personennahverkehr. Verkehr und Technik, S. 77-82
Teubner, W. u. Wayte, A. (1987): Zukunftsperspektiven für Spurbusse und Omnibusbahnen. Eisenbahntechnische Rundschau 3/87
UITP/VÖV: Wörterbuch Nahverkehr (1981) Alba Buchverlag, Düsseldorf
Wewers, B. (1988): Der Busbetrieb in geschwindigkeitsbeschränkten Zonen. Der Nahverkehr 3/88
Wörner, W. (1980): Die Verkehrsmittel und ihre Leistungsfähigkeit. In: Handbuch für den öffentlichen Personennahverkehr hrsg. v. G. Groche, E. Thiemer, Elsner Verlag

7 Rad- und Fußgängerverkehr

7.1 Radverkehr

7.1.1 Ziele und Anforderungen

Einrichtungen für den Radverkehr sollen das Radfahren flächendeckend sicher und attraktiv machen. Hierzu sind

- die Quellen und Ziele des Radverkehrs in ein zusammenhängendes Netz mit möglichst direkten Verbindungen einzupassen,
- die Führungselemente des Radverkehrs in den Strecken und Knoten so anzulegen, dass sie die Verkehrsicherheit von Radfahrern und anderen Verkehrsteilnehmern gewährleisten und eine zügige und komfortable Befahrbarkeit ermöglichen sowie
- die begleitenden Infrastruktureinrichtungen so auszugestalten, dass sie bequem nutzbar sind.

Ein engmaschiges und geschlossenes Radverkehrsnetz mit entsprechender Verknüpfung und Ausgestaltung der einzelnen Netzelemente bietet eine wesentliche Voraussetzung für eine anspruchsgerechte Verkehrsteilnahme durch Radfahrer.

7.1.1.1 Radverkehrsnetz

Ein kommunales Radverkehrsnetz in anspruchsgerechter Ausgestaltung wird – verknüpft mit dem überörtlichen Netz – gebildet durch ein System stadtweit miteinander verbundener hochwertiger Hauptverbindungen, die durch eine spezielle Wegweisung eine leichte Orientierung auch für Ortsfremde gewährleisten. Die Maschenweite dieses Hauptnetzes beträgt etwa 500 bis 1.000 m. Eingebettet in dieses Netz der Hauptverbindungen wird das Stadtquartiersnetz mit einer Maschenweite von 200 bis 500 m. Die unterste Hierarchiestufe bildet das Ergänzungsnetz, in das alle Straßen- und Wegeverbindungen von Wohnhäusern oder anderen Quellen und Zielen zu den übergeordneten Netzen eingebunden sind.

Das Radverkehrsnetz innerhalb von Städten und Gemeinden umfasst hiermit grundsätzlich mindestens die angebauten Straßen und Wege. Dieses Grundnetz ist durch möglichst zahlreiche selbständige Verbindungen (Wege, durchlässige Stichstraßen, zusätzliche Über- und Unterführungen) zu verdichten.

Anzustreben ist eine größtmögliche Netzdurchlässigkeit für den Radverkehr, die dem Radverkehr ein schnelles Fortkommen und bei kürzeren Distanzen Reisezeitvorteile gegenüber dem Kraftfahrzeugverkehr verspricht. Die Nichteinbeziehung von Radfahrern in Abbiegegebote oder die Öffnung von Einbahnstraßen für den gegengerichteten Radverkehr sind zwei der zahlreichen Möglichkeiten zur Herstellung einer möglichst hohen Netzdurchlässigkeit.

Die Planung von Radverkehrsnetzen liefert auf der Grundlage einer Analyse der bestehenden Verhältnisse eine wichtige Voraussetzung für die Ableitung der erforderlichen Maßnahmen und für die Festlegung der Dringlichkeiten.

7.1.1.2 Infrastruktur

Bei der Ausgestaltung von Verkehrsanlagen sind die beiden Komponenten Verkehrssicherheit und Attraktivität als Einheit zu betrachten. Formal sichere, jedoch wenig attraktive Radverkehrsführungen werden oft nur unzureichend angenommen und bewirken durch das regelabweichende Verhalten der Radfahrer (z.B. Rotlichtmissachtung) eine erhöhte Gefährdung. Unvertretbar sind aber auch Führungen, die ein subjektives Sicherheitsgefühl sug-

gerieren und von den Radfahrern angenommen werden, die objektiv aber unsicher sind.

Infrastrukturplanungen für den Radverkehr haben sich an den Nutzungsanforderungen der unterschiedlichen Radfahrergruppen zu orientieren. Den verkehrsgewandten Radfahrern sollten nach Möglichkeit Radverkehrsführungen angeboten werden, die ein schnelles Fortkommen ermöglichen. Gleichzeitig ist für eine sichere Verkehrsteilnahme von ungeübten Radfahrern, älteren Menschen und von Kindern zu sorgen, die Gefahrensituationen oft nicht hinreichend erkennen und bewältigen können.

Eine nachhaltige Sicherung und Förderung des Radverkehrs kann nur gelingen, wenn die Radfahrer auch in den Problembereichen anspruchsgerecht geführt werden. Es sind dies insbesondere die Bereiche mit einem höheren Nutzungsdruck, stark eingeschränkter Flächenverfügbarkeit und/oder einem erhöhten Gefährdungspotenzial, wie es z.B. an stärker belasteten Knotenpunkten gegeben ist.

7.1.2 Übersicht über das Maßnahmenspektrum

Zur Führung des Radverkehrs steht ein breit gefächertes Maßnahmenspektrum zur Verfügung, das im Hinblick auf eine sichere und attraktive Radverkehrsführung situationsbezogen einzusetzen ist. Nachfolgend werden in strecken- und knotenbezogener Differenzierung die wesentlichen Führungsformen des Radverkehrs benannt und in ihren Einsatzbedingungen beschrieben.

7.1.2.1 Streckenführung des Radverkehrs

Der Großteil der innerörtlichen Radverkehrsführungen wird straßenbegleitend angelegt. Für den Bereich der Hauptverkehrsstraßen ist hierbei zwischen der Fahrbahnführung und der Seitenraumführung des Radverkehrs zu unterscheiden. Im Rahmen von Führungen mit Wahlmöglichkeit durch die Radfahrer oder asymmetrischen Aufteilungen des Straßenquerschnittes lassen sich die beiden Führungsformen unter bestimmten Bedingungen miteinander kombinieren. Hinzu kommen vom Kraftfahrzeugverkehr losgelöste Streckenführungen und spezielle Führungen im Erschließungsstraßennetz.

Fahrbahnführung

Die Fahrbahnführung des Radverkehrs gliedert sich in folgende Führungsvarianten auf:

- Mischverkehr des Radverkehrs mit dem Kraftfahrzeugverkehr,
- Schutzstreifen als Teilseparationslösung sowie
- Radfahrstreifen als Separationslösung.

Der *Mischverkehr des Radverkehrs* mit dem Kraftfahrzeugverkehr auf der Fahrbahn ist der Standardfall der Radverkehrsführung auf allen vom Kraftfahrzeugverkehr schwächer belasteten Straßen. Auch auf Hauptverkehrsstraßen kann sich diese Führungsform bei geeigneten Fahrstreifenbreiten und einem angepassten Geschwindigkeitsniveau des Kraftfahrzeugverkehrs als zweckmäßige Führungsform erweisen.

Schutzstreifen (siehe Abb. 7.1) sind eine insbesondere in den letzten Jahren verstärkt zur Anwendung gekommene Führungsform, bei der dem Radverkehr Teile der Fahrbahn – in der Regel sind dies die Seitenbereiche – durch Markierung und/oder eine andere Materialwahl zur Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Ein Befahren der Schutzstreifen durch den Kraftfahrzeugverkehr – z.B. bei Begegnungsfällen im Lkw-Verkehr – ist erlaubt. Schutzstreifen können dazu beitragen, den Mischverkehr Kraftfahrzeug/Rad verträglicher zu gestalten.

Das Haupteinsatzfeld von Schutzstreifen liegt im Bereich der zweistreifigen Straßen.

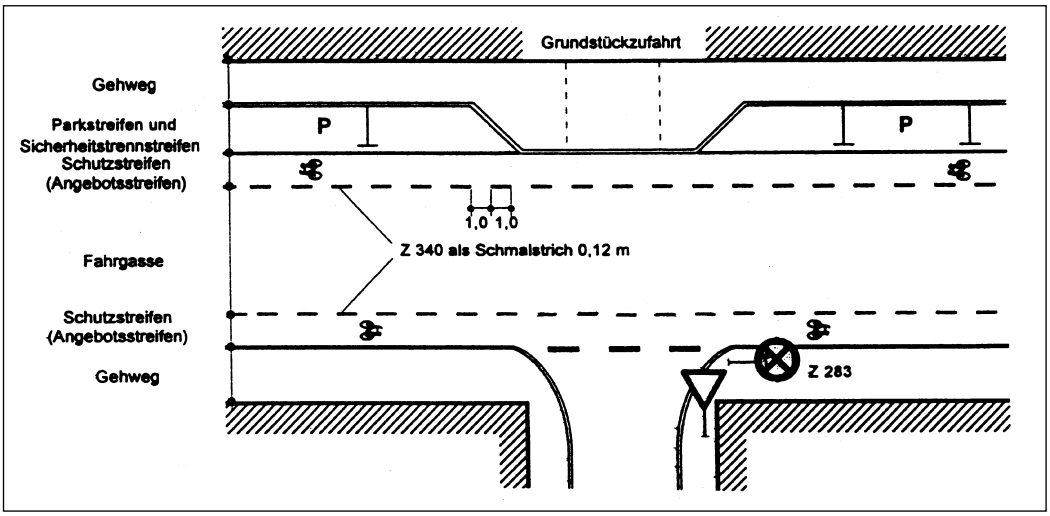


Abb. 7.1 Prinzipskizze eines Schutzstreifens. (FGSV, 1998a)

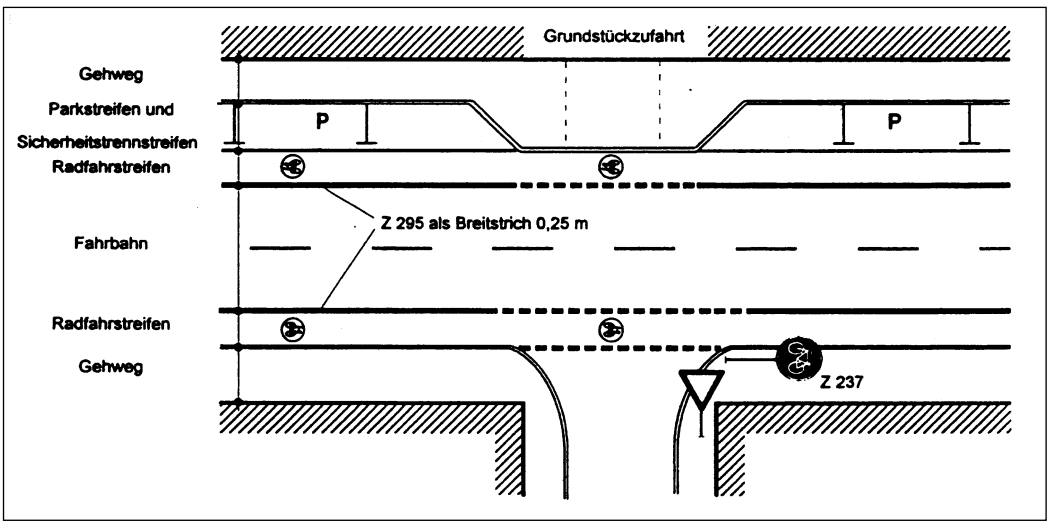


Abb. 7.2 Prinzipskizze eines Radfahrstreifens. (FGSV, 1998a)

Ihr Einsatz bietet sich aber auch auf mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen sowie in mehrstreifigen Knotenpunktzufahrten an.

Radfahrstreifen (siehe Abb. 7.2) sind für Radfahrer die komfortabelste unter den Fahrbahnführungsvarianten. Radfahrstreifen sind auf der Fahrbahn abmarkierte Sonderwege des Radverkehrs (Beschilderung mit Z 237 StVO). Von Kraftfahrzeugen im Längsverkehr dürfen Radfahrstreifen nicht befahren werden.

Radfahrstreifen bieten vor allem aufgrund der guten Sichtbeziehungen zwischen Kraftfahrzeugen und Radfahrern, der klaren Trennung vom Fußverkehr und ihrer geringen Probleme in den Kreuzungen und Einmündungen Gewähr für eine sichere und mit den übrigen

Nutzungen gut verträgliche Radverkehrsabwicklung. Voraussetzung ist eine wirksame Verhinderung des Abstellens von Kraftfahrzeugen auf dem Radfahrstreifen.

Seitenraumführung

Zu den wesentlichen Varianten der Seitenraumführung des Radverkehrs im Innerortsbereich zählen

– straßenbegleitende Radwege sowie
– gemeinsame Geh- und Radwege.

Straßenbegleitende Radwege (Z 237, Z 241 StVO) galten in der Planungspraxis lange als der Standardfall der Radverkehrsführung auf allen vom Kraftfahrzeugverkehr stärker belasteten Straßen. Sofern Radwege anspruchsgerecht in den Straßenquerschnitt eingebunden sind, wozu insbesondere eine ausreichende Breite der Radwege sowie der angrenzenden Gehwege und der Trennräume zu Hindernissen und parkenden Fahrzeugen zählen, und den Sicherheitsanforderungen im Bereich der Grundstückszufahrten und Einmündungen u.a. durch gute Sichtbeziehungen Rechnung getragen wird, haben sie sich sowohl unter dem Gesichtspunkt der objektiven und der subjektiven Sicherheit als auch unter dem Aspekt einer attraktiven und komfortablen Radverkehrsführung bewährt.

Straßenbegleitende Radwege können beidseitig oder einseitig einer Straße angelegt und im Ein- oder im Zweirichtungsverkehr betrieben werden. Innerhalb bebauter Gebiete sollten Radwege in der Regel beidseitig angelegt werden und der Radverkehr jeweils im Einrichtungsverkehr geführt werden. Auf stark vom Kraftfahrzeugverkehr belasteten Straßen mit ggf. daraus resultierenden schlechten Querungsmöglichkeiten und/oder auf Straßen mit speziellen Quelle-Ziel-Verflechtungen des Radverkehrs kann es sich auch anbieten, den Radverkehr beidseitig im Zweirichtungsbetrieb zu führen. Besonders wichtig sind dann die Absicherung des Radverkehrs in den Grundstückzufahrten und Einmündungen sowie eine anspruchsgerechte räumliche und betriebliche Knotenpunkteinbindung des Radverkehrs.

Das Haupteinsatzfeld *gemeinsamer Geh- und Radwege* (Z 240 StVO) liegt im Bereich außerhalb bebauter Gebiete. Innerorts kommt die gemeinsame Führung von Radfahrern und Fußgängern nur bei geringem Fußgänger- und Radverkehr in Frage, wenn aufgrund beengter Verhältnisse keine anderen Radverkehrsanlagen angelegt werden können und die Fahrbahnführung des Radverkehrs im Mischverkehr mit dem Kraftfahrzeugverkehr nicht vertretbar ist. Mögliche Einsatzbereiche sind vor allem weitgehend anbaufreie Straßen mit nur geringer Nutzung durch Fußgänger.

Kombinationslösungen und Sonderführungsformen

In Abhängigkeit von den räumlichen und nutzungsbezogenen Gegebenheiten kann es sich anbieten, unterschiedliche Führungsformen des Radverkehrs im Rahmen so genannter *asymmetrischer Lösungen* miteinander zu kombinieren. Denkbar ist z.B. eine Lösung, bei der einseitig ein Radweg, gegenüberliegend (z.B. wegen zahlreicher Grundstückszufahrten und Einmündungen auf dieser Straßenseite) ein Radfahrstreifen angelegt wird. Bei Platzmangel kann es in Frage kommen, zumindest einseitig eine Führungshilfe – z.B. einen Angebotsstreifen – einzurichten.

Auch auf Straßen mit einer stärkeren Längsneigung bietet sich häufig eine asymmetrische Querschnittsaufteilung an. Dabei kommt für die bergauf fahrenden Radfahrer eher eine Separationslösung in Betracht als für die abwärts fahrenden schnelleren Radfahrer.

Mit der *Regelung „Gehweg/Radfahrer frei“* (Z 239 StVO in Verbindung mit Z 1022-10 StVO) wird Radfahrern die Wahlmöglichkeit zwischen Gehweg- und Fahrbahnnutzung eröffnet. Es wird hiermit das Ziel verfolgt, unge-

übten und unsicheren Radfahrern eine Führung losgelöst vom Kraftfahrzeugverkehr zu ermöglichen. Die übrigen Radfahrer hingegen sollen die Fahrbahn benutzen.

Die Freigabe von Gehwegen für den Radverkehr kann nur dann in Betracht kommen, wenn die Interessen der besonders schutzbedürftigen Radfahrer dies notwendig machen und dem die Belange des Fußverkehrs nicht entgegenstehen. Ungeeignet für gemeinsame Führungen von Fußgängern und Radfahrern sind Straßen mit intensiverer Geschäftsnutzung, Straßen im Zuge von Hauptverbindungen des Radverkehrs, Straßen mit stärkerem Gefälle, Straßen mit einer dichteren Folge von unmittelbar an (schmale) Gehwege angrenzenden Hauseingängen sowie Straßen mit zahlreichen Einmündungen und Grundstückszufahrten.

Der Einsatz der Regelung „Gehweg/Radfahrer frei“ beschränkt sich auf Straßen mit nur schwacher Frequentierung durch Fußgänger und Radfahrer. Es ist nicht im Sinne der Regelung, wenn der überwiegende Teil der Radfahrer im Gehwegbereich fährt und nur einzelne Radfahrer die Fahrbahn benutzen. Die Erlaubnis der Gehwegmitbenutzung durch Radfahrer ist daher stets zu verbinden mit Maßnahmen, die eine Attraktivitätssteigerung der Fahrbahnführung des Radverkehrs zum Ziel haben. Denkbar ist z.B. die Kombination der Regelung „Gehweg/Radfahrer frei“ mit der Anlage von Schutzstreifen auf der Fahrbahn.

Eine Wahlmöglichkeit zwischen Fahrbahn- und Seitenraumnutzung kann auch dadurch eröffnet werden, indem Radwege für *nicht benutzungspflichtig* deklariert werden. Voraussetzung hierfür ist eine gefährdungsarme Befahrbarkeit der Fahrbahn.

Zur Sicherstellung der Führungskontinuität für den Radverkehr kann es erforderlich sein, *Busfahrstreifen* zur Mitbenutzung durch Radfahrer freizugeben. Um den Linienbusverkehr nicht zu beeinträchtigen, sollten der Bus- und der Radverkehr auf den gemeinsamen Fahrstreifen durch entsprechende Breitengebungen nach Möglichkeit im Parallelverkehr abgewickelt werden. Möglich sind aber auch Führungen auf schmaleren Fahrstreifen, wobei dann allerdings eine ausreichende Anzahl von Überholmöglichkeiten der Radfahrer durch die Busse gegeben sein muss.

Einsatzbedingungen

Während Radfahrer in Erschließungsstraßen grundsätzlich im Mischverkehr mit dem Kraftfahrzeugverkehr auf der Fahrbahn zu führen sind, stellt sich für die Hauptverkehrsstraßen die Frage nach der Notwendigkeit und den Möglichkeiten einer Separation des Radverkehrs vom Kraftfahrzeugverkehr.

Eine für *Hauptverkehrsstraßen* prinzipiell zu bevorzugende Führungsform des Radverkehrs gibt es nicht. Jede Straße hat ihre eigene Charakteristik, geprägt durch belastungsbezogene, bauliche, betriebliche, netzstrukturelle, umfeld- und verkehrsteilnehmerbezogene Aspekte. Dem sich hieraus ableitenden Anforderungsspektrum muss bei der *Wahl der Radverkehrsführung* situationsbezogen Rechnung getragen werden. Folgende Kriterien sind hierbei zu berücksichtigen:

- Flächenverfügbarkeit im Straßenraum unter Einbeziehung aller Nutzungsansprüche,
- Stärke, Zusammensetzung und Geschwindigkeitsniveau des Kraftfahrzeugverkehrs,
- Nutzungssituation im Hinblick auf den ruhenden Kraftfahrzeugverkehr,
- Strecken- und Knotenpunktcharakteristik (u.a. Art und Dichte der Knotenpunkte und stärker belasteter Grundstückszufahrten),
- Funktion der Straße im Radverkehrsnetz,
- Stärke, zeitliche Verteilung und Zusammensetzung des Radverkehrs (z.B. Anteil des Schülerverkehrs),
- Unfall- und Konfliktcharakteristik der Straße sowie

– ortsbezogene Faktoren wie die Planungstradition und das so genannte Fahrradklima.

Die Separation des Radverkehrs vom fließenden Kraftfahrzeugverkehr in Form von Radwegen oder von Radfahrstreifen wird umso notwendiger, je stärker die Belastungen und je höher die Geschwindigkeiten des Kraftfahrzeugverkehrs sind. Auch eine starke Nutzung der Straße durch den Schwerlastverkehr spricht eher für eine getrennte Führung des Radverkehrs. Eine Kopplung des Einsatzes der einzelnen Führungsformen an bestimmte Belastungsgrenzen ist nicht möglich und wird der Vielzahl der herrschenden und zu berücksichtigenden Einflussfaktoren nicht gerecht.

Die Anlage von Radwegen erweist sich vor allem Straßen mit einem hohen Geschwindigkeitsniveau des Kraftfahrzeugverkehrs und/oder einem inhomogenen Verkehrsablauf, wie er insbesondere durch stärkeren Lade- und Lieferverkehr verursacht wird, als zweckmäßig. Auf Straßen mit einer hohen Dichte an Einmündungen und Grundstückzufahrten sind hingegen Radfahrstreifen oft sicherer als Radwege.

Sehr gute Erfahrungen konnten in den letzten Jahren mit der Einrichtung von Schutzstreifen auf der Fahrbahn gesammelt werden. Die Bindung des Einsatzes von Schutzstreifen an bestimmte Belastungshöchstgrenzen des Kraftfahrzeugverkehrs ist nicht mehr zu begründen.

Streckenführungen ohne Kraftfahrzeugverkehr und auf Erschließungsstraßen

Zu den Streckenführungen ohne Kraftfahrzeugverkehr zählen in erster Linie alle *selbständig geführten Radwege* sowie alle gemeinsamen Geh- und Radwege, die nicht im Zuge von Straßen verlaufen. Ein engmaschiges Netz vom Kraftfahrzeugverkehr losgelöster Wege, das in geeigneter Weise mit den straßenbegleitenden Radverkehrsführungen verknüpft ist, bietet Gewähr für eine attraktive und sichere Verkehrsteilnahme durch Radfahrer.

Eine weitere Streckenführungsvariante ohne Kraftfahrzeugverkehr ist die Führung des Radverkehrs in *Fußgängerbereichen*. Eine Zulassung des Radverkehrs in diesen Bereichen kommt nur in Frage, wenn hiermit für die Radfahrer ein deutlicher Sicherheits- und Attraktivitätsgewinn gegeben ist und dem die Belange des Fußgängerverkehrs nicht entgegenstehen. Gegebenenfalls ist die Zulassung des Radverkehrs auf bestimmte Tageszeiten zu begrenzen.

Im Bereich der Erschließungsstraßen kann Radfahrern durch die Einrichtung von Fahrradstraßen – ausgewiesen mit Z 244 StVO – eine komfortable Streckenführung geboten werden. Kraftfahrzeugverkehr kann auf diesen Straßen zugelassen werden. Die Anlage von *Fahrradstraßen* kommt im Verlauf wichtiger Hauptverbindungen des Radverkehrs in Betracht. Der Radverkehr soll in diesen Straßen die vorherrschende Verkehrsart sein oder sich zumindest – u.a. durch Bündelung – dahin entwickeln.

Eine deutliche Attraktivitätssteigerung für den Radverkehr kann im Bereich der Erschließungsstraßen durch die *Öffnung von Einbahnstraßen für den gegengerichteten Radverkehr* erzielt werden. Nach den gesammelten Erfahrungen sind hierdurch keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und andere Straßennutzungen zu erwarten. Mit der Öffnung von Einbahnstraßen für den Radverkehr können insbesondere Wohngebiete für den Radverkehr flächenhaft und umwegfrei erschlossen sowie durchgehende Verbindungen im Radverkehrsnetz leichter realisiert werden.

7.1.2.2 Knotenpunktführung des Radverkehrs

Wie in den Streckenabschnitten ist in den Knotenbereichen zwischen der Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn und im Seitenbereich zu unterscheiden. Wird der Radverkehr auf der *Fahrbahn* geführt, so kann dies in den Varianten

- Mischverkehr mit dem Kraftfahrzeugverkehr,
- Schutzsteifen sowie
- Radfahrstreifen

erfolgen.

Diese Führungsvarianten können mit *aufgeweiteten Radaufstellstreifen* kombiniert werden, die durch eine vorgezogene Haltlinie für den Radverkehr und eine zurückverlegte Haltlinie für den Kraftfahrzeugverkehr gekennzeichnet sind.

Besonderes Augenmerk ist auf die *Führung linksabbiegender Radfahrer* zu richten. Diese können in Knotenpunkten

- direkt mit freiem Einordnen (ohne Signalschutz),
- in Sonderfällen direkt mit geschütztem Einordnen (Radfahrerschleuse) oder
- indirekt

geführt werden.

Bei der *direkten Führung mit freiem Einordnen* (siehe Abb. 7.3) ordnen sich die Radfahrer zum Linksabbiegen ohne Signalschutz auf dem Linksabbiegestreifen für den Fahrzeugverkehr ein oder benutzen spezielle für sie markierte Linksabbiegestreifen. Günstige Voraussetzungen für das direkte Linksabbiegen liegen vor, wenn sich Radfahrer ausreichend sicher nach links einordnen und den entgegenkommenden Fahrzeugstrom queren können.

Sind die Einsatzgrenzen der direkten Führung mit freiem Einordnen überschritten, so ist zu überprüfen, ob die Einrichtung einer *Radfahrerschleuse* (siehe Abb. 7.4) zweckmäßig sein kann. Bei Radfahrerschleusen wird in der Knotenpunktzufahrt eine Vorsignalanlage eingerichtet, in deren Anschluss sich die Radfahrer auf die verschiedenen richtungsbezogenen Fahrstreifen einordnen können.

Für den Fall, dass die direkte Führung ohne oder mit Signalschutz nicht in Frage kommt, sind die linksabbiegenden Radfahrer indirekt zu führen. Bei der *indirekten Führung* (siehe Abb. 7.5) überqueren Radfahrer den Knotenpunkt zunächst neben dem geradeausfahrenden Kraftfahrzeugverkehr und kreuzen anschließend die Straße, aus der sie nach links abbiegen wollen. Für das indirekte Linksabbiegen sollten besondere Aufstellflächen und ggf. Radfahrersignale vorgesehen werden.

Um den spezifischen Anforderungen der einzelnen Verkehrsteilnehmer besser Rechnung zu tragen, können die direkte und die indirekte Führung der linksabbiegenden Radfah-

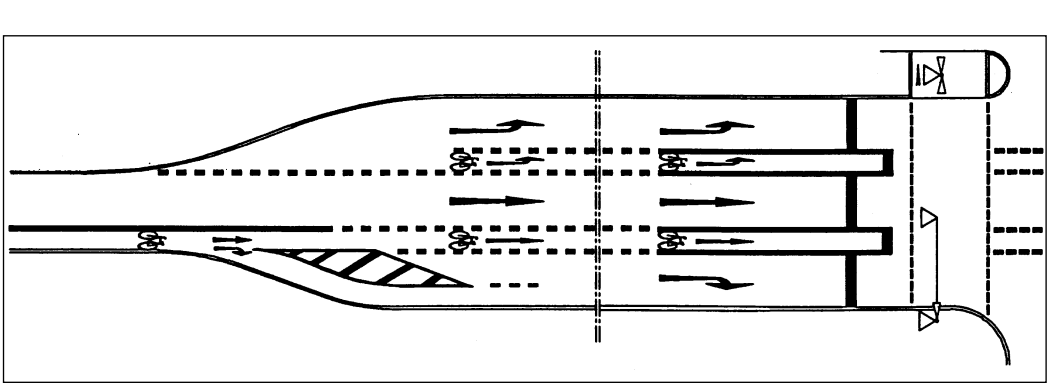


Abb. 7.3 Direkte Führung linksabbiegender Radfahrer mit freiem Einordnen. (FGSV, 1995a)

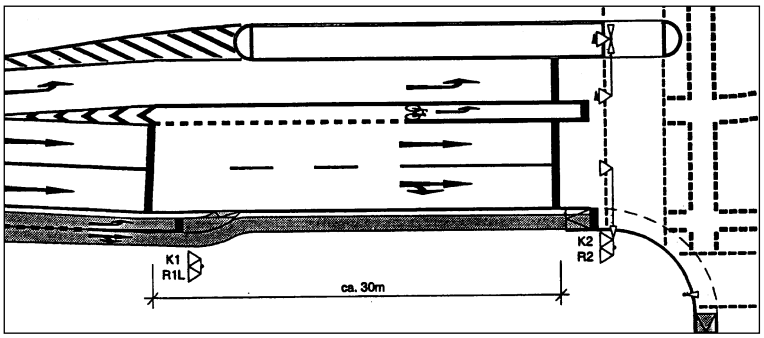


Abb. 7.4 Beispiel für eine Radfahrerschleuse. (FGSV, 1995a)

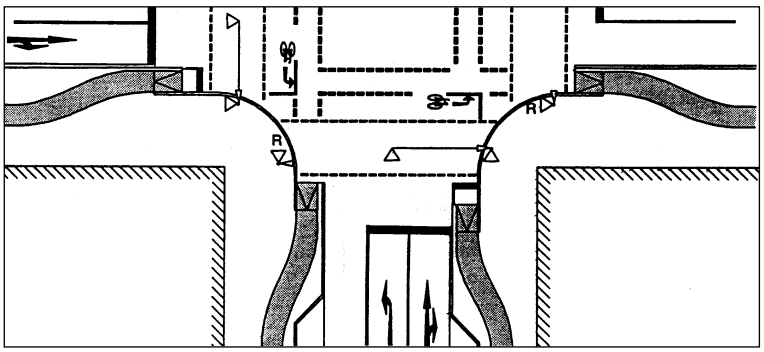


Abb. 7.5 Indirekte Führung linksabbiegender Radfahrer. (FGSV, 1995a)

rer auch miteinander kombiniert zur Anwendung kommen.

Spezielle Abbiegestreifen für direkt linksabbiegende Radfahrer sollten insbesondere dann markiert werden, wenn

- der Radverkehr bereits im Bereich der Strecke auf Radverkehrsanlagen geführt wird,
- bei Mischverkehr im Streckenbereich mehr als zwei Fahrstreifen in der Knotenpunktzufahrt vorhanden sind oder
- nur für Radfahrer Linksabbiegen ermöglicht werden soll.

Auch für die geradeausfahrenden Radfahrer sind in der Knotenpunktzufahrt aus einer Mischverkehrsführung im Streckenbereich heraus zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs nach Möglichkeit *Auffangradfahrstreifen* anzulegen. Besonders notwendig ist ein Auffangradfahrstreifen für geradeausfahrende Radfahrer immer dann, wenn für den rechtsabbiegenden Kraftfahrzeugverkehr ein eigener Fahrstreifen existiert. Die Anlage von Auffangradfahrstreifen erweist sich auch dann als erforderlich, wenn der Radverkehr eine vom Kraftfahrzeugverkehr abweichende Freigabezeit durch gesonderte Radfahrersignale erhalten soll.

Sind Auffangradfahrstreifen nicht möglich, so bietet sich die Einrichtung von *Schutzstreifen* an, die wie auch die Auffangradfahrstreifen mit aufgeweiteten Radaufstellbereichen kombiniert werden können.

Hinsichtlich der Führung des Radverkehrs im *Seitenbereich der Straße* kommen als Varianten Radwege und innerorts ergänzend gemeinsame Geh- und Radwege in Frage. Radwegfurten können hierbei fahrbahnnah oder (weit) abgesetzt angelegt werden.

An Knotenpunkten ist die Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn aufgrund des besseren Sichtkontaktes zwischen Radfahrern und Kraftfahrern und der Eindeutigkeit der

Verkehrsführung und Vorrangregelung meist sicherer als auf abgesetzten Radwegen. Radfahrstreifen vereinigen die Vorteile der Separation mit denen der guten Sichtbarkeit und der Eindeutigkeit der Verkehrsführung und sind daher die insbesondere bei höheren Belastungen anzustrebende Führungsform des Radverkehrs. In den Zufahrtsbereichen größerer Knotenpunkte empfiehlt sich daher der Übergang von einem Radweg in einen Radfahrstreifen.

Radwege kommen in Knotenpunkten allenfalls dann in Betracht, wenn der Radverkehr auch auf den angrenzenden Streckenabschnitten im Seitenraum geführt wird, Radwege auch in der kreuzenden Straße vorhanden sind und größere Aufstellflächen für indirektes Linksabbiegen benötigt werden. Anzuwenden sind sie darüber hinaus bei Zweirichtungsführungen des Radverkehrs.

Als besonders konfliktträchtig haben sich Radwegführungen mit (weit) abgesetzten Furten erwiesen. Wesentlich sicherer ist in der Regel eine möglichst nahe Lage der Furten neben der parallelen Fahrbahn.

Fragen der Verkehrsführung des Radverkehrs sind stets in Verknüpfung zu sehen mit den betrieblichen Regelungen. Bei der Konzipierung von Knotenpunkten mit Lichtsignalregelung sollten Aspekte der Steuerung schon bei den ersten Bearbeitungsschritten berücksichtigt werden. Nachträgliche Einpassungen führen oft zu mängelbehafteten und von Radfahrern schlecht akzeptierten Lösungen.

7.1.2.3 Weitere Infrastruktur

Fahrradparken

Im Hinblick auf eine anspruchsgerechte Fahrradnutzung sind die unterschiedlichen und ein möglichst dichtes Netz bildenden Verkehrsführungen des Radverkehrs mit situationsgerecht eingepassten Abstellmöglichkeiten für Fahrräder an allen wesentlichen Quellen und Zielen des Radverkehrs zu verknüpfen.

Die möglichst nah an den Zielpunkten des Radverkehrs anzulegenden Abstellanlagen sind so zu gestalten, dass ein bequemes, stand- und diebstahlsicheres Anschließen der Fahrräder bei Aufnahmemöglichkeit für alle gängigen Rahmengrößen und Reifenbreiten gegeben ist. Die weiteren Anforderungen orientieren sich an den jeweiligen Fahrtzwecken und der daraus resultierenden Anzahl und Abstelldauer der Fahrräder. Insbesondere bei größeren Anlagen sowie bei Einrichtungen, die überwiegend von Langzeitparkern (z.B. Bahnhaltepunkte) genutzt werden, ist für einen ausreichenden Wetterschutz zu sorgen. Wert zu legen ist darüber hinaus auf eine ansprechende gestalterische Einpassung der Fahrradabstellanlagen in die Umgebung.

Wegweisung

Netze für den Radverkehr weisen aufgrund ihrer Kleinteiligkeit und der oft vom Kraftfahrzeugverkehr losgelösten Wegeverbindungen und Verkehrsführungen eine andere Struktur auf als Netze für den Kraftfahrzeugverkehr. Sofern Wegeverbindungen nicht selbsterklärend sind, sind zusätzliche Orientierungshinweise erforderlich, die in ein möglichst geschlossenes Wegweisungssystem für den Radverkehr einzubetten sind.

Voraussetzung für die Beschilderung von Routen für den Radverkehr ist, dass diese lückenlos und durchgängig gut befahrbar sind. Ortsunkundige Radfahrer sollen sich anhand der Wegweisung zügig orientieren und in Entscheidungssituationen sicher verhalten können. Die Ausschilderung muss dementsprechend nachvollziehbar und eindeutig sein.

Die Wegweisung für den Radverkehr besteht aus einer ziel- und einer routenorientierten Komponente. Zielorientiert unter Nutzung der kürzesten und/oder schnellsten Verbindungen fahren in der Regel der Alltagsradverkehr, der alltägliche Freizeitradverkehr und auch ein Teil des Fahrradausflugverkehrs. Beim Fahr-

radtourismus überwiegt die Routenorientierung.

Die ziel- und routenbezogenen Komponenten sind situationsbezogen miteinander zu verknüpfen und in ein umfassendes Leitsystem für den Radverkehr einzupassen. Die Grundlagen liefert eine Radverkehrsnetzplanung auf kommunaler und auf regionaler Ebene.

7.1.3 Entwurf von Radverkehrsführungen

7.1.3.1 Innerörtliche Hauptverkehrsstraßen

Die nachfolgenden Hinweise zur Querschnittseinpassung, zur Bemessung und Ausgestaltung von Radverkehrsführungen auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen beschränken sich auf die wesentlichen Führungsformen. Für den Seitenbereich der Straße sind dies die Radwege, für den Fahrbahnbereich Radfahrstreifen und Schutzstreifen.

Radwege

Die *Regelbreite* von Einrichtungsradwegen beträgt auf Straßen mit mittlerer oder höherer Nutzungsintensität und/oder stärkerem Radverkehr 2,00 m, auf den übrigen Straßen – Platzmangel vorausgesetzt – 1,60 m. Die Regelbreite von beidseitigen Zweirichtungsradwegen beträgt 2,50 m. Im Zuge von stark befahrenen Hauptverbindungen des Radverkehrs sowie bei häufiger auftretenden Belastungsspitzen sind sowohl bei Einrichtungs- als auch bei Zweirichtungsbetrieb größere Breiten vorzusehen. Die genaue Breitenfestlegung erfolgt in Abwägung mit den übrigen Nutzungsanforderungen und sollte sich an den zu erreichenden Qualitätszielgrößen des Verkehrsablaufs orientieren.

Bei der Anlage von Radwegen ist stets sicherzustellen, dass die angrenzenden Gehwege eine ausreichende Breite besitzen, so dass eine anspruchsgerechte Nutzung durch die Fußgänger möglich ist und ein Ausweichen von Fußgängern in den Radwegbereich selten erfolgt.

Zwischen Radweg und Fahrbahn bzw. den Parkmöglichkeiten des Kraftfahrzeugverkehrs ist immer ein *Sicherheitstrennstreifen* anzulegen, der sich farblich oder baulich vom Radweg abheben sollte. Er dient dem Schutz der Radfahrer vor dem fließendem und dem ruhenden Kraftfahrzeugverkehr (z.B. geöffnete Fahrzeugtüren) oder als Ausweichraum bei etwaigen Beeinträchtigungs- oder Konfliktsituationen im Radwegbereich. Die Breite des Sicherheitstrennstreifens liegt in Abhängigkeit von der jeweils angrenzenden Nutzung zwischen 0,50 und 1,00 m.

Besonders wichtig für die Anlage von Radwegen sind gute Sichtverhältnisse zwischen Radfahrern und ein- oder abbiegenden Kraftfahrzeugen sowie die eindeutige Erkennbarkeit der Vorrangregelung. Zur Verdeutlichung des Vorranges der Radfahrer soll der Belag des Radweges über die *Grundstückszufahrten* (siehe Abb. 7.6) hinweg beibehalten werden. Besonders konfliktträchtige Grundstückszufahrten (z.B. Tankstellenzufahrten) sind wie die Einmündungen durch Furtmarkierungen kenntlich zu machen. Auch flächige (Rot-) Einfärbungen dienen in solchen Fällen der Hervorhebung des Radweges. Damit in diesen Fällen die Sicht in ausreichender Distanz (etwa 12 m) vor der Einfahrt sichergestellt ist, muss durch bauliche Maßnahmen verhindert werden, dass Kraftfahrzeuge hier abgestellt werden.

Die *Höhenlage der Radwege* ist an den Grundstückszufahrten in der Regel beizubehalten. Die Absenkung der Zufahrt sollte dementsprechend im Bereich des Sicherheitstrennstreifens oder durch spezielle Schrägbordsteine erfolgen. Sicherheitsfördernd wirkt die Verkleinerung von Eckausrundungen und Einmündungstrichtern.

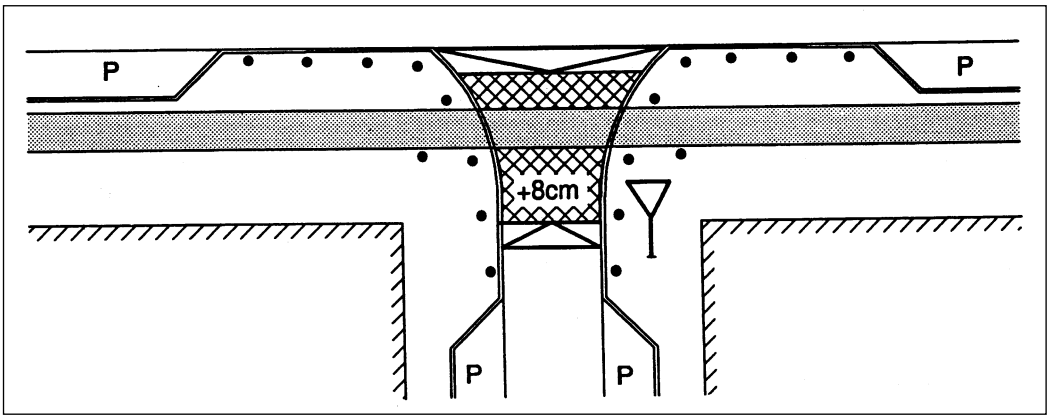


Abb. 7.6 Ausgestaltung einer Radwegüberfahrt. (FGSV, 1995a)

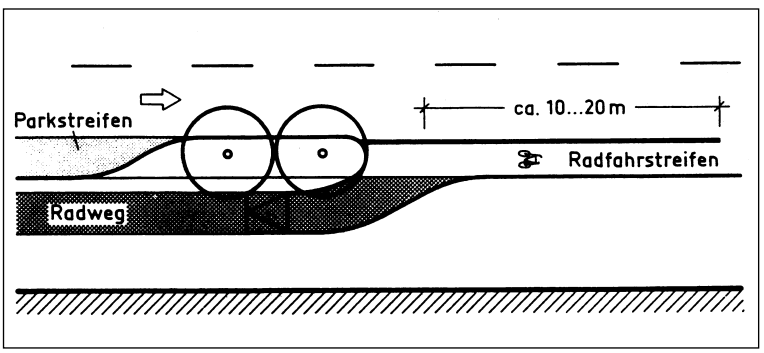


Abb. 7.7 Ende eines Radweges mit Übergang in einen Radfahrstreifen. (FGSV, 1995a)

Radwege sollen immer in taktil deutlich wahrnehmbarer Form von den *Gehwegen* abgegrenzt werden. Dies kann geschehen durch eine differierende Oberflächenstruktur und/oder die Anlage eines Trennstreifens, der z.B. in Kleinpflastermaterial oder mit Rillenplatten in einer Breite von mindestens 0,30 m ausgebildet werden kann.

Radweganfang und Radwegende sollen so ausgestaltet werden, dass Radfahrer den Radweg auf direktem Wege erreichen bzw. ihn verlassen können. An *Radwegenden* (siehe Abb. 7.7) sollen Radfahrer baulich vor den Kraftfahrzeugen der gleichen Fahrtrichtung geschützt auf die Fahrbahn geleitet werden, was z.B. durch eine Schutzinsel oder eine entsprechende Bordführung erfolgen kann. An das Radwegende sollte noch ein Radfahrstreifen in einer Länge von mindestens 10 m angefügt werden.

Radfahrstreifen

Die *Regelbreite* von Radfahrstreifen, die neben den Fahrstreifen des Kraftfahrzeugverkehrs angeordnet werden, beträgt einschließlich eines 0,25 m breiten durchgezogenen Markierungsbreitstriches 1,85 m. Bei höheren Radverkehrsbelastungen mit stärkerem Überholbedarf und häufigeren Pulkbildungen sind, wie auch auf Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von mehr als 50 km/h, größere Breiten in Ansatz zu bringen. Die Mindestbreite eines Radfahrstreifens liegt einschließlich der Markierungstrennlinie zum Fahrstreifen des Kraftfahrzeugverkehrs bei 1,50 m (siehe Abb. 7.8).

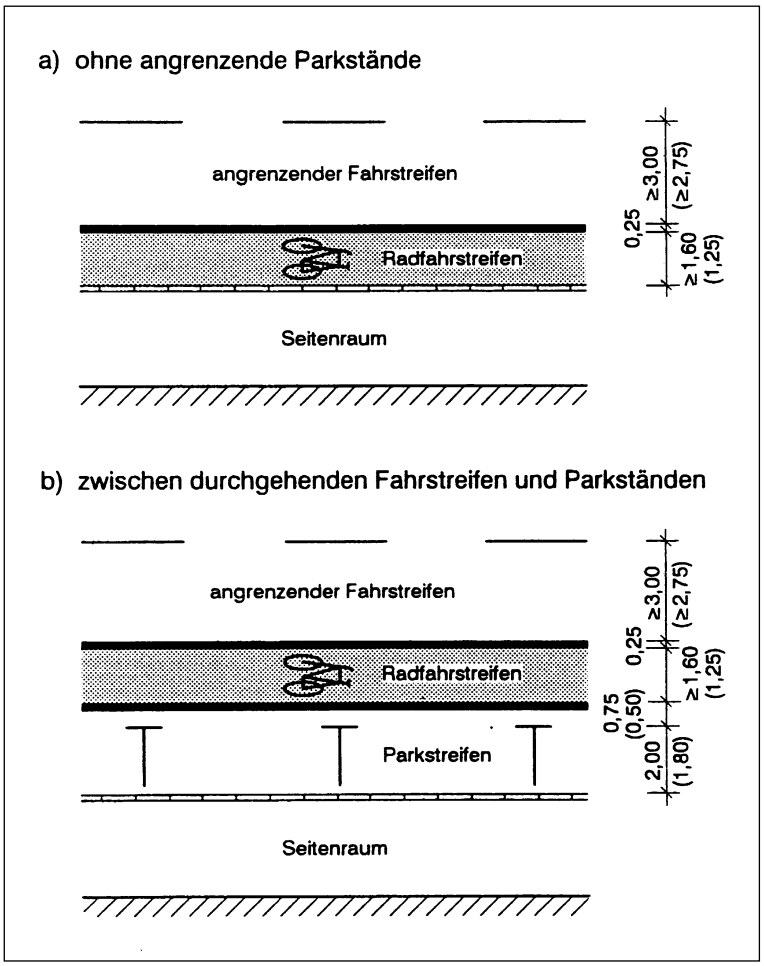


Abb. 7.8 Anordnung von Radfahrstreifen. (FGSV,1995a)

Auf allen *Straßen mit ruhendem Verkehr* sind Radfahrstreifen, die *links* neben den Parkständen des Kraftfahrzeugverkehrs angelegt werden, der Standardfall. Es ist für ausreichend breite Sicherheitsräume zu den parkenden Fahrzeugen zu sorgen, um die Radfahrer z.B. vor unachtsam geöffneten Fahrzeugtüren zu schützen. Das gilt in besonderem Maße auch für den Ausnahmefall, dass der Radfahrfahrstreifen *rechts* neben den Parkständen des Kraftfahrzeugverkehrs angelegt wird. Besonders wichtig ist dann die Gewährleistung guter Sichtbeziehungen zwischen Radfahrern und Kraftfahrern im Bereich der Einmündungen und Grundstückszufahrten.

Radfahrstreifen sollen in der Regel auf beiden Straßenseiten angelegt und im Einrichtungsverkehr betrieben werden. Bei geringen Straßenraumbreiten ist darauf zu achten, dass *keine Mindestbreiten* von Radfahrstreifen, Kfz-Fahrstreifen und Parkständen aneinander gereiht werden. Bei mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen sollten die direkt an den Radfahrstreifen angrenzenden Kfz-Fahrstreifen mindestens 3,00 m, besser 3,25 m breit sein.

In den potentiellen *Konfliktbereichen* (z.B. stärker frequentierte Grundstückszufahrten sowie Einmündungen) sollten Radfahrstreifen (rot) eingefärbt und mit Fahrradpiktogrammen ausgestattet werden.

Schutzstreifen

Eine wirkungsvolle und sich zunehmend bewährende Führungsform der Teilseparation sind Schutzstreifen. Im Bereich der Strecke werden diese im Randbereich der Fahrbahn angelegt. Schutzstreifen werden mit unterbrochenen 12-cm-Schmalstrichen mit 1,00 m Strich- und 1,00 m Lückenlänge und Fahrradpiktogrammen in regelmäßigen Abständen markiert.

Die *Regelbreite* von Schutzstreifen beträgt 1,60 m, die Mindestbreite 1,25 m. Die angrenzenden Verkehrsflächen für den Kraftfahrzeugverkehr sollten so breit sein, dass eine Mitbenutzung der Schutzstreifen durch Kraftfahrzeuge nur selten notwendig wird. Bei Straßen, die für den Kraftfahrzeugverkehr im Gesamtquerschnitt zweistreifig zu befahren sind, sollte die mittige Kernfahrgasse zwischen 4,50 m und 6,50 m breit sein.

Schutzstreifen sind durch Halteverbot gemäß § 12 StVO vom ruhenden Verkehr freizuhalten. Wird auf angrenzenden Parkstreifen geparkt, so ist wie bei den Radfahrstreifen durch ausreichende Sicherheitsräume sicherzustellen, dass Radfahrer nicht in den Gefahrenbereich unachtsam geöffneter Fahrzeugtüren gelangen.

7.1.2.2 Innerörtliche Knotenpunkte

Entwurfsgrundsätze

Sichere und akzeptable Knotenpunktführungen sind ein wesentlicher Ansatzpunkt zu einer nachhaltigen Verbesserung der Verkehrsbedingungen für den Radverkehr. Der Entwurf von Radverkehrsführungen an Knotenpunkten sollte von folgenden Grundsätzen geleitet sein:

- rechtzeitige Erkennbarkeit der Knotenpunktführung aus allen Knotenpunktzufahrten,
- eindeutige Erkennbarkeit der Vorrangregelung,
- Überschaubarkeit des Knotenpunkts und gute Sichtverhältnisse zwischen Radfahrern und den anderen Verkehrsteilnehmern,
- anspruchsgerechte Befahrbarkeit unter Vermeidung enger Radien und abrupter Verschwenkungen sowie
- Einklang zwischen baulicher und betrieblicher Regelung.

Zu einer radfahrerfreundlichen Gestaltung eines Knotenpunkts gehören weiterhin möglichst kleine Eckausrundungen für rechtsabbiegende Kraftfahrzeuge, der Verzicht auf Fahrbahnteiler an kleineren Knotenpunkten sowie der weitgehende Verzicht auf Dreiecksinseln.

Fahrbahnführung

Radfahrer, die im vorgelagerten Streckenbereich mit dem Kraftfahrzeugverkehr im Mischverkehr auf der Fahrbahn fahren, sollten in dem sich anschließenden Knotenpunkt nach Möglichkeit eine *Führungshilfe* erhalten. Anzustreben sind Auffangradfahrstreifen, bei Platzmangel bieten sich Schutzstreifen an. Im Streckenbereich vorhandene Radfahrstreifen oder Schutzstreifen sind im Knotenbereich entsprechend durchzuführen. Die Haltlinien für den Radverkehr sollen in versetzter Anordnung um mindestens 3 m vor denen des Kraftfahrzeugverkehrs angelegt werden, damit Radfahrer im Sichtfeld der Kraftfahrer anfahren können.

Aufgeweitete Radaufstellbereiche (siehe Abb. 7.9) kommen sowohl in einstreifigen als auch fahrtrichtungsbezogen in mehrstreifigen Knotenpunktzufahrten in Frage. Sie werden von den Radfahrern gut akzeptiert, wenn an Kraftfahrzeugkolonnen vorbeigefahren werden kann. Deshalb sind (Auffang-)Radfahrstreifen oder Schutzstreifen eine zweckmäßige Ergänzung. Die vorgezogenen Aufstellbereiche sollten 4 m bis 5 m lang sein und mit Radfahrerpiktogrammen und ggf. mit Einfärbungen deutlich erkennbar dem Radverkehr zugewiesen werden.

Radfahrstreifen sind in der Hauptrichtung (in der Regel geradeaus) durchzuführen. Nach Möglichkeit sollten auch Radfahrstreifen für

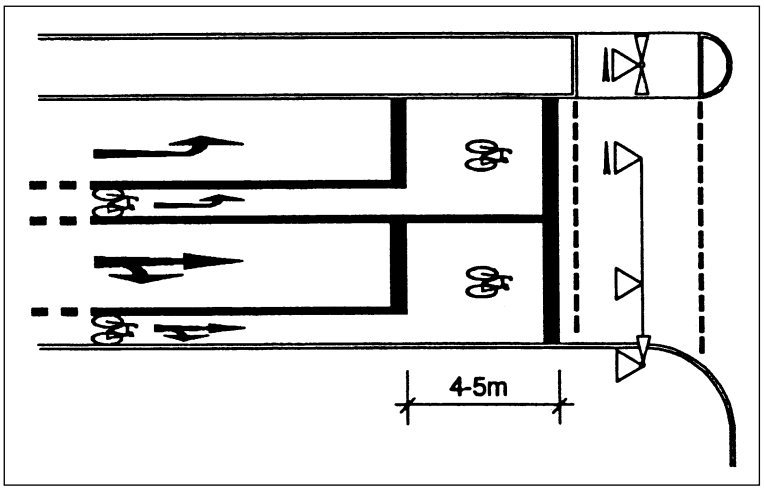


Abb. 7.9 Beispiel für aufgeweitete Radaufstellstreifen.
(FGSV, 1995a)

direkt linksabbiegende Radfahrer angelegt werden. Die beidseitig durch Breitstriche (Breite 0,25 m) abzugrenzenden Linksabbiegestreifen sollten im Aufstellbereich eine Nettobreite von 1,00 m aufweisen. Während die Radfahrstreifen für geradeausfahrende Radfahrer über den gesamten Knotenpunkt hinweggeführt werden, sollen die Streifen für linksabbiegende Radfahrer nur bis zum Konfliktbereich mit dem entgegenkommenden Geradeausverkehr markiert werden.

Radfahrerschleusen sollen vorrangig das direkte Linksabbiegen für den aus dem Seitenbereich kommenden Radfahrer ermöglichen. Bei starken Kfz-Rechtsabbiegeströmen kann auch die Integration der geradeausfahrenden Radfahrer in die Radfahrerschleuse zweckmäßig sein. Vor- und Hauptsignal einer Radfahrerschleuse sollten mindestens 30 m voneinander entfernt sein, da bei zu geringem Abstand die Gefahr der Missachtung der Vorsignale durch die Radfahrer besteht. Die Freigabezeiten von Vor- und Hauptsignal sollten so aufeinander abgestimmt sein, dass nach dem Freigabezeitende keine Kraftfahrzeuge in der Radfahrerschleuse verbleiben.

Indirektes Linksabbiegen erfordert einen rechtzeitigen und gut sichtbaren Hinweis auf die Führung des Radverkehrs, eine ausreichende Aufstellfläche außerhalb von den Verkehrsräumen anderer Ströme sowie eine dem Fahrtverlauf der Radfahrer entsprechende Phasenfolge. Auf der Fahrbahn aufmarkierte oder im Seitenbereich angeordnete Aufstellflächen sind zur Orientierung und Führung der Radfahrer an großräumigen Knotenpunkten zweckmäßig. Notwendig sind sie immer dann, wenn aus der Örtlichkeit nicht eindeutig abzulesen ist, wo sich linksabbiegende Radfahrer gefahrlos aufstellen können oder wenn Radfahrersignale für die indirekt linksabbiegenden Radfahrer vorgesehen werden.

In innerörtlichen *Kreisverkehren* sind Radfahrer vorzugsweise im Mischverkehr mit dem Kraftfahrzeugverkehr zu führen. Separationslösungen in Form von Radfahrstreifen oder Schutzstreifen kommen in der Kreisfahrbahn aus Sicherheitserwägungen nicht in Frage.

Seitenraumführung

Im Zuge von Radwegen sollte der Radverkehr auf möglichst fahrbahnnah angelegten Furten über die Kreuzungen und Einmündungen geführt werden. Dementsprechend geführte Radwege mit nicht oder nur geringfügig abgesetzten Radfahrerfurten (Absetzung bis zu etwa 1 m) verlaufen grundsätzlich vor den Fahrbahnteilern in der zu kreuzenden Straße. Radwege

sollen bei nicht abgesetzten Radfahrerfurten bereits im gesamten Aufstellbereich, mindestens jedoch auf 10 m Länge vor dem Knotenpunkt, fahrbahnnah geführt werden. Zur Verdeutlichung der Radverkehrsführung wird der Radweg einschließlich des Sicherheitstrennstreifens etwa 3 m vor der zu kreuzenden Fußgängerfurt auf Fahrbahnniveau abgesenkt. Diese Lösung hat den Vorteil der klaren Trennung des Radverkehrs vom kreuzenden Fußgängerverkehr. Die Wartefläche für die Fußgänger liegt dann rechts des Radweges auf Gehwegniveau (siehe Abb. 7.10).

Weit abgesetzte Radfahrerfurten kommen im Einzelfall in Frage bei Radwegen in beiden sich kreuzenden Straßen und starken Linksabbiegeradverkehren sowie im Verlauf von Zweirichtungsradwegen. Bei weit abgesetzten Radfahrerfurten soll bereits frühzeitig vor der zu kreuzenden Fußgängerfurt zwischen dem Radweg und der Fahrbahn eine ausreichend große Wartefläche für Fußgänger geschaffen werden. Bei stärkerem Radverkehr sollen die Radwege im Aufstellbereich aufgeweitet und mit einer verbreiterten Radfahrerfurt über den Knotenpunkt geführt werden.

Einbindung in die Lichtsignalsteuerung

Im Einklang mit der Verkehrsführung sind Radfahrersignalisierungen so auszugestalten, dass sie den Radfahrern einen attraktiven Fahrtablauf ermöglichen. Hierzu sollen die Wartezeiten im Zuge des gesamten zu passierenden Knotenpunktes möglicht kurz sein. Die Freigabezeiten sollten so bemessen sein, dass alle in einem Umlauf eintreffenden Radfahrer in einer Phase abfließen können. Darüber hinaus sollten die Freigabezeiten für Radfahrer aus Akzeptanzgesichtspunkten nicht erheblich kürzer als für den parallelen Kraftfahrzeugverkehr sein.

Die gemeinsame Signalisierung des Radverkehrs mit dem Kraftfahrzeugverkehr oder die getrennte Signalisierung mit eigenen Signalgebern sind die zu bevorzugenden Regelungen. Die gesonderte Signalisierung des Radverkehrs mit dreifeldigen Signalgebern (Rot-Gelb-Grün) kommt insbesondere in Frage zur Schaltung von konfliktmindernden Vorgabezeiten für den Radverkehr, bei mehrmaliger Freigabe des Radverkehrs innerhalb eines Umlaufs sowie zur Einrichtung von Radfahrerschleusen und Schaltung von Bedarfssonderphasen. Die gemeinsame Signalisierung mit Fußgängern bringt für Radfahrer aufgrund der differierenden Räumgeschwindigkeiten insbesondere bei längeren Furten deutliche Freigabezeitverluste und daraus resultierende Akzeptanzprobleme mit sich.

7.1.2.3 Erschließungsstraßen

Radfahrer sollten in Erschließungsstraßen grundsätzlich im Mischverkehr mit dem Kraftfahrzeugverkehr auf der Fahrbahn geführt werden. Erforderlich sind hierzu radfahrerverträgliche Geschwindigkeiten. Verkehrsberuhi-

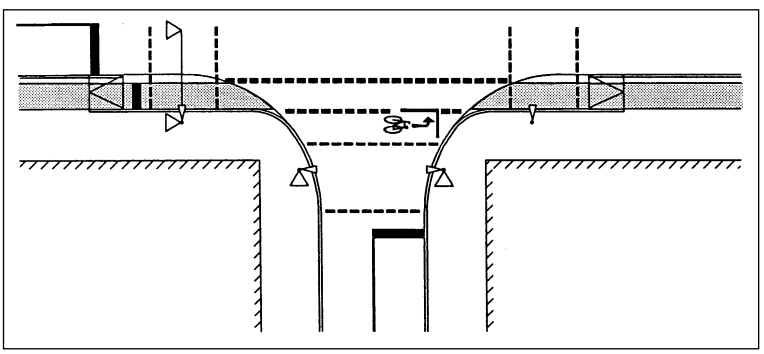


Abb. 7.10 Radwegführung in einem Einmündungsbereich. (FGSV, 1995a)

gungsmaßnahmen zur Dämpfung der Kfz-Geschwindigkeiten sind so zu gestalten, dass Radfahrer durch sie nicht behindert werden.

Um eine flächendeckende attraktive Befahrbarkeit für den Radverkehr sicherzustellen, ist eine größtmögliche Netzdurchlässigkeit anzustreben. Dies kann u.a. durch die Öffnung von Sperren und Sackgassen, die Freigabe von Einbahnstraßen für den gegengerichteten Radverkehr sowie durch Ausnahmeregelungen zu Abbiegegeboten erreicht werden. Zu verknüpfen ist dies mit einem engmaschigen und vom Kraftfahrzeugverkehr losgelösten Netz an Erschließungswegen.

Literatur

Alrutz, D.; Gündel, D.; Angenendt, W.; Draeger, W., (2002): Verkehrssicherheit von Einbahnstraßen mit gegengerichtetem Radverkehr. In: Straßenverkehrstechnik, 46, Heft 6, S. 236-302

Alrutz, D.; Bohle, W.; Borstelmann, G.; Krawczyk, A.; Mader, I.; Müller, H.; Vohl, R. (2001): Bedarf für Fahrradabstellplätze bei unterschiedlichen Grundstücksnutzungen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 79, Bergisch Gladbach

Alrutz, D.; Bohle, W.; Willhaus, E. (1998): Bewertung der Attraktivität von Radverkehrsanlagen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 56, Bergisch Gladbach

Alrutz, D. u. Stellmacher-Hein, J. (1997): Sicherheit des Radverkehrs auf Erschließungsstraßen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 37, Bergisch Gladbach

Angenendt, W.; Blau, A.; Bräuer, D.; Draeger, W.; Klöckner, D.; Wilken, M. (2000): Radverkehrsführung an Haltestellen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 76, Bergisch Gladbach

Angenendt, W. u. Wilken, M. (1997): Gehwege mit Benutzungsmöglichkeiten für Radfahrer, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 737, Bonn-Bad Godesberg

Angenendt, W.; Bader, I.; Buth, Th.; Cieslik, B.; Draeger, W.; Friese, H.; Klöckner, D.; Lenssen, M.; Wilken, M. (1993): Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 9, Bergisch Gladbach

Angenendt, W. (1989): Sichere Gestaltung markierter Wege für Fahrradfahrer, Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft 202, Bergisch Gladbach

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2002): Nationaler Radverkehrsplan 2002-2012 FahrRad! Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs in Deutschland, Berlin

CROW – Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek (1994): Radverkehrsplanung von A bis Z, Ede/Niederlande

Draeger, W. (1997): Die StVO-Novelle – Konsequenzen für die planerische Praxis. In: Straßenverkehrstechnik, 41, Heft 12, S. 581-596

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:
- FGSV (1993): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV 93)
- FGSV (1995a: Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 95)
- FGSV (1995b): Hinweise zum Fahrradparken
- FGSV (1998a): Hinweise zur Beschilderung von Radverkehrsanlagen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrsordnung
- FGSV (1998b): Merkblatt zur wegweisenden Beschilderung für den Radverkehr
- FGSV (2002): Hinweise zum Radverkehr außerhalb städtischer Gebiete – H RaS 02

Hupfer, Ch.; Böer, H.; Huwer, U.; Jacob, H.; Nagel, U. (2000): Einsatzbereiche von Angebotsstreifen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 74, Bergisch Gladbach

Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes NRW (2002): FahrRad in NRW!, Düsseldorf

Schnüll, R.; Alrutz, D. u.a. (1992): Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten, Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft 262, Bergisch Gladbach

7.2 Fußgängerverkehr

7.2.1 Grundanforderungen und Planungsablauf

7.2.1.1 Grundsätzliche Eigenschaften und Anforderungen

Fußgänger beleben öffentliche Räume und tragen zur Lebendigkeit eines Stadtteils bei. Drei von vier täglichen Wegen in Städten sind mit einem Fußweg verbunden, ein knappes Drittel sind reine Fußwege. Charakteristisch für den Fußgängerverkehr ist, dass Distanzüberwindung und zielgerichtete Bewegung nur einen Teilaspekt darstellen. Auch Kommunikation und Aufenthalt sind wichtige Elemente des Zufußgehens. Fußgänger sind und gehen verschieden: Jung und Alt, allein, in Gruppen oder mit Hund, bepackt, einen Wagen schiebend. Zu Fuß ist man der Witterung unmittelbar ausgesetzt, hat außer seiner Kleidung und ggf. einem Regenschirm weder Hülle noch Dach. Weitgehend schutzlos sind Fußgänger auch gegenüber Kollisionen mit Fahrzeugen.

Wenn bei jedem zweiten Weg zu Fuß Gepäck, Einkaufskarren, Kinderwagen oder auch Tiere mitgenommen werden, dann steigt der Raumbedarf beim Gehen und Stehen. Hinzu kommt, dass sich Personen gegenseitig stützen und Fußgänger mit Kindern an der Hand unterwegs sind. Im Schnitt gehen 40 Prozent der Fußgänger mindestens zu zweit. In Einkaufsstraßen ist der Anteil an Gruppen noch höher. Die körperlichen und geistigen Fähigkeiten der Einzelnen unterscheiden sich, ebenso Art und Begleitumstände der Fortbewegung. Im Fußgängerverkehr vermischen sich zielgerichtete und erlebnisbezogene Wege. Fußgänger flanieren, halten inne, um etwas zu beobachten oder nachzudenken, treffen Bekannte und beginnen eine Unterhaltung.

Die Gehgeschwindigkeit schwankt je nach Alter, Geschlecht, Wegezweck und Charakteristik der Verkehrsanlage zwischen 0,5 und 1,8 Meter pro Sekunden (m/s). Die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Erwachsenen liegt bei 1,3 bis 1,5 m/s. Alte Menschen sind langsamer als Jugendliche; Fußgänger auf dem Weg zur Arbeit schneller als beim abendlichen Spaziergang. Die realisierbare Gehgeschwindigkeit hängt auch von der Fußgängerdichte ab. Hohe Dichten können diese erheblich herabsetzen. Als Grundmaß der Gehgeschwindigkeit beim Entwurf von Fußgängerverkehrsanlagen sind 1,0 m/s zu empfehlen. Diesen Wert erreichen oder überschreiten 85 Prozent aller Fußgänger. Er wird auch in den RiLSA (FGSV, 1992) als Räumgeschwindigkeit für Signalanlagen benannt, die überwiegend dem Schutz von älteren Menschen oder Behinderten dienen.

Umwege machen das Zufußgehen unattraktiv. Fußgänger suchen oft den kürzesten Weg, nicht zuletzt, um (unbewusst) Energie zu sparen. Ihre Umwegempfindlichkeit nimmt zu, je häufiger ein Weg gegangen wird. Haltestellen, die nur über lange Umwege erreichbar sind, werden weniger angenommen. Die Länge einer Distanz hängt nicht allein von der objektiv messbaren Zeit ab. In das subjektive Zeitempfinden fließen persönliche Eindrücke, äußere Bedingungen und der Wegezweck ein. Durch eine abwechslungsreiche Gestaltung können die Gehdistanzen und die Erreichbarkeit von Zielen im Fußgängerverkehr vergrößert werden.

Die in einem Straßenabschnitt zu erwartenden Fußgängerverkehrsstärken hängen wesentlich von den angrenzenden Nutzungen ab. Mit zunehmendem Anteil an Einzelhandel und publikumsorientierten Dienstleistungen steigt die zu erwartende Verkehrsstärke. Im Vergleich zu Werten von unter 100 Personen pro Stunde im Seitenraum von Wohnstraßen kann sie in zentralen Einzelhandelsbereichen 10- bis 20-mal so hoch liegen. Zeitlich wie räum-

lich konzentriert sind sehr hohe Verkehrsstärken häufig im Umfeld von Ausbildungsstätten, Arbeitsplatzschwerpunkten, Freizeiteinrichtungen oder Sehenswürdigkeiten zu verzeichnen.

7.2.1.2 Anforderungen der Barrierefreiheit

Das Mitte 2002 in Deutschland in Kraft getretene Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) konkretisiert Artikel 3 Grundgesetz (GG): „Niemand darf wegen seiner Behinderung benachteiligt werden." Ziel ist die Herstellung barrierefrei gestalteter Lebensbereiche sowie die Gewährleistung eines umfassenden Zugangs und einer uneingeschränkten Nutzung aller Lebensbereiche auch für behinderte Menschen. Im Verkehrsbereich gilt dies besonders für den Fußgängerverkehr im Zusammenspiel mit dem Öffentlichen Verkehr, da behinderte Menschen oft nicht über ein eigenes Kfz verfügen.

Mobilitätsbehindert sind bewegungs-, wahrnehmungs- und sprachbehinderte Menschen sowie Personen mit geistiger oder psychischer Behinderung. Im weiteren Sinne zählen auch ältere, übergewichtige, klein- oder großwüchsige Menschen, Analphabeten, Schwangere, Personen mit postoperativen Beeinträchtigungen oder vorübergehenden Unfallfolgen sowie Personen mit Kinderwagen oder besonders schwerem Gepäck dazu. Rechnet man diese Personengruppen zusammen, machen mobilitätseingeschränkte Menschen heute schon 30 Prozent der Gesamtbevölkerung aus und ihr Anteil steigt zunehmend. Verkehrsanlagen und öffentliche Bereiche sind nach BGG barrierefrei, wenn sie für behinderte Menschen in der allgemein üblichen Weise, ohne besondere Erschwernis und grundsätzlich ohne fremde Hilfe zugänglich und nutzbar sind. Um dies zu erreichen, sind folgende Grundprinzipien barrierefreier öffentlicher Straßenräume zu beachten:

Nivellierung – Abbau von Schwellen und Überbrückung von Niveauunterschieden;

Zonierung – Schaffung einbau- und hindernisfreier Geh- und Ruhebereiche;

Linierung – kontrastreiche Orientierungshilfen für Sehbehinderte und Schaffung taktiler, nicht vom Sehvermögen abhängiger Orientierungshilfen für Blinde.

Wesentliche Elemente barrierefreier Fußgängerverkehrsanlagen und Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern sind:

- Dimensionierung und Gestaltung der Wege (taktil und visuell wahrnehmbare Gliederung, Bewegungsflächen für Rollstuhlfahrer, Trennung Rad- und Fußgängerverkehr);
- Vermeidung abrupter Richtungsänderungen sowie starker Quer- und Längsneigungen;
- kontrastreiche Kennzeichnung von Pfählen, Beleuchtungsmasten und anderen Einbauten;
- ausreichende Dimensionierung von Wartebereichen und Aufstellflächen;
- Bordabsenkungen an Querungsstellen unter Beachtung der Belange Sehbehinderter und Blinder;
- Berücksichtigung von Blinden an Lichtsignalanlagen und Einsatz von taktilen Bodenelementen im Straßenraum (Bodenindikatoren);
- besondere Berücksichtigung der Belange Behinderter an Baustellen;
- rollstuhlgerechte Anlagen zur Überwindung von Höhendifferenzen (Rampen, Aufzüge);
- barrierefreier Zugang zum Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) im Zusammenspiel von Haltstellengestaltung und Fahrzeug (Minimierung von Reststufenhöhe und Spaltbreite).

7.2.1.3 Ablauf von Planung und Entwurf

Die Planung der Elemente im Wegenetz für Fußgänger kann nach den EFA" (FGSV, 2002) in einem dreistufigen Verfahren erfolgen. Mit dessen Anwendung werden die erforderlichen

Abmessungen und Elemente der Fußgängerverkehrsanlagen bestimmt. Im ersten Schritt wird die Grundausstattung, insbesondere die erforderliche Breite und Ausstattung der Wege ermittelt. Sie richtet sich nach der verkehrlichen Bedeutung der Straße und den Umfeldnutzungen und kann aus Tabelle 7.1 abgeleitet werden. Besonders hohe Geschwindigkeiten im Kfz-Verkehr oder besonderer Parkdruck können weitergehende Maßnahmen und die Erhöhung der Grundausstattung für die Verkehrsanlage erfordern. Im zweiten Schritt werden Einrichtungen mit besonderer Bedeutung für den Fußgängerverkehr oder mit erhöhtem Aufkommen an besonders schutzbedürftigen Personen ermittelt. In ihrem Einzugsbereich gelten erhöhte Anforderungen an die Gestaltung und den Entwurf. Im dritten Schritt wird geprüft, ob es Abschnitte im Wegenetz gibt, an denen zeitlich begrenzt ein besonders hohes Fußgängeraufkommen zu erwarten ist. Im Einzugsbereich solcher „Massenziele“ kann es sinnvoll sein, die Verkehrsanlagen nach dem HBS (FGSV, 2001) zu bemessen. Häufig reicht es jedoch aus, in diesen Bereichen die Grundausstattung der Fußgängerverkehrsanlage anzuheben.

In bestehenden Gebieten sind detaillierte Bestands- und Mängeluntersuchungen unabdingbar. Aus deren Auswertung und den drei Entwurfsschritten zur Ermittlung der erforderlichen Ausstattung und Gestaltung der Verkehrsanlagen lassen sich die notwendigen Maßnahmen ableiten. Bereiche mit dem höchsten Handlungsbedarf können herausgearbeitet werden. Oberste Priorität haben Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit, wie die Beseitigung von Unfallhäufungspunkten und die Realisierung von Maßnahmen der Schulwegsicherung. Zweite Priorität haben Maßnahmen, die von genereller Bedeutung für die Sicherheit und von hoher Bedeutung für den Komfort im Fußgängerverkehr sind. Dies betrifft vor allem die Beseitigung von Defiziten in hoch frequentierten Bereichen, die Herstellung einer guten Haltestellenerreichbarkeit und die Schaffung von bedeutenden Netzschlüssen. Zur dritten Priorität gehören Maßnahmen, die besondere Bedeutung für den Komfort des Zufußgehens aufweisen. Dazu zählen die Konfliktminderung im Seitenraum, der Umbau von Einmündungsbereichen, die Verbesserung der Durchlässigkeit von Barrieren und die Ergänzung von Querungsanlagen zur Vermeindung von Umwegen für Fußgänger.

7.2.2 Anlagen für den Längsverkehr

7.2.2.1 Gehweg, Bürgersteig und Seitenraum

Dem Längsverkehr dienen straßenbegleitende und selbständig geführte Gehwege, für den Fahrverkehr gesperrte Straßen und Wege (Spielstraßen, Fußgängerbereiche) sowie im Mischverkehr nutzbare Straßen, z.B. verkehrsberuhigte Bereiche und Wohnwege. An städtischen Straßen erfolgt die Führung der Fußgänger in der Regel im Seitenraum, auch als Bürgersteig, Gehweg, Trottoir oder Fußweg bezeichnet. Seitenräume prägen wesentlich das Bild städtischer Straßen, ihre Maßstäblichkeit und soziale Brauchbarkeit. Sie dienen vielfältigen Nutzungsansprüchen und müssen ausreichend breit und sorgfältig gegliedert sein.

Als funktionale Bereiche des Seitenraumes sind Gehbereich, Unterstreifen und Oberstreifen zu unterscheiden. Ihre gestalterische Verdeutlichung ist abhängig von Struktur und Charakteristik des Straßenraumes. Die Nutzung unterschiedlicher Beläge kann Vorteile bringen, wenn ausreichende Breiten zur Verfügung stehen. Die Gehbahn ist dem Fußgängerverkehr vorbehalten. Sie muss frei von oberirdischen Einbauten, ihre Oberfläche eben, griffig und gut begehbar sein. Im Oberstreifen werden vorrangig die Ansprüche der Randnut-

Tabelle 7.1 Grundanforderungen an Anlagen des Fußgängerverkehrs innerorts. (FGSV, 2002)

Kurzbeschreibung bzw. Nutzung	DTV[1] [Kfz/24 h]	Breite imSeitenraum[2]	Maßnahmen im Querverkehr[3]
Straßenunabhängig geführte Wege	-	3,00 m	(wenn Straßen gequert werden, ggf. dort erforderlich)
Befahrbare Wohnwege	< 500	Mindestbreite Straßenraum 4,50 m	keine Querungsanlagen erforderlich
Wohnstraße, offene Bebauung Einfriedung ≤ 0,50 m Einfriedung > 0,50 m	< 5.000	 2,10 m 2,30 m	in der Regel keine Querungsanlagen, ggf. vorgezogene Seitenräume
Grundausstattung des Seitenraumes in Wohnstraßen: Geschlossene Randbebauung, geringe Dichte, max. 3 Geschosse	< 5.000	**2,50 m**	vorgezogene Seitenräume
Geschlossene Randbebauung, mittlere Dichte: 3 bis 5 Geschosse	< 5.000	3,00 m	Mittelinseln, vorgezogene Seitenräume
Gemischte Wohn- und Geschäftsnutzung, mittlere Dichte: 3 bis 5 Geschosse	< 5.000	3,30 m	Mittelinseln, vorgezogene Seitenräume, Teilaufpflasterungen, FGÜ
Gemischte Wohn- und Geschäftsnutzung mit häufig frequentierter ÖPNV-Linie, hohe Dichte	< 5.000 < 10.000	4,00 m 5,00 m	Mittelinseln, FGÜ, ggfs. LSA LSA
Ortsdurchfahrt, geringe Dichte, landwirtschaftliche Nutzung	< 15.000 ≥ 15.000	3,30 m 4,00 m	Mittelinseln, FGÜ, ggfs. LSA LSA
Geschäftsstraße mit Auslagen, hoch frequentierter ÖPNV-Linie	< 15.000 ≥ 15.000	5,00 m 6,00 m	Linienhafte Querung: Mittelstreifen, FGÜ

1) Werden die Verkehrsstärken um mehr als 5.000 Kfz/24h überschritten, ist die Seitenraumbreite um 1,0 m zu erhöhen.

2) Sind punktuell oder linienhaft erhöhte Anforderungen zu erkennen, kommen Zuschläge nach Tabelle 7.2 infrage.

3) Die dargestellten Maßnahmen für den Querverkehr gelten für durchschnittliche Verhältnisse (siehe Kap. C 7.2.3)

zungen an die Straße erfüllt. Der Oberstreifen kann für Aufenthaltsfunktionen, Geschäftserweiterungen oder Werbeträger genutzt werden. Er wird im einfachsten Fall vom traditionellen „Traufpflaster“ gebildet und umgibt Fallrohre, Lichtschächte und Treppenstufen. Im Unter- bzw. Ausstattungsstreifen zur Fahrbahn hin ist Platz für Einbauten, Verkehrszeichen, Bäume, Aufenthaltsflächen, Fahrradabstellplätze sowie Park- und Lieferstände. Die Gestaltung des Seitenraumes ist mit der Zuordnung der Ausstattungselemente abzustimmen. Eine in der Oberflächenstruktur wahrnehmbare Trennung von Ober- und Unterstreifen zur Gehbahn kann der Orientierung blinder Menschen dienen, sofern Rauigkeit und Fugenanteil der Oberflächenstrukturen einen wahrnehmbaren taktilen und akustischen Kontrast aufweisen (siehe Abb. 7.11).

7.2.2.2 Breitenanforderungen an Seitenräume

Der Seitenraum hat nicht nur die Anforderungen des Fußgängerverkehrs zu erfüllen. Hier werden auch Müllbehälter, angelieferte Waren oder Baumaterial gelagert sowie Fahrzeuge abgestellt. Radfahrende Kinder müssen den Gehweg benutzen. Der Seitenraum muss einen angemessenen Aufenthalt und, wenn notwendig, auch Kinderspiel ermöglichen. In Abhängigkeit von den Randnutzungen treten Aufenthaltsansprüche konzentriert oder linear entlang eines Straßenabschnittes auf. Aufenthaltsformen reichen vom Ausruhen auf Bänken und dem Sitzen in Außenbereichen von Gaststätten bis zum Betrachten von Schaufenstern. Straßenecken, Hauseingänge und Nischen sind bevorzugte Spiel- und Aufenthaltsorte.

Für die Bemessung der Verkehrsflächen beschreiben die EFA (FGSV, 2002) eine Grundausstattung gemäß Tabelle 7.1, die sich an den Breitenanforderungen und Bewegungsabläufen von Fußgängern orientiert. Sie ist abhängig von der verkehrlichen Bedeutung der Straße sowie Art und Maß der angrenzenden baulichen Nutzungen. Dieser aus Sicht des Fußgängerverkehrs erforderliche Mindeststandard sollte, sofern dies die räumlichen Verhältnisse ermöglichen, nicht unterschritten werden.

Verkehrstechnische Bemessungsverfahren zur Dimensionierung sind weniger wichtig. Nur bei sehr starken, zielgerichteten Fußgängerströmen im Umfeld solitärer Verkehrserzeuger (z.B. „Massenziele“ wie Sportzentren oder Veranstaltungshallen) kann es sinnvoll sein, Verfahren zur Ermittlung der Kapazität und zur Bewertung der Verkehrsqualität nach dem Ansatz des Level of service (LOS) anzuwenden. Diese sind im HBS (FGSV, 2001) beschrieben.

2,50 m Seitenraumbreite als Mindestbreite

Die Grundausstattung von Fußgängerverkehrsanlagen orientiert sich zunächst am Raumbedarf von Fußgängern. Ein einzelner Fußgänger benötigt mindestens 80 cm Bewegungsbreite, zusammengesetzt aus 60 cm Schulterbreite und beidseitig 10 cm Bewegungszuschlag. Für das Begegnen bzw. Überholen ist ein Abstand von 20 cm anzusetzen. Zwei einzeln gehende Fußgänger benötigen für die Begegnung somit eine Breite von 1,80 m. Hinzu kommt ein Sicherheitsabstand zur angrenzenden Fahrbahn, zu festen und beweglichen Hindernissen und zur Grundstücksbegrenzung oder Hauswand. Mobilitätsbehinderte – z.B. mit Langstock, mit einer Begleitperson oder mit Rollstuhl – haben einen höheren Breitenbedarf (siehe Abb. 7.12 u. Abb. 7.13).

Als Regelfall für die Gehwegbreite im Seitenraum wird nach EFA (FGSV, 2002)eine Wohnstraße mit geschlossener Randbebauung und geringer Verdichtung, also überwiegender Wohnnutzung, angenommen (siehe Tabelle 7.1). Ausgehend vom Raumbedarf ergibt sich als Grundausstattung eine Mindestbreite des Seitenraumes von 2,50 m. Zwei allein gehende Fußgänger können sich begegnen, ohne in

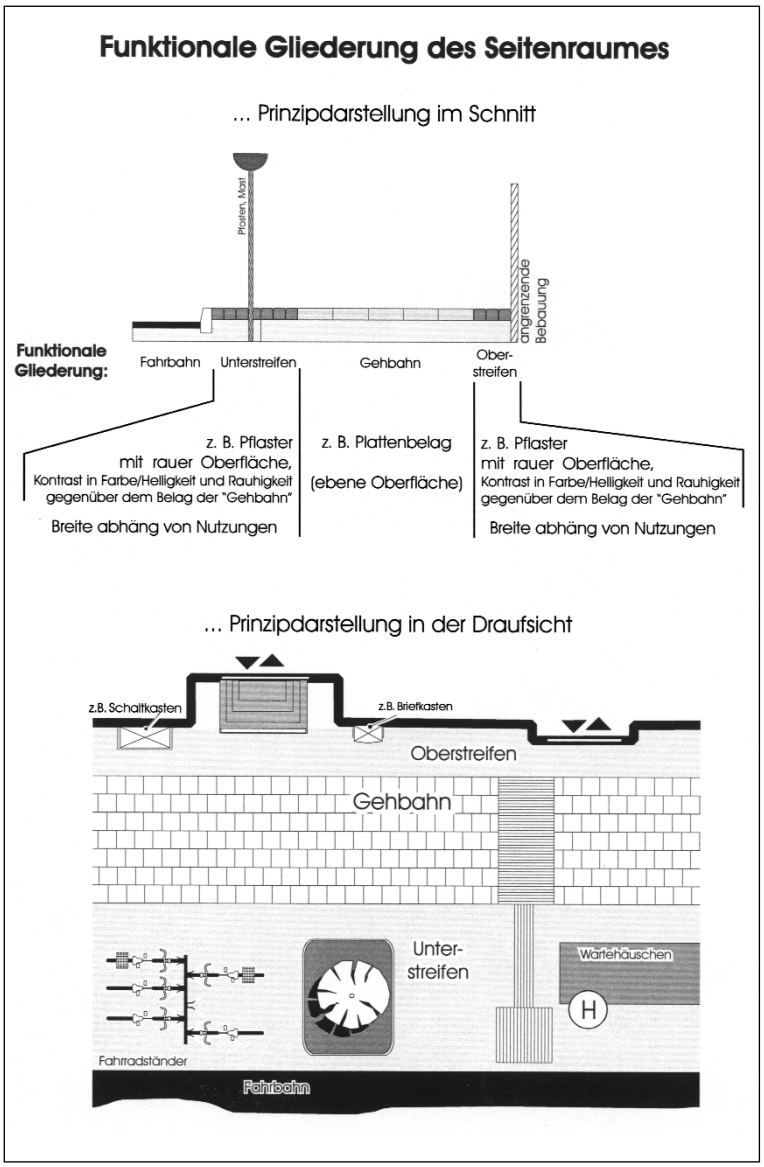


Abb. 7.11 Funktionale Gliederung des Seitenraumes.
(Eigene Darstellung)

die seitlichen Distanzzonen oder Sicherheitsräume ausweichen zu müssen. In Paaren nebeneinander gehende Personen können sich ungestört fortbewegen, soweit kein Gegenverkehr auftritt. Für Aufenthalt oder Auslagen steht bei 2,50 m Breite kaum Platz zur Verfügung. Geringere Breiten sind nur in Wohnstraßen mit geringem Fahrzeugverkehr und einer offenen Randbebauung angemessen.

Größere Seitenraumbreiten als 2,50 m sind vor allem erforderlich, wenn in der angrenzenden Bebauung ein hoher Anteil an Geschäftsnutzungen und an publikumsorientierten Dienstleistungen zu verzeichnen ist. Die Breitenanforderung resultiert nicht nur aus der höheren Fußgängerverkehrsstärke, sondern aus dem Platzbedarf für andere Nutzungen, wie Geschäftsauslagen, Lagerflächen oder ver-

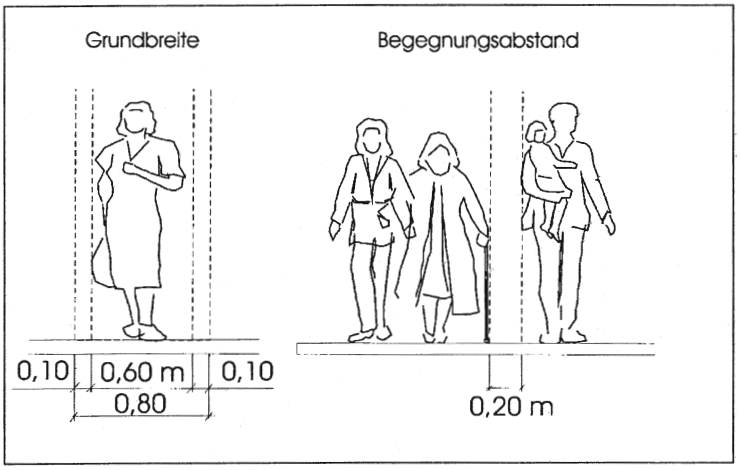


Abb. 7.12 Raumbedarf von Fußgängern zum Gehen und Begegnen. (FGSV, 2002)

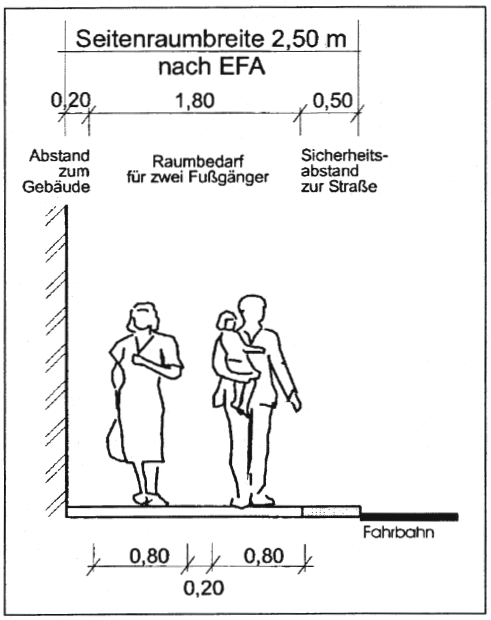


Abb. 7.13 2,50 m breiter Seitenraum. (FGSV, 2002)

kehrstechnische bzw. sonstige Einbauten sowie Warteflächen an Überquerungs- und Haltestellen (siehe Tabelle 7.2). Von Bedeutung ist auch die Stärke des Kfz-Verkehrs. Je höher diese ist, desto breiter müssen die Seitenräume sein, damit Fußgänger sicher und komfortabel geführt werden. Unter Einbeziehung gängiger Ausstattungselemente werden in den EFA (FGSV, 2002) für stärker frequentierte Straßen Seitenraumbreiten von bis zu 6,00 m angegeben (siehe Tabelle 7.1). In zentralen Lagen oder bei besonderen Anforderungen aus der städtebaulichen Gestaltung – zum Beispiel für die Anlage von Alleen oder Boulevards – können sich darüber hinaus höhere Breitenerfordernisse ergeben (siehe Abb. 7.14).

Punktuelle Engstellen an Bäumen, vorspringenden Gebäudekanten oder bei Bauarbeiten im Seitenraum sind nicht zu vermeiden. Eine Behinderung der Fußgänger kann gemildert werden, wenn statt des Seitenraumes auch die Fahrbahn punktuell eingeengt wird. Geringe Seitenraumbreiten erfordern ausreichende Sichtverhältnisse und ggfs. Warteflächen auf beiden Seiten der Engstelle. Eine Mindestbreite von 1,10 m sollte nicht unterschritten werden, damit ein Rollstuhl noch passieren kann.

Straßenunabhängig geführte Wege sollen mindestens 3,00 m breit sein. Für intensiv genutzte Wege mit hohem Fußgängeraufkommen, Wege auf denen Fußgänger in der Freizeit häufig in Gruppen gehen, regelmäßig Kinderspiel stattfindet sowie weitere Aufenthaltsnutzungen zu erwarten sind, ist auch eine größere Breite angemessen.

Tabelle 7.2 Richtwerte für Breitenzuschläge im Seitenraum (vgl. FGSV 2002, FGSV 1985/95, FGSV 1993)

Zusatzbreiten und Sicherheitsabstände für:		Richtwert [m]
Sicherheitsabstand zu Gebäuden, Mauern und Zäunen		0,20-0,25
Sicherheitsabstand zu Radverkehrsanlagen		0,25-0,50
Zusatzbreite für Brief- und Schaltkästen		0,50
Fahrzeugüberhang bei Senkrecht- / Schrägparkstreifen		0,75
Zusatzbreite für Verweilflächen vor Schaufenstern		1,00
Zusatzbreite für Grünstreifen ohne Bäume		≥ 1,00
Zusatzbreite für Ruhebänke		≥ 1,00
Zusatzbreite für Auslagen und Vitrinen		1,50
Zusatzbreite für Warteflächen an Haltestellen		≥ 1,50-2,50
Zusatzbreite für Grün- und Pflanzstreifen mit Bäumen		≥ 2,00-2,50
Stellfläche für Zweiräder mit	Aufstellwinkel 100 gon	2,00
	Aufstellwinkel 50 gon	1,50

Überdachungen, Arkaden, Passagen und Vordächer können Gehen und Aufenthalt auch bei schlechter Witterung erträglicher zu machen. Elemente für den Witterungsschutz können Bereiche zum Verweilen abgrenzen oder Aktivitätszonen, z.B. Marktplätze oder Veranstaltungspodeste, hervorheben. Das Gehen wird komfortabler, wenn sich bei Regenschauern Unterstellmöglichkeiten bieten, ggf. in Verbindung mit Sitzgelegenheiten. Hierfür eignen sich auch gut einzusehende, freundlich gestaltete Unterstände in Grünanlagen, auf Spielplätzen und an Haltestellen.

7.2.2.3 Gestaltung von Einbauten im Seitenraum

Einbauten sind zunächst alle Absperrungen, die Flächen für den Fußgängerverkehr vor konkurrierenden Nutzungen sichern. Gestalterisch gut geeignet sind Absperrungen, die ihre Aufgabe erfüllen, ohne sie vordergründig zu zeigen, z. B. Vitrinen, Stufen oder Bänke. Poller, Geländer oder Doppelborde zeigen ihre Zweckbestimmung deutlicher. Poller behindern das Befahren von Seiten- und Platzräumen wirkungsvoll, haben aber auch finanzielle oder gestalterische Nachteile. Bei der Auswahl von Absperrelementen sind die Belange der Fußgänger in Bezug auf Sicherheit und Erkennbarkeit zu beachten. Elemente quer zur Gehrichtung müssen reflektierend gekennzeichnet sein. Poller und andere Einbauten dürfen nicht niedriger als 60 cm sein, damit sie ertast- und erkennbar bleiben. In schmalen Seitenräumen sind Lösungen zu suchen, bei denen Fußgänger möglichst wenig beeinträchtigt werden.

Im Seitenraum und auf Plätzen angeordnete Pavillons, Kioske oder Informationselemente fördern Aufenthalt und Kommunikation. Sie bilden oft selbst Ziele und Treffpunkte im Fußgängerverkehr und erlauben die Kombination verschiedener Aktivitäten. Fußgänger benötigen an ihren Wegen Toiletten, Abfallbehälter, Uhren und Bänke. Mauern, Brunnen oder Plastiken eignen sich für attraktive Platzräu-

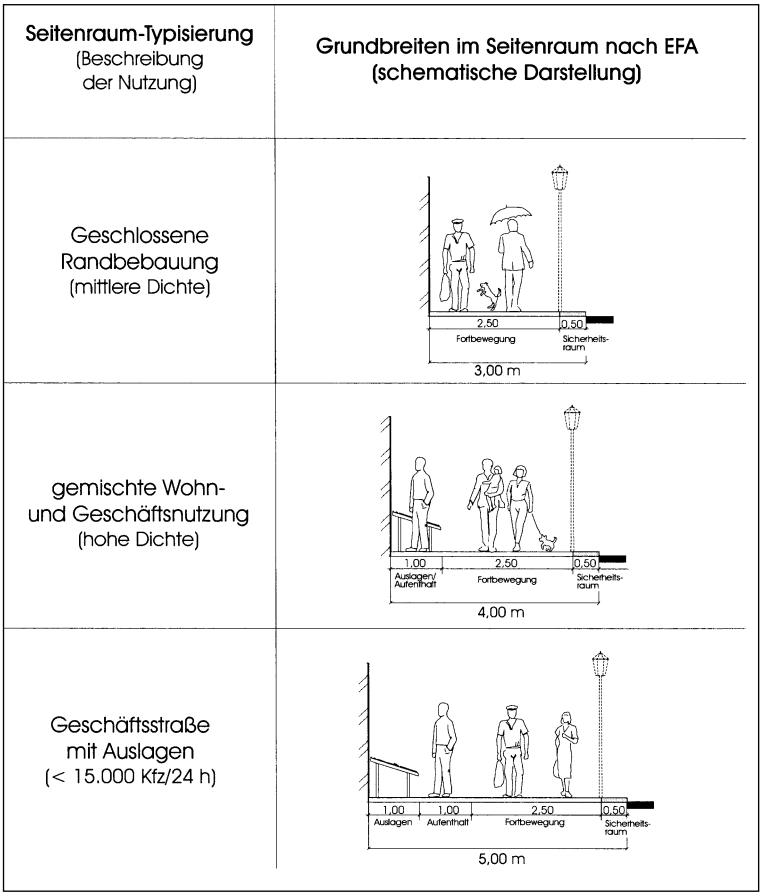


Abb. 7.14 Grundbreiten im Seitenraum. (FGSV, 2002)

me, bieten Möglichkeiten zum Ausruhen, Kommunizieren oder Spielen und sind offen für viele Nutzungen.

Die Zahl der an Einbauten und Absperrelementen angeschlossenen sowie an Hauswände gelehnten Fahrräder kann minimiert werden, wenn in ausreichender Zahl Abstellmöglichkeiten außerhalb der Gehbereiche zur Verfügung stehen. Vorzugsweise kommt hierfür der Unterstreifen oder der Fahrbahnrand in Betracht. Bewährt hat sich, in regelmäßigen Abständen Pkw-Stellplätze am Fahrbahnrand in Abstellplätze für Fahrräder umzuwandeln.

7.2.3. Anlagen für den Querverkehr

7.2.3.1 Formen und Einsatzbereiche

Dem Überqueren von Straßen dienen Fußgängerüberwege, Furten, Über- und Unterführungen, Gehwegüberfahrten sowie Querungshilfen (Aufpflasterungen, vorgezogene Seitenräume, Mittelinseln). Fußgänger werden zudem durch Dämpfung der Kfz-Geschwindigkeiten, ausreichende Beleuchtung und gute Sichtbeziehungen gesichert. Überquerungsanlagen sollen in der Hauptwegerichtung der Fußgänger liegen. Der Einsatz von Absperrungen, wie Geländer oder Grünstreifen, ist auf Ausnahmefälle zu beschränken. Wenn Fuß-

gängern der Umweg zur „sicheren“ Querungsstelle als zu groß oder zu unattraktiv erscheint, nehmen sie Regelverstöße in Kauf. An Stellen, an denen Absperrungen regelmäßig durch Fußgänger missachtet werden, fehlen dringend direkte und ebenerdige Überquerungsmöglichkeiten.

Für die Einsatzbereiche der Querungsanlagen gibt es fließende Übergänge. Die Eignung einer Anlage hängt von den Umfeldbedingungen und verkehrlichen Verhältnissen ab und erfordert eine Einzelfallbetrachtung. Nach den EFA (FGSV, 2002) kann die geeignete Querungsanlage für 2-streifige Innerortsstraßen aus den Fußgängerverkehrsstärken, den Kfz-Geschwindigkeiten und den Kfz-Verkehrsstärken abgeleitet werden (siehe Abb. 7.15). Der Einsatz von Mittelinseln kann die möglichen Kfz-Verkehrsstärken verdoppeln. Die Einsatzgrenzen für Fußgängerüberwege sind in den R-FGÜ 2001 (BMVBW, 2001) und den Einführungserlassen der Bundesländer geregelt. An Straßen mit mehr als zwei Fahrstreifen kommen vorzugsweise Lichtsignalanlagen als sichere Querungsanlagen in Betracht. Einfache Querungshilfen, die auch linienhaftem Querungsbedarf gerecht werden, sind an solchen Straßen selten ausreichend. Häufig sind ungesichert querende Fußgänger an Straßen mit mehr als zwei Fahrstreifen einer erheblichen Gefährdung ausgesetzt.

7.2.3.2 Überquerungshilfen

Fahrbahnaufpflasterungen in Straßen mit geringeren Kfz-Verkehrsstärken eignen sich in der Verbindung selbständiger Gehwege sowie vor Einrichtungen mit besonders schutzbedürftigen Personen. Das Material der Aufpflasterung unterscheidet sich vom Gehweg- und vom Fahrbahnmaterial. In Straßen mit Busverkehr oder höheren Radverkehrsstärken eigenen sich besonders Plateaupflasterungen. Die Teilaufpflasterung der Einmündung von Erschließungsstraßen in übergeordnete Straßen ist zu empfehlen, da Fußgänger die einmündende Nebenstraße sicherer queren können.

Mittelinseln werden auf Straßen mit höheren Kfz-Stärken eingesetzt. Sie können mit Aufpflasterungen oder vorgezogenen Seitenräumen kombiniert werden. Bei linienhaftem Querungsbedarf empfiehlt sich der Einsatz eines durchgehenden Mittelstreifens, der bei ausreichender Breite mit einzelnen Baumscheiben oder auch Leuchten ausgestattet werden kann. Es können auch in kurzen Abständen mehrere hintereinander liegende Mittelinseln angelegt werden.

Vorgezogene Seitenräume als Bordsteinvorziehungen in die Fahrbahnen hinein verbessern die Sichtverhältnisse besonders wirksam. Sofern entlang von Straßen regelmäßig Fahrzeuge bis an die Kreuzung oder Einmündung heran abgestellt werden, sollte das Vorziehen der Seitenräume der Regelfall sein. Auf der freien Strecke zwischen Knoten sind je nach Querungsbedarf auch Parkstreifen am Fahrbahnrand regelmäßig durch vorgezogene Seitenräume („Kaps“) zu unterbrechen (siehe Abb. 7.16 und 7.17).

7.2.3.3 Fußgängerüberwege

Die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Fußgängerüberwegen (FGÜ) sind in den R-FGÜ (BMVBW, 2001), den Verwaltungsvorschriften zur StVO und den Einführungserlassen der Bundesländer geregelt. Einzelne Bundesländer wie Nordrhein-Westfalen (NRW) haben spezielle Regelwerke zur Anlage von FGÜ herausgegeben.

Besonders bei höheren Kfz-Stärken ist zu empfehlen, FGÜ mit zusätzlichen baulichen Maßnahmen zu kombinieren. FGÜ mit Teilaufpflasterung werden in Verbindung selbständig geführter Wegeachsen sowie vor Einrichtungen mit schutzbedürftigen Personen angelegt. Auch über die Zufahrt in Erschließungsstraßen kann ein FGÜ mit Teilaufpflasterung zum Einsatz kommen. Plateaupflasterungen

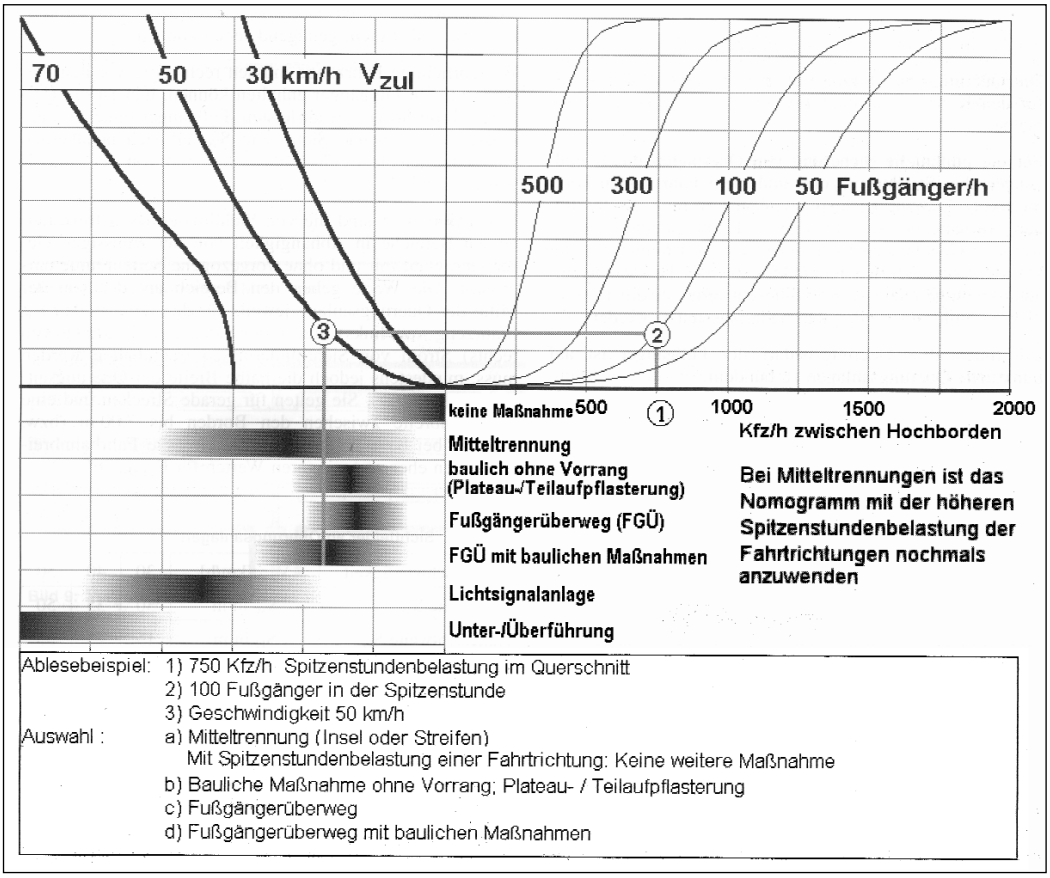


Abb. 7.15 Einsatzbereiche von Querungsanlagen auf der Strecke von zweistreifigen Innerortsstraßen < 8,50 m Fahrbahnbreite. (FGSV, 2002)

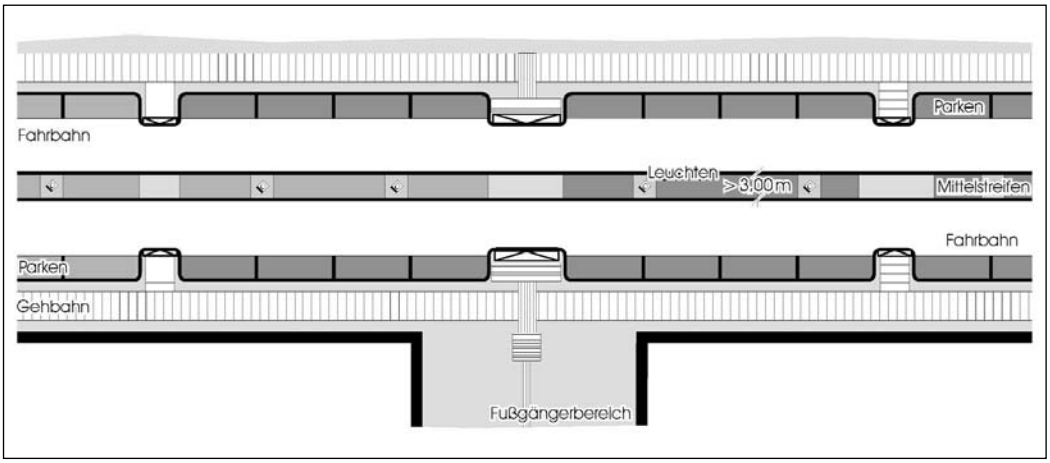


Abb. 7.16 Mittelstreifen als Querungshilfe. (Eigene Darstellung)

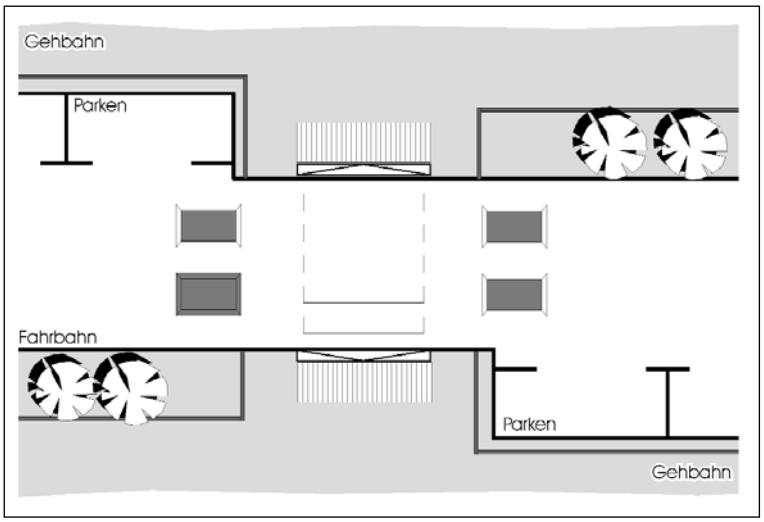


Abb. 7.17 FGÜ mit vorgezogenem Seitenraum und Plateaupflasterungen. (Eigene Darstellung)

vor bzw. hinter einem FGÜ dienen dazu, die Geschwindigkeiten zu reduzieren und eine gute Verständigung zwischen Kraftfahrern und Fußgängern zu ermöglichen. Sie sind in Straßen mit Linienbusverkehr oder höherer Radverkehrsstärke besonders geeignet. Bei höheren Kfz-Verkehrsbelastungen ist der Einbau von Mittelinseln zu empfehlen. Sie erweitern den Einsatzbereich von FGÜ, da sie eine Verdoppelung des Kfz-Aufkommens zulassen.

Wird an Knotenpunkten (in Ausnahmefällen) eine Dreiecksinsel angelegt, sollte der FGÜ über die Rechtsabbiegefahrbahn mit einer Teilaufpflasterung kombiniert werden. Lage und Ausführung des FGÜ richtet sich nach der Größe der Dreiecksinsel, den Gehrichtungen und der Menge der querenden Fußgänger.

Erfahrungen aus NRW zeigen, dass sich eine auffällige blau-weiße Kennzeichnung der Pfosten unter dem Zeichen 350 StVO „Fußgängerüberweg“ am Fahrbahnrand, wie auch die Anwendung von markierten (schmalen) Mittelinseln und Dreiecksmarkierungen sowie überfahrbaren Pollern in Fahrbahnmitte positiv auf die Sicherheit von Fußgängerüberwegen auswirken können. Auch eine schmalere Ausbildung der markierten „Zebrastreifen“ in einer Breite von 0,40 m für Balken bzw. Lücke hat sich bewährt, da dies den FGÜ zwischen Fahrbahnrand und Mittelinsel besser erkennbar macht.

7.2.3.4 Gehwegüberfahrten und Kreuzungen als „Verkehrsberuhigte Bereiche“

In Anliegerstraßen können selbständig geführte Hauptwegeachsen (z.B. Wege zwischen Grünanlagen oder Blockinnenbereichen) oder Fußgängerbereiche als Gehwegüberfahrten über die kreuzende Straße hinweg ausgebildet werden. Die Überfahrten sind durch steile Anrampungen so zu gestalten, dass Fahrzeugführer den Eindruck haben, über eine Grundstückszufahrt hinweg zu fahren. Der Gehweg bzw. der Fußgängerbereich wird ohne Absatz über die Straße hinweg geführt. Besonders die Zufahrten zu „Verkehrsberuhigten Bereichen“ aber auch zu Anliegerstraßen können ebenfalls als Gehwegüberfahrten ausgebildet werden. Die Kfz-Belastung in der Einfahrt, die Zahl der Linksabbieger aus der Vorfahrtstraße und der Anteil an Lieferfahrzeugen sollten hier in der Regel gering sein. In der untergeordneten Straße führen Einfahrtsteine auf Gehwegniveau. Der zum Befahren vorgesehene Bereich

kann mit Pollern gegen die reinen Gehbahnen abgegrenzt werden.

Ähnliche Einsatzbedingungen gelten für die Gestaltung von Kreuzungen als „Verkehrsberuhigte Bereiche“. Eine solche Gestaltung empfiehlt sich, wenn eine erkennbare Aufenthaltsfunktion gegeben ist. Dies kann z.B. im Umfeld oder in der Verbindung von Fußgängerbereichen der Fall sein. Der gesamte Knoten wird als Mischverkehrsfläche ausgebildet. Im Randbereich können besondere Schutzräume für Fußgänger durch Absperrelemente gesichert werden. Die Gestaltung erfolgt in alle Knotenpunktarme hinein (siehe Abb. 7.18).

7.2.3.5 Fußgängerfurten

Die zeitliche Separation der Verkehrsströme an Lichtsignalanlagen (LSA) kann Fußgängern ein sicheres Queren ermöglichen (siehe auch Teil D, Kap. 3.4). Wesentliche Fragen der Gestaltung von LSA regeln die Verwaltungsvorschriften zur-StVO zu § 37 und die RiLSA (FGSV, 1992).

Über jeden Arm eines Knotenpunktes muss eine Fußgängerfurt angelegt werden, sofern es Querungsbedarf und einen weiterführenden Gehweg gibt. Fußgängern ist ein zügiges Vorankommen zu ermöglichen. Da Kinder, alte Menschen und Behinderte ein besonderes Schutzbedürfnis haben, soll sich die Ausbildung lichtsignalgesteuerter Querungsstellen an deren Eigenschaften orientieren. Die Furten sind in der gewünschten Gehrichtung der Fußgängerströme und nahe der parallelen Fahrbahn anzulegen. Warteflächen sind so anzulegen, dass wartende Fußgänger auch in Spitzenzeiten die Längsgehenden nicht behindern. Die Fußgängersperrzeiten sind den vorhandenen Warteflächen anzupassen. Steht nicht ausreichend Fläche zur Verfügung, kommt eine Verkürzung der Umlaufzeit oder die Schaltung einer zweiten Freigabephase („Doppelanwurf“) für Fußgänger in Frage. Auch die Gewährung von „Diagonalqueren“ kann den Bedarf an Warteflächen minimieren.

Konflikte mit Kfz-Abbiegeströmen stellen für Fußgänger an signalgeregelten Knoten ein besonderes Risiko dar. Konfliktfreie Schaltungen schließen diese Gefährdung aus. Sie sind zu empfehlen, wenn an kompakten Knotenpunkten eine Häufung von Konflikten auftritt, der Abbiegeverkehr stark bzw. unter den Abbiegern ein hoher Schwerverkehrsanteil zu verzeichnen ist oder die Kfz-Geschwindigkei-

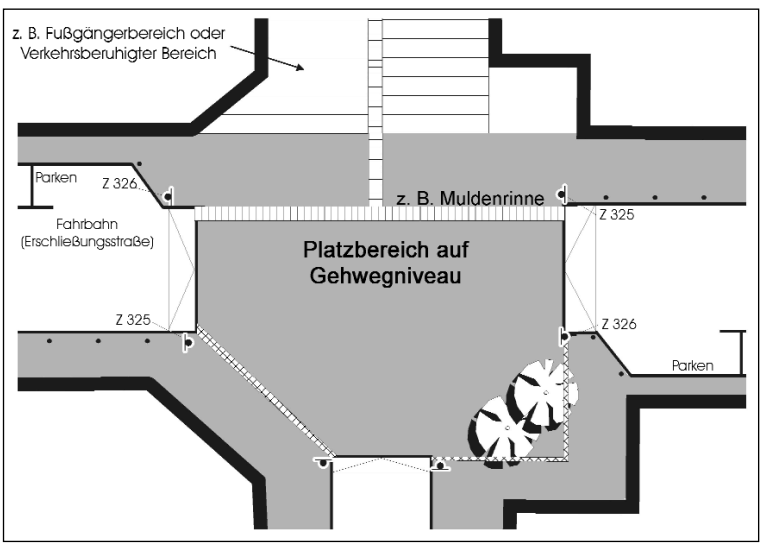


Abb. 7.18 Kreuzung als verkehrsberuhigter Bereich.
(Eigene Darstellung)

ten hoch sind. Eine konfliktfreie Schaltung kann bei eingeschränkten Sichtbeziehungen oder einem hohem Anteil von Kindern, älteren oder behinderten Menschen von Vorteil sein. Ob alle Furten gleichzeitig freigegeben werden („Rundum-GRÜN“) und eventuell die Möglichkeit zum Diagonalqueren eingeräumt werden kann, hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab. Diagonalqueren ist zu erwägen, wenn starke Fußgängerströme über Eck zu verzeichnen sind. Dafür sind zusätzliche Signalgeber und diagonale Furten anzubringen. Der durch konfliktfreie Schaltungen ermöglichte vollständige Signalschutz ist gegen damit verbundene längere Umlaufzeiten abzuwägen. Lange Umlaufzeiten erhöhen auch für Fußgänger die Wartezeiten, was zu erhöhten Rotläuferanteilen führen kann. Zu langen Wartezeiten kann durch eine zweite Freigabephase für Fußgänger innerhalb eines Umlaufs begegnet werden. An nicht konfliktfrei geschalteten Anlagen ist der Beginn der Freigabezeiten so zu versetzen, dass Fußgänger sich ein bis zwei Sekunden vor dem abbiegenden Kfz auf der Konfliktfläche befinden.

Im Regelfall sollte für Fußgänger von einer Räumgeschwindigkeit von 1,00 m/s ausgegangen werden. Befindet sich die LSA in der Nähe von Schulen, Seniorenheimen, Behinderteneinrichtungen oder sind viele Menschen mit schwerem Gepäck zu erwarten, kann im Einzelfall eine niedrigere Gehgeschwindigkeit gerechtfertigt sein. Es ist aber abzuwägen, ob dadurch Wartezeiten an der Signalanlage entstehen, die von anderen Verkehrsteilnehmern als deutlich zu lang empfunden werden. Zu berücksichtigen ist, dass Fußgänger eine Reaktionszeit haben und eine Anlaufzeit brauchen, bis die angenommene Gehgeschwindigkeit erreicht wird. Auch Behinderungen durch gegenläufige Fußgängerströme sind zu beachten, ebenso, dass der tatsächliche Räumweg über die Fahrbahn für bestimmte Personen, z.B. beim Schieben eines Kinderwagens, weiter ist, als die Entfernung zwischen den Borden. Die Mindestfreigabezeit für Fußgänger soll auch bei zweistreifigen Fahrbahnen mindestens zehn Sekunden betragen.

Fußgängern soll keine unplausible Wartezeit zugemutet werden, da sonst die Rotläuferanteile anwachsen. An verkehrsabhängig gesteuerten LSA sind nicht ausgelastete Fahrzeugfreigabezeiten abzubrechen und für eine frühere Fußgängerfreigabezeit zu nutzen. Die Freigabezeit für Fußgänger soll der Freigabezeit des parallelen Kfz-Stromes entsprechen, da lange Sperrzeiten bei parallel freigegebenem Kfz-Verkehr von Fußgängern nicht akzeptiert werden.

Die Sperrzeiten für Fußgänger sollten möglichst auf 40 Sekunden begrenzt sein, die maximale Wartezeit soll 60 Sekunden nicht übersteigen. An Fußgänger-LSA mit aktivierter Freigabezeitanforderung (Anforderungstaster) sind besonders geringe Sperrzeiten anzustreben, da hier die Wartebereitschaft gegenüber der Festzeitsteuerung deutlich nachlässt. Anzustreben ist eine möglichst unmittelbare Freigabe. Die Abfolge von Fußgängerfreigabezeiten ist auf die Hauptwegebeziehungen abzustimmen, um geringe Wartezeiten und das zügige Begehen aufeinanderfolgender Furten zu ermöglichen. Auf sich addierende Wartezeiten für Fußgänger, die über Eck queren wollen, ist besonders zu achten, wenn diese Ströme stark sind.

Damit Fußgänger nicht verunsichert werden, ist zu gewährleisten, dass mit einer Geschwindigkeit von 1,00 m/s mindestens zwei Drittel der zweiten Fahrbahnhälfte überschritten sind, bevor die Räumzeit beginnt. „Progressive Schaltungen“ sind problematisch, da die unterschiedliche Signalisierung auf beiden Seiten der Fußgängerfurt bei abbiegenden Kraftfahrern und auch bei Fußgängern zu Missverständnissen führen kann. Sie sollen nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden.

An Haltestellen nimmt die Zahl der Rotque-

rungen beim Herannahen von Bus oder Bahn zu. An verkehrsabhängig gesteuerten Anlagen ist am Fahrbahnrand wartenden Fahrgästen ein sicheres Erreichen des einfahrenden Fahrzeuges zu ermöglichen. An Haltestelleninseln sollten Fahrgäste möglichst immer an beiden Enden queren können.

Schnelle Freigabemöglichkeiten bietet die „Alles-ROT/Sofort-GRÜN"-Signalisierung. Sie stellt in verkehrsschwachen Zeiten eine besonders günstige Steuerungsart dar. Etwas längere Wartezeiten nach erfolgter Anforderung weisen „DUNKEL-Anlagen" auf. Solche „schlafenden" LSA sind für Fußgänger günstiger als das Abschalten der LSA in verkehrsschwachen Zeiten. Fußgängern steht es je nach Schutzbedürfnis frei, die Signalregelung anzufordern.

An Fußgänger-LSA außerhalb von Knotenpunkten sind Anforderungstaster sinnvoll, an Kreuzungen verunsichern sie Fußgänger und führen zu Reisezeitverlusten. Sinnvoll sind Anforderungstaster hier nur dann, wenn Fußgängern tatsächlich eine rasche Freigabe ermöglicht werden soll, so z.B. bei „Alles-ROT/Sofort-GRÜN"-Signalisierung.

7.2.3.6 Über- und Unterführungen für Fußgänger

Auf Unter- bzw. Überführungen sollte innerstädtisch außer in speziellen topographischen Situationen oder bei der Querung von Bahnanlagen verzichtet werden. Bestehende Anlagen sind durch niveaugleiche Querungsmöglichkeiten zu ergänzen oder zu ersetzen. Sind sie in Ausnahmefällen unerlässlich, kann eine besonders attraktive Gestaltung Akzeptanzprobleme minimieren. Es sind generell rollstuhlgerechte Rampen bzw. Aufzüge vorzusehen. Treppen sind kontrastreich und mit Bodenindikatoren zu gestalten. Es ist auf eine gute Übersichtlichkeit zu achten. Bei der Gestaltung von Unterführungen ist auf vandalismusanfällige Materialien zu verzichten, ebenso auf Nischen und Vorsprünge. Nachts ist zum Schutz vor kriminellen Übergriffen möglichst immer alternativ ein niveaugleiches Queren zu ermöglichen. Überführungen sind mit einem Witterungsschutz unter Beachtung der Windverhältnisse auszustatten.

Literatur

Alrutz, D. u. Bohle, W. (1999): Flächenansprüche von Fußgängern. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V71. Bergisch-Gladbach

Bräuer, D.; Dittrich-Wesbuer, A.; Draeger, W. (2001): Fußverkehr: Eine Planungshilfe für die Praxis. In: ILS-Baustein Nr. 24. Dortmund

Bundesministerium für Gesundheit (Hrsg.) (1997): Verbesserung der visuellen Informationen im öffentlichen Raum – Handbuch zur bürgerfreundlichen und behindertengerechten Gestaltung des Kontrastes, der Helligkeit, der Farbe und der Form von optischen Zeichen und Markierungen in Verkehrsräumen und in Gebäuden. Berlin

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.):
- BMVBW (1997): Bürgerfreundliche und behindertengerechte Gestaltung von ÖPNV-Haltestellen. Reihe direkt, Band 51. Bonn
- BMVBW (2000): Bürgerfreundliche und behindertengerechte Gestaltung des Straßenraumes – Ein Handbuch für Planer und Praktiker. Reihe direkt, Band 54. Bonn
- BMVBW (2001): Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen R-FGÜ. Berlin

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:
- FGSV (1992): Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)
- FGSV (1993): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV 93)
- FGSV (1985/95): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE 85/95)
- FGSV (1995): Hinweise zum Fahrradparken
- FGSV (2001): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)

– FGSV (2002): Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA)

Mennicken, C. u. Schnüll, R. (1998): Sicherheitsstandards von Fußgängerüberwegen (Zebrastreifen). Entwurf (Stand Juni 1998) des Schlussberichtes zum FE-Vorhaben 77398/96. Hannover

Weiterführende Literatur DIN-Normen zur Barrierefreiheit (Auswahl, Stand 12/2003):

DIN 18024, Ausgabe 1998-01: Barrierefreies Bauen, Teil 1: Straßen, Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze – Planungsgrundlagen

DIN 32984, Ausgabe:2000-05: Bodenindikatoren im öffentlichen Verkehrsraum

DIN 32982, Ausgabe 2002-06: Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte an Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA)-Anforderungen

Entwurf DIN 18030: Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen (soll Teil 1 und 2 von DIN 18024 zusammenfassen)

Entwurf DIN 32975: Optische Kontraste im öffentlich zugänglichen Bereich

Teil D
Elemente der Verkehrs-beeinflussung im Stadtverkehr

1 Einführende Übersicht

1.1 Verkehrsbeeinflussung im Planungsprozess

Verkehrsbeeinflussungssysteme erweitern die klassische, langfristige Verkehrsentwicklungsplanung, indem auch mittel- und kurzfristig auf die Verkehrsnachfrage Einfluss genommen bzw. das Verkehrsangebot, örtlich/zeitlich begrenzt, variiert wird. Derartige Maßnahmen, die im Wesentlichen auf die Verkehrsmittelwahl, die Zeit- und die Wegewahl bzw. auf den Verkehrsablauf wirken, werden unter dem Begriff Verkehrsmanagement subsummiert. Durch die europäische und nationale Forschungsförderung auf dem Gebiet der Verkehrstelematik (aus Telekommunikation und Informatik, im Verkehrsbereich auch synonym mit Transport Telematics bzw. Intelligent Transport Systems, ITS) wurden auch für den Stadtverkehr geeignete Methoden und differenziertere Technologien für das Verkehrsmanagement entwickelt und implementiert, die zur Verbesserung der Verkehrsabwicklung in den Städten dienlich sind. Zu nennen sind hier beispielsweise Eureka PROMETHEUS, die EU-Rahmenprogramme für F+E mit DRIVE und Folgeprojekten (Keller, 2001) sowie die BMBF-Leitprojekte zur Mobilität im Ballungsraum und zum Verkehrsmanagement 2010.

Mit diesem Hintergrund sind die Planungsprozesse erweitert. Einerseits ist Verkehrsmanagement integraler Bestandteil der Verkehrsentwicklungsplanung und damit der Infrastrukturplanung und andererseits sind die Planungsinstrumente für die nicht nur zeit- und zustandsabhängigen, sondern verkehrsabhängigen Verkehrslenkungsmaßnahmen weiter dynamisiert. Abbildung 1.1 zeigt die jeweiligen Erweiterungen auf den unterschiedlichen Ebenen der hierarchisch gegliederten Planungsprozesse.

Auf der ersten Ebene, der der *Verkehrsentwicklungsplanung,* werden *Szenarien* künftiger Ausgestaltung der Verkehrsinfrastruktur in Abhängigkeit von Bevölkerungs-, Wirtschafts- und Siedlungsstruktur, von Aktivitätenmustern und Verkehrsverhalten und damit von Verkehrsnachfrage und Verkehrsangeboten gebildet und dabei die Potentiale des *Verkehrsmanagements* berücksichtigt. Dies enthält die Verfügbarkeit von Handwerkszeugen zur Dynamisierung der Planungsprozesse, um auch die Maßnahmen des Verkehrsmanagements – zum Beispiel die dynamisierte Nutzung von kostensparenden Umkehrspuren bei von Zeit und Richtung abhängiger Verkehrsnachfrage – in den Planungsprozess für die Verkehrsinfrastruktur einbeziehen zu können. Dadurch ist auch eine Grundlage für die Erstellung des Mengengerüsts für ex-ante- und ex-post-Bewertungen von Verkehrsmanagementmaßnahmen gegeben.

Auf der zweiten Ebene, der des strategischen Verkehrsmanagements, werden inter-, multi- und monomodale Verkehrsleitstrategien entwickelt, abgestimmt und die jeweiligen Verantwortlichkeiten mit den Entscheidungsträgern festgelegt. Diese Strategien sind ein Bündel koordinierter Maßnahmen für die Aufgaben, die die unterschiedlichen Verkehrsverwaltungen im städtischen und regionalen Verkehr haben, wie die der Verkehrsordnung und der Lenkung und Steuerung des Verkehrsaufkommens im Allgemeinen.

Voraussetzung für die Umsetzung des inter- oder multimodalen Verkehrs- und Mobilitätsmanagements ist der *Ausbau und die Vernet-*

zung der Betriebsleit- und Steuerungssysteme der Verkehrsträger in der Stadt und im Umland. Dazu sind *Verkehrsmanagementarbeitsplätze* und ein entsprechender Datenverbund in geeigneten Zentralen erforderlich. Auf dieser Basis können dann *verkehrliche Situationsanalysen*, die Gestaltung und Bewertung der Verkehrsleitstrategien und die dazu einzusetzenden Maßnahmen und Systeme entwickelt und abgestimmt werden. Je nach Strategie und damit verbundenen Ausprägungen werden diese zentral oder dezentral entwickelt und veranlasst.

Die Ausgestaltung der *Maßnahmen* innerhalb der Leitstrategien erfolgt auf der dritten Ebene, der des *taktischen Verkehrsmanagements*. Dies geschieht über

- *hoheitliche*, im Wesentlichen kollektive Systeme zur Verkehrsteuerung und Verkehrsinformation von Seiten der Verkehrsverwaltungen und durch
- *personalisierte,* individuelle, eher privat

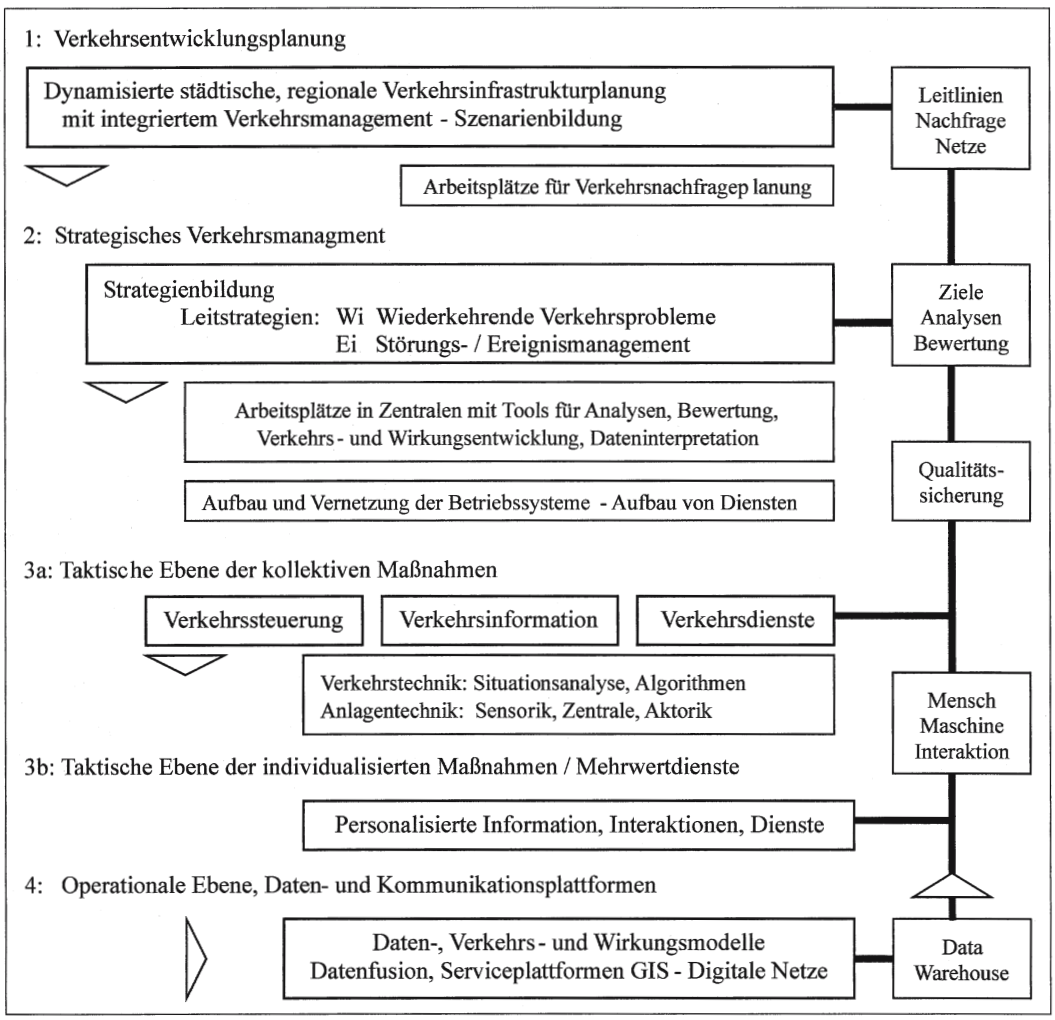


Abb.1.1 Elemente des Verkehrsmanagements im Kontext des hierarchisch strukturierten Mehrebenensystems der Verkehrsplanungsprozesse. (Eigene Darstellung)

finanzierte Verkehrs- und Informationsdienste.

Voraussetzung hierzu ist auf der vierten Ebene der Planungsprozesse, der *der Daten und der Kommunikation*, die Beschaffung der Daten, die Entwicklung von Daten-, Verkehrs- und Wirkungsmodellen in Zentralen unter Nutzung offener Systemarchitekturen für die Daten- und Serviceplattformen auf Basis digitaler Verkehrsnetze und Geo-Informationssystemen.

Dieser Prozess der Entwicklung der Strategien und Maßnahmen ist mehrfach rückgekoppelt, so dass deren Ziele, Maßnahmen und Wirkungen definiert, analysiert, bewertet und die Verantwortlichkeiten zugewiesen werden können, bevor Entscheidungen über die zu realisierenden Strategien und Maßnahmen getroffen werden.

Mit Verkehrsmanagement als Teil der Verkehrsentwicklungsplanung wird ebenso das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung verfolgt. Für Siedlungsagglomerationen kann dies zum Beispiel zumindest eine Aufrechterhaltung der bisherigen Verkehrsmittelwahl bedeuten, indem Verkehrsmanagement über Informations- und Leitsysteme zu einer Stärkung der Angebote an Öffentlichen Verkehrsmitteln beiträgt ebenso wie zur Optimierung der Verkehrsabläufe im Straßennetz.

Die *Nachhaltigkeit* wird an der Trias der sozialen, ökologischen und ökonomischen Dimension gemessen, was im Verkehrssektor unter anderen durch die Wirkungskomponenten

- Verkehrssicherheit,
- Verkehrsemissionen,
- Verkehrseffizienz

beurteilt werden kann. Aus *verkehrstechnischer Sicht,* der der Baulastträger und Betreiber der Verkehrsanlagen, orientieren sich die Maßnahmen an den Zielen, die

- Kapazitäten der Verkehrssysteme zu erhöhen,
- Auslastung in den Verkehrssystemen zu optimieren
- Potentiale aus der Vernetzung der Verkehrssysteme zu nutzen und
- Kapital- und Betriebskosten gering zu halten.

Aus Sicht der *Verkehrsteilnehmer* sind die Bewertungskriterien zudem vornehmlich

- Fahr- bzw. Reisezeiten,
- Fahr- und Bedienungskomfort,
- Halte- und Übergangsmöglichkeiten zwischen Verkehrsmitteln,
- Servicequalität,
- Fahrzeugbetriebskosten.

Die *Telematik* (Nora u. Minc, 1975) als Herausforderung des telematischen Zeitalters, jedem Teilnehmer durch preiswerte Hard- und Software digital verfügbares Wissen in Echtzeit und überall zur Verfügung zu stellen, hat für das Verkehrsmanagement neue Chancen eröffnet. Durch die drei wesentlichen Eigenschaften von telematischen Netzen, der Geschwindigkeit, Gleichzeitigkeit und Interaktivität, ist die Telematik auch für eine maximale Nutzung der Infrastruktur mit optimaler Abstimmung unter den vorhandenen Verkehrssystemen als Mittel einsetzbar.

1.2 Maßnahmenkategorien des Verkehrsmanagements

Verkehrsmanagement wird auf zwei Hierarchieebenen der Verkehrsplanungsprozesse praktiziert. Bei Verkehrsmanagement im *weiteren* Sinne wird Infrastrukturplanung und Verkehrsmanagement als Einheit in der Verkehrsentwicklungsplanung behandelt. Im *engeren* Sinne wird Verkehrsmanagement (Verkehrsablaufmanagement) bei vorgegebener

Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsnachfrage als Planungsvariante betrachtet.

Für das Verkehrsmanagement im engeren Sinn wird ein Verkehrsverhalten unterstellt, bei dem zu Beginn der Fahrt/Reise f_{ijmtr} im Wesentlichen die

– *Zielwahl j und weitgehend die Verkehrsmittelwahl m* fixiert sind,

so dass die Verkehrsnachfrage nur über die

– *Zeitwahl t und Wegewahl r*

und das Verkehrsangebot nur durch

– *Veränderung der vorhandenen – räumlich und zeitlich nur begrenzt variierbaren – Kapazitäten und der Belegung der Fahrzeuge*

beeinflussbar ist und damit auch die Analyse von deren Wirkungen auf die Verkehrsqualität – auch wenn eine Verlagerung von Straßenverkehr auf den Öffentlichen Verkehr eine Handlungsvariante ist. Diese Einschränkung ist dann bedeutsam, wenn eine Bewertung der Wirkungen eingeleiteter Maßnahmen an der Referenz der Ausgangssituation orientiert wird und dabei bei gegebener modaler Auslastung modale Verlagerungen und Interdependenzen nicht berücksichtigt werden können.

Eine besondere Position hat in diesem Kontext das *Mobilitätsmanagement* als eher *mittelfristige* Einflussnahme auf die Verkehrsnachfrage durch Verkehrsberatung im Kontext der Standortwahl und des Mobilitätsverhaltens einzelner Personen oder Personengruppen in Firmen oder von Firmen und deren innerbetrieblichen Verkehrsabläufen.

Das Zusammenwirken von Verkehrsnachfrage, Verkehrsangebot und den Maßnahmenkategorien des Verkehrsmanagements ist in Abbildung 1.2 schematisch dargestellt, die auf den Ansätzen des F+E-Programms DRIVE basiert (Keller, 2002).

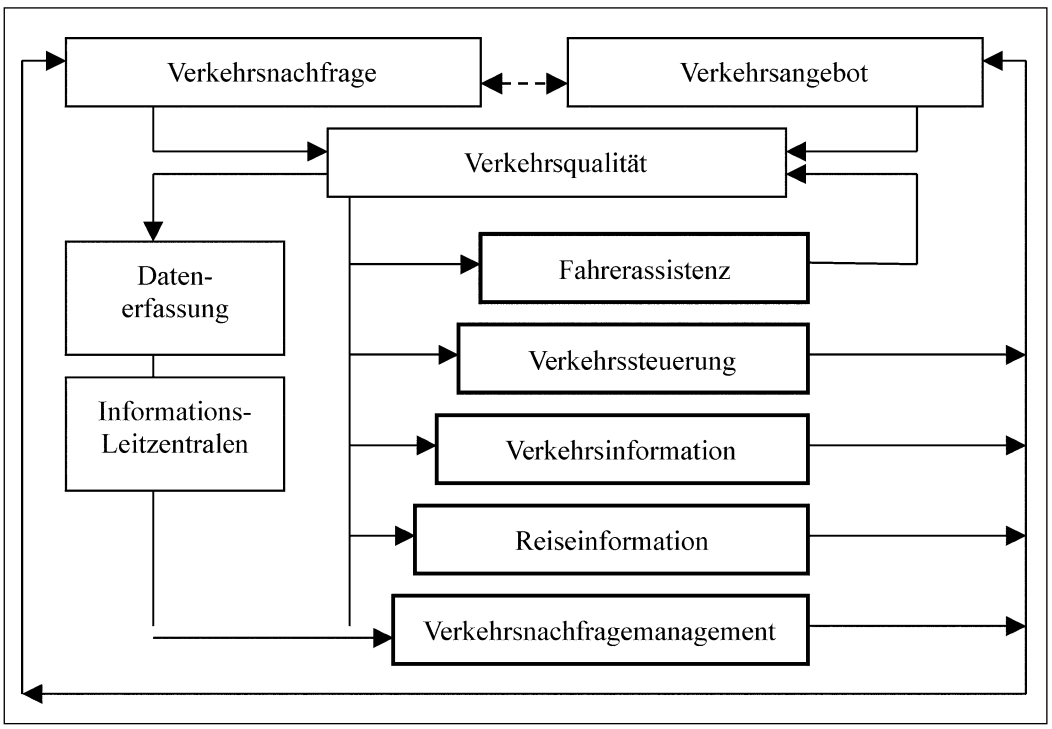


Abb. 1.2 Maßnahmenkategorien des Verkehrsmanagements im Rahmen von Verkehrsnachfrage, Verkehrsangebot und Verkehrsablauf. (Eigene Darstellung)

Diese Kategorien lassen sich hierarchisch nach folgenden Inhalten gliedern:

- *Fahrerassistenz*,
  das sind den Fahrer assistierende Systeme wie Abstands- und Geschwindigkeitshaltung, aber auch regelnde Systeme wie das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) bzw. die Möglichkeiten aus der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation.
- *Verkehrssteuerung,*
  das ist die dynamische Steuerung, z.B. durch verkehrsadaptive Netzsteuerung der Lichtsignalanlagen bzw. mittels verkehrsabhängig geschalteter Zielpläne für Wechselwegweiser oder mittels Streckenbeeinflussung auf Schnellstraßen.
- *Verkehrsinformation*,
  das sind aktuelle Informationen über die verkehrlichen Gegebenheiten während der Fahrt (on trip), z.B. über die Gründe für eine Wechselwegweisung auf alternative Routen, Hinweise auf P+R-Möglichkeiten oder Gefahrenstellen oder die dynamischen Navigationssysteme im Fahrzeug.
- *Reiseinformationen,*
  das sind Informationen für den Verkehrsteilnehmer über die Verkehrslage vor Antritt der Fahrt/Reise (pre-trip) im Kontext der Reiseplanung, z.B. über den Verkehrsfunk oder aus dem Internet.
- *Verkehrsnachfragemanagement,*
  das sind eher langfristige, organisatorische Einflussnahmen auf die außerhäuslichen Aktivitäten mit dem Ziel der räumlichen, zeitlichen und/oder modalen Veränderung der Verkehrsnachfrage durch Beeinflussung z.B. der Verkehrsmittelwahl oder des Beginns der Arbeitszeiten, aber auch Parkraummanagement und Straßenbewirtschaftung. Dabei ist nach Personen- und Güter- bzw. Wirtschaftsverkehr zu unterscheiden.

1.3 Verkehrsleitstrategien und Steuerungsverfahren

Die verkehrstechnische Komponente eines Verkehrsbeeinflussungssystems, das Leitverfahren, wird steuerungstechnisch mit Hilfe der *Leitstrategie* umgesetzt. Die Leitstrategie enthält den grundlegenden Lösungsansatz, d.h. die generellen Zielsetzungen, Regeln und Maßnahmen, nach denen der Verkehr in einem Verkehrssystem beeinflusst werden soll. Sie legt somit die beabsichtigte Vorgehensweise im Rahmen der verkehrlichen Gegebenheiten und der einzusetzenden Mittel fest (Keller, 2002).

1.3.1 Steuerungsverfahren

Die Konkretisierung der Leitstrategie für ein Leitverfahren und deren Umsetzung im Rahmen der Anlagentechnik ist Aufgabe des *Steuerungsverfahrens* (siehe Abb. 1.3). Dieses enthält

- den Kontext, die Ziel- oder Gütefunktion mit den Zielkriterien,
- die Verkehrs- und Wirkungsmodelle zur Beschreibung der Entscheidungssituation,
- das Steuerungsmodell mit den Steuerungskriterien und das Entscheidungsmodell zur Ermittlung des bestmöglichen Steuerungszustandes.

Die Genauigkeit der Verkehrsabbildung zum Ist-Zeitpunkt und für den Prognosehorizont ist eine entscheidende Voraussetzung für eine ausreichend genaue Ermittlung der Wirkungen und damit der Bewertung von Steuerungsmaßnahmen. Da mit Hilfe der lokalen Detektion im Allgemeinen lediglich Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Fahrzeugart erfasst werden und damit im Wesentlichen das Fundamental-

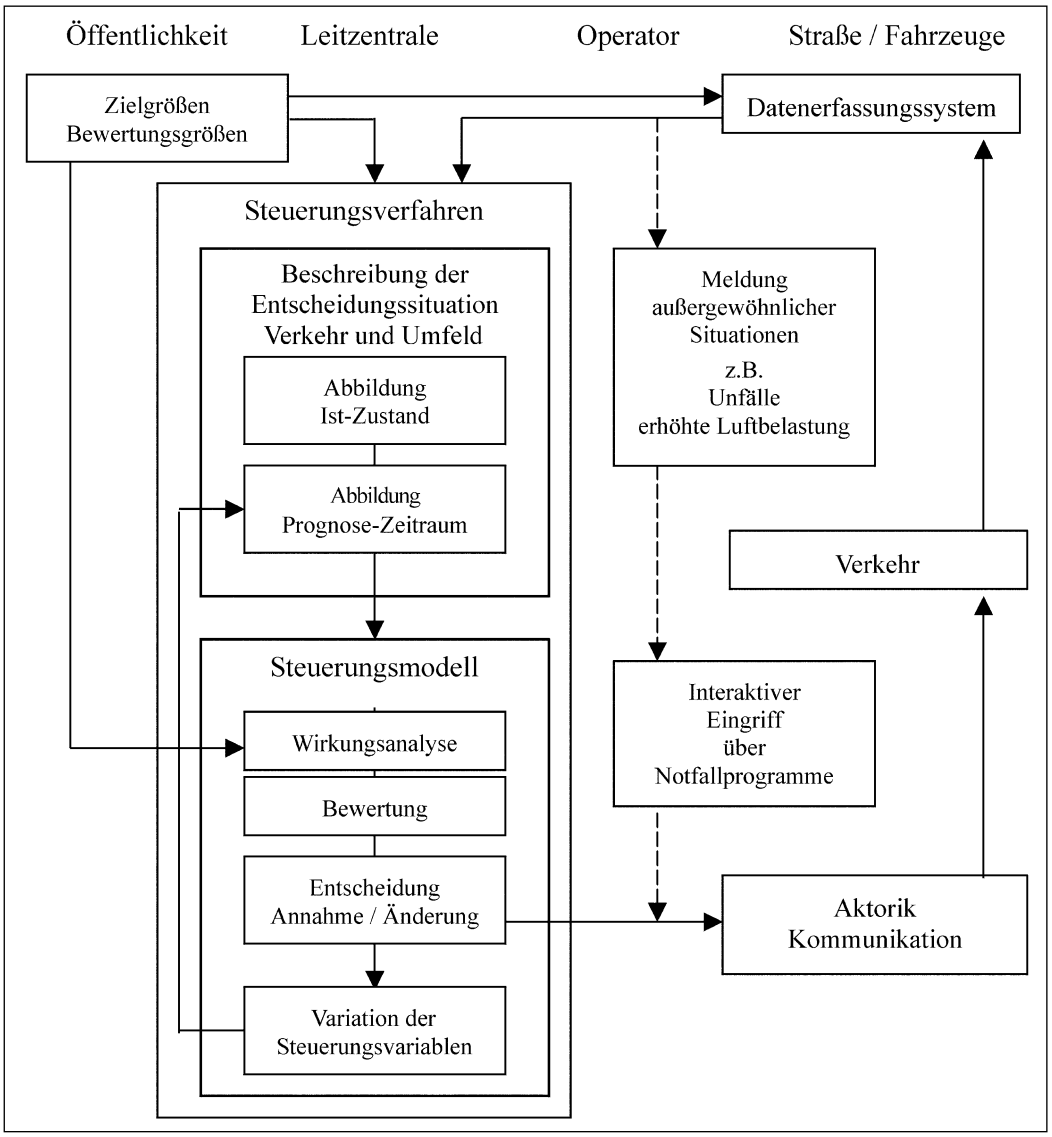


Abb. 1.3 Rahmen und Elemente von Steuerungsverfahren. (Eigene Darstellung)

diagramm als Verkehrsmodell dient, sind gegebenenfalls die Verkehrsbeziehungen indirekt mit den Verfahren der Matrixschätzung zu ermitteln. Aufwendigere Modelle, wie mathematische Verkehrsfluss- bzw. Simulationsmodelle, benötigen zusätzliche Daten, geben den Verkehrsablauf mit den gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den Fahrzeugen oder Stausituationen erforderlichenfalls entsprechend besser wieder.

Bedingung für den Einsatz dieser Modelle ist, dass sich die durch die Zielgrößen geforderten Kennwerte für die Bewertung im Entscheidungsalgorithmus quantifizieren lassen. Auch das verkehrliche *Umfeld,* wie Wetterlage und Straßenzustand, müssen entsprechend

dem eingesetzten Steuerungsverfahren modellmäßig abgebildet sein und in der Änderung der Steuerungsvariablen Niederschlag finden.

Für die Bewertung ist eine quantifizierbare Gütefunktion (Performance Index) darzustellen, die evtl. eine Gewichtung der verschiedenen Wirkungskomponenten im Sinne der Zielkriterien beinhaltet. Entsprechend der vorgegebenen Bewertungskriterien werden in der Wirkungsanalyse die Folgen des eingestellten Steuerungszustandes für den Prognosezeitraum ermittelt.

Die zu betrachtenden Wirkungskomponenten sind geprägt durch die Nachhaltigkeit, ausgedrückt durch die verkehrliche Effizienz, die Verkehrssicherheit und die Umweltqualitäten Schall- und Abgasemissionen. Für die interne Bewertung der online Steuerung werden diese Wirkungen in der Zielfunktion, Z_k beispielsweise durch die Wartezeiten, W_k [Fz. Std/Std] und die Anzahl der Halte, H_k [Halte/Std] repräsentiert und durch Wirkungsgewichte g_{Wk}, g_{Hk} entsprechend dimensionsrein transformiert:

$$Z_k = W_k \cdot g_{Wk} + H_k \cdot g_{Hk} \qquad (1.1)$$

Kern des Steuerungsmodells ist der *Entscheidungsalgorithmus*. Dabei ist das Entscheidungsproblem: „Wahl der geeigneten Steuerungseingriffe zur Beeinflussung entsprechend der vorgegebenen Zielsetzung unter den gegebenen Umständen“ eindeutig zu formulieren und zu lösen. Zunächst ist die Entscheidung zu treffen, ob der eingestellte Steuerungszustand beibehalten wird oder eine Änderung getestet werden soll. Als Entscheidungsregeln werden z.B. verwendet: das Überschreiten von vorgegebenen Schwellenwerten eines Entscheidungskriteriums oder die Optimierung des Gütemaßes einer Zielfunktion beim Vergleich von Varianten.

Aufbauend auf der erkannten Verkehrssituation in der Zustandsanalyse können die Steuerungsvariablen schrittweise verändert werden. Neben feststehenden Restriktionen, wie die Einhaltung von Zwischenzeiten bei Lichtsignalanlagen (LSA), soll die Variation des Steuerungszustandes intelligenten Algorithmen gehorchen, um den Verkehrsablauf den Zielgrößen entsprechend zu optimieren. Für den Fall einer vorgegebenen Iterationszahl wird die Steuerungskombination angenommen, die bei der Bewertung den besten Güteindex erreicht.

Eine alternative Entscheidungslogik ist, den bisherigen Steuerungszustand jeweils zu übernehmen, falls damit für den Prognosezeitraum ein Schwellenwert für den Güteindex nicht überschritten wird. Wird dieser Wert überschritten, ist so lange nach einer neuen Steuerungskombination zu suchen, bis ein akzeptabler Güteindex gefunden ist. Wird in der maximal zur Verfügung stehenden Zeit keine solche Kombination gefunden, z.B. bei Überlastung des Systems, wird die mit dem bisher besten Index angenommen.

Der so gefundene optimale Steuerungszustand wird für das kommende Zeitintervall an das Kommunikationssystem der Maßnahmen, wie an Lichtsignalgeber oder Wechselwegweiser, weitergegeben. Durch die fortlaufende Datenerfassung und deren Analyse kann überprüft werden, ob die Prognose zutrifft oder gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen sind.

1.3.2 System- und Nutzeroptimum

Zur optimalen Aufteilung beispielsweise der Verkehrsbeziehungen in einem Wegenetz können zwei allgemeine Kriterien unterschieden werden: Entweder jeder einzelne Fahrer minimiert seine individuellen Fahrtkosten oder die Gesamtkosten werden für alle Fahrer mini-

miert. Diese Arten der Optimierung werden als 1. bzw. 2. Wardrop'sches Prinzip (Wardrop, 1952) oder Nutzer- bzw. Systemoptimum bezeichnet.

Am Beispiel zweier Routen mit unterschiedlichen Kosten, z.B. Reisezeiten, c_1 bzw. c_2 und einer Fahrtenbeziehung f_{12} lassen sich beide Kriterien veranschaulichen (s. Abb. 1.4).

Beim ersten Kriterium, dem Nutzeroptimum, wird davon ausgegangen, dass die Fahrer über die Verkehrssituation auf dem Wegenetz voll informiert sind und deshalb die Route 2 wählen, da zunächst $c_2 < c_1$. Werden die Reisezeiten als Funktion der jeweils vorherrschenden Verkehrsstärke, in Netzen auch als Fluss f_r ($r \in \{1,2\}$) bezeichnet, angenommen, nimmt bei erhöhtem Fluss auf Route 2 die Reisezeit auf $c_2(f_2) = c_1 = 240$ s zu, so dass dann Fahrer auch die Route 1 wählen. Die Fahrer wählen ihre Route so, dass jeder die gleiche Reisezeit benötigt, bzw. keiner die Reisezeit dadurch verkürzen könnte, indem er eine andere Route wählt.

Allgemein entscheidet sich der Fahrer bei r Routen danach für die Route a von k nach l, wenn immer

$$c_a(f_a) \leq c_r(f_r) \qquad r \neq a \tag{1.2}$$

unter der Nebenbedingung, dass

$$\sum_r f_r = \text{const.} \tag{1.3}$$

Die einzige stabile Lösung für dieses Problem ist

$c_r(f_r) = c$ auf allen Routen mit $f_r > 0$

$c_r(f_r) \geq c$ und $f_r = 0$ auf allen anderen Routen, wobei

$\sum_r f_r = f$ den Wert c bestimmt. (1.4)

Nach dem zweiten Kriterium, dem *Systemoptimum*, werden die Fahrer so gelenkt, dass ihre Gesamtkosten (hier die Reisezeit) C im Wegenetz minimiert werden, d.h.

$$\text{Min: } C = \sum_r f_r \cdot c_r(f_r) \tag{1.5}$$

unter der Bedingung

$$\Sigma f_r = f = \text{const. und } f_r \geq 0 \tag{1.6}$$

Die Lösung dieser Extremalbedingung mit Nebenbedingung erfolgt mittels der Lagrange'schen Multiplikatoren λ:

$$\text{Min: } C = \sum_r f_r \cdot c_r(f_r) + \lambda \cdot \sum_r f_r \tag{1.7}$$

wofür sich für den Fall von zwei Routen folgende Bedingung für die Aufteilung der Flüsse bei gleichen Kosten ergibt:

$$c^* = c_1^* = c_2^* = c_r(f_r) + f_r \cdot \frac{\Delta(c_r(f_r))}{\Delta f_r} \qquad \text{mit } r \in \{1,2\} \tag{1.8}$$

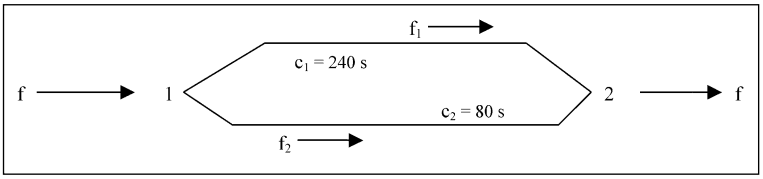


Abb. 1.4 Routenunterschiedliche Kosten c_i zwischen Quelle und Ziel mit jeweiligen Flüssen f_i der Fahrtenbeziehung f_{12}. (Eigene Darstellung)

Das erste Glied $c_r(f_r)$ der Gleichung kann als Durchschnittskosten, mit denen ein Fahrer auf der Route zu rechnen hat, bezeichnet werden, während das zweite Glied den Kosten entspricht, die der neue Reisende den anderen Fahrern auferlegt.

c^* sind somit Grenzkosten. Auch aus dieser letzten Gleichung ergibt sich die Aufteilung der Flüsse auf die zwei Routen nicht explizit; ein Beispiel für eine graphische Lösung für eine benutzer- sowie systemoptimierte Aufteilung zeigt Abbildung 1.5.

Die belastungsabhängigen Kostenfunktionen sind dabei einander entgegengesetzt über dem Gesamtfluss f_{12} aufgetragen. Das Ergebnis zeigt, dass das nutzerbedingte Aufteilungsverhältnis von f_1/f_2 = 3.200/800 Fz/h zu f_1/f_2 = 2.800/1.200 Fz/h beim Systemoptimum verändert wird. Hierbei ist zu beachten, dass die Verkehrsteilnehmer eher geneigt sind, das Nutzeroptimum anzustreben, so dass es eine Frage der Akzeptanz der Leitempfehlung ist, ob und inwieweit dieser Gewinn erzielt werden kann. Um doch ein Systemoptimum zu erreichen, sind entsprechende Rahmenbedingungen vorzugeben, die sich unter anderem auf eine Internalisierung der externen Kosten stützen.

1.3.3 Anwendungsprinzipien

Die Unterscheidung nach Nutzer- und Systemoptimum und die dargestellte Struktur der Steuerungsverfahren haben sowohl für die Informationssysteme als auch für die Verkehrssteuerungssysteme Gültigkeit.

Durch die Überlagerung von Verkehrsströ-

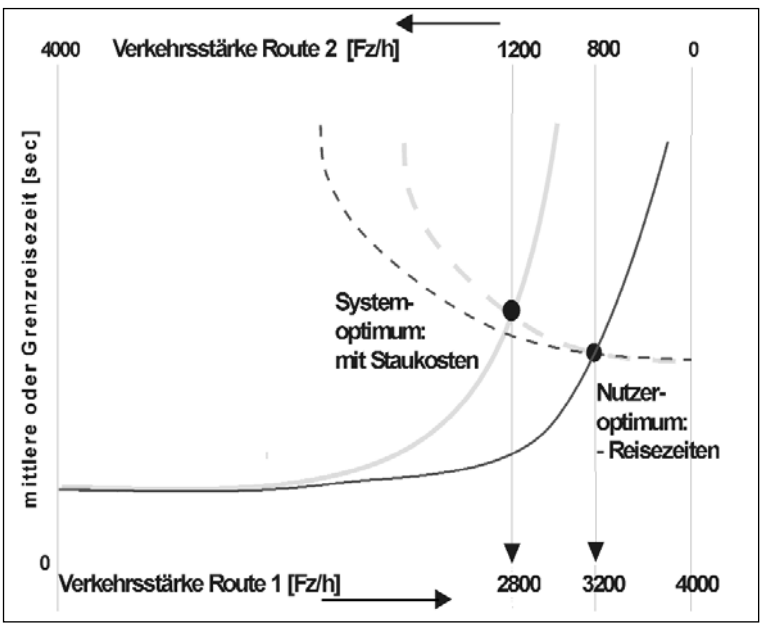


Abb. 1.5 Graphische Darstellung der Durchschnitts- und Grenzkosten auf die Routen 1 und 2 sowie der benutzer- bzw. systemoptimalen Aufteilung einer Verkehrsbeziehung von 4.000 Fz/h. (Eigene Darstellung)

men mit unterschiedlichen Fahrer- und Fahrzeugpopulationen bzw. unterschiedlichen Fahrtzwecken, Fahrtweiten und Zielen auf dem Wegenetz eines Ballungsraums sind deren Interaktionen und Wirkungsmechanismen bei der Gestaltung der Leitstrategien Rechnung zu tragen, aber auch gleichzeitig die Möglichkeiten von deren Berücksichtigung zu relativieren.

Die Beeinflussung der Verkehrsnachfrage mit den Mitteln des Verkehrsmanagements ist sowohl von den eher langfristigen Einstellungen als auch in hohem Maß von dem eher kurzfristigen Verhalten der Verkehrsteilnehmer abhängig, so dass im Vordergrund jeder Maßnahme steht, das Vertrauen der Verkehrsteilnehmer in die Richtigkeit und Sinnfälligkeit der Maßnahmen zu gewinnen.

Auch wenn teilweise die Einhaltung der Maßnahmen erzwungen werden kann, wie nach der StVO die zulässige Höchstgeschwindigkeit, ist in der Realität eine uneingeschränkte Beachtung nicht zu erreichen und eine ausreichende Überwachung nicht gegeben. Das amerikanische Leitbild der drei „e“ (education, engineering, enforcement) ist in diesem Kontext Vorbild, indem nur Regelungen eingeführt werden sollten, die auch überwacht werden können. Ob und inwieweit dies gesellschaftlich erwünscht und durchsetzbar ist, bleibt abzuwägen.

Für die Verkehrsbeeinflussung bedeutet dies, dass bei Maßnahmen, die nicht durch gesetzliche Vorschriften geregelt werden und überwacht werden können, versucht werden muss, die Akzeptanz der Verkehrsteilnehmer durch die Verlässlichkeit und Qualität der Information und Empfehlungen zu erreichen.

Dies trifft für private Dienste ebenso zu wie für die hoheitlichen Maßnahmen. Mit verlässlichen und qualitätsvollen Verkehrsinformationen ist nicht nur eine hohe Akzeptanz, sondern auch eine ausreichende Zahlungsbereitschaft für die Mehrwertdienste der im Wesentlichen privaten Diensteanbieter zu erreichen.

In diesem Zusammenhang sind sowohl die kollektiven und individuellen Leitmaßnahmen miteinander abzustimmen als auch die öffentlichen Maßnahmen und privaten Diensteangebote in den Leitstrategien abzugleichen. Die Verkehrsinformationen sind weiterhin in den Kontext der Aktivitäten der Reisenden zu stellen. Das bedeutet sowohl ein vollständiges Angebot für die Information, Buchung, Reservierung und Bezahlung zum Beispiel einer Reise als auch ein vollständig vernetztes, mit anderen, nicht verkehrlich orientierten Angeboten sowie ein integriertes bzw. aufgesatteltes Angebot dieser Dienste, um diese kosteneffektiv anbieten und vermarkten zu können.

Besondere Beachtung ist dabei den mobilitätseingeschränkten Reisenden zu widmen, um diesen die Reise einerseits überhaupt zu ermöglichen und andererseits die Reiseabwicklung durch Hilfestellungen und entsprechende Serviceleistungen zu erleichtern.

Literatur

Keller, H. (2001): Telematikanwendungen im Verkehr im Kontext des 4. Rahmenprogramms der EU, Internationales Verkehrswesen 53, S. 80-85.

Keller, H. (2002): Materialen: Verkehrsleitsysteme im Straßenverkehr. Veröffentlichungen des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung. Technische Universität München

Nora, S. u. Minc, A. (1975): Die Informatisierung der Gesellschaft. Frankfurt a. M./New York

Wardrop, J. G. (1952): Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proc. Inst. Civil Engrs., Part II, 1, S. 325-362

2 Verkehrsmanagement in Städten und deren Umland

2.1 Strukturen des Verkehrsmanagements

2.1.1 Kooperatives Verkehrsmanagement

Die Verkehrsprobleme der Städte sind eng verbunden mit der Siedlungsstruktur in ihrem Umland, so dass sie aus der Gesamtsicht der Ballungsräume gesehen werden müssen. Die Suburbanisationsprozesse und die damit verbundene weitgehend disperse Siedlungsstruktur begünstigen eher den motorisierten Individualverkehr, so dass die entstehenden Verkehrsströme der Berufspendler am Übergang vom Fernstraßennetz zum Stadtstraßennetz zu erheblichen Verkehrsstörungen führen. Handlungsvarianten sind langfristig der integrale Ansatz für Wohnen und Arbeiten, d.h. die Stützung der relativen Nahbereichsbeziehungen (Krau, 2003) sowie eine Angleichung der Siedlungsstruktur an die Verkehrsangebote, vornehmlich an diejenigen des Öffentlichen Verkehrs. Mittel- und kurzfristig bestehen Handlungsvarianten in denen des Verkehrsmanagements bei gegebener Verkehrsinfrastruktur, das heißt neben den Möglichkeiten der Verkehrsvermeidung sind es Maßnahmen zur Förderung der modalen Verlagerung von motorisiertem Individualverkehr (MIV) auf den Öffentlichen Verkehr (ÖV) und die stadtverträgliche Abwicklung des Straßenverkehrs durch räumlich/zeitlich wirksame Maßnahmen zur Beeinflussung der Zeit- und Wegewahl.

In München wurde in diesem Kontext das *Kooperative Verkehrsmanagement* entwickelt bei dem zur Bewältigung der städtischen und regionalen Verkehrsprobleme von konzertierten Aktionen der Verkehrsbehörden der Landeshauptstadt und des Umlandes, in diesem Fall des Freistaates Bayern, im Verbund mit der ortsansässigen Industrie und der Wissenschaft, ausgegangen wird (Zackor et al., 1989). Ein Kern dieses Ansatzes ist das Zusammenwirken der Aufgabenträger des Öffentlichen Verkehrs und der Baulastträger des motorisierten Individualverkehrs. Dieses multilaterale Vorgehen verdeutlicht, dass Maßnahmen des Verkehrsmanagements nicht nur über funktionale und technische Aspekte umgesetzt werden können, sondern vornehmlich institutioneller Abklärungen bzw. Vereinbarungen bedürfen.

Als Beispiel kann das für die Region München gewählte Konzept für die Informations- und Steuerungssysteme für den Straßenverkehr im BMBF geförderten Projekt MOBINET dienen, das die notwendige institutionelle Kooperation von Stadt und Umland und den regionalen Ansatz für Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen im Stadtverkehr verdeutlicht. Entsprechend der Hierarchie des Radial-Ring-Straßennetzes der Stadt und Region München wurden vier Ebenen der Verkehrsbeeinflussung definiert und dafür entsprechende Maßnahmen entwickelt (MOBINET, 2003):

– *NetzInfo* als straßenseitiges, graphisches Informationsangebot, maßgeblich für Ortskundige, im Zuge des Fernstraßenrings A 99 zur verkehrssituationsabhängigen Routenwahl in die Stadtquartiere bzw. zum Stadtzentrum, beispielhaft auf der A 94 auf Basis einer vernetzten Datenbasis zwischen Landeshauptstadt München (LHM) und Freistaat Bayern (Scharrer et al., 2003)

- *Sektorsteuerung* als Mittler für die Alternativrouten vom Fernstraßenring zum Mittleren Ring in München mit einer zwischen Freistaat und Stadt abgestimmten Steuerungsstrategie und gleichzeitiger Ertüchtigung der Lichtsignalanlagen auf den alternativen Routen durch verkehrsadaptive Netzsteuerung und einer Freitextanzeigetafel auf der A 8 West
- *RingInfo* als straßenseitige Information am Ende der A 95 und der A 96 mit Anzeige der Verkehrsstauungen auf dem Mittleren Ring auf einer graphischen Informationstafel zur Erleichterung der Wegewahl der Fahrer über die westliche oder östliche Route über den Ring zu den entsprechenden Zielen
- *Quartiersteuerung* als integrierte dynamische Netzsteuerung innerhalb der Stadtquartiere durch verkehrsadaptive Lichtsignalsteuerung mit einer differenzierten Balance zwischen den Verkehrsmitteln, d.h. Prioritäten für Bus und Straßenbahn, aber eingeschränkt bei allzu nachteiligen Eingriffen in den Autoverkehr (Mertz et al., 2001).

Ergänzt wird diese Struktur durch das zeitabhängige Parkraummanagement in den einzelnen Stadtquartieren. Eingeordnet sind diese Maßnahmen in die Hierarchie der Straßennetze, insbesondere in das von LHM und Freistaat vereinbarte Netz der zu bevorzugenden Roten Routen für den Straßenverkehr (LHM u. BMW, 2001) sowie die Tempo-30-Zonen und die Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung.

Abbildung 2.1 zeigt – beispielhaft für ein komplexes Verkehrsmanagement – den integrativen Ansatz von MOBINET in München (Keller et al., 1999).

Ausgehend von innovativen Konzepten zur Vermeidung vornehmlich von motorisiertem Individualverkehr werden Maßnahmen entwickelt, die die Verkehrsmittelwahl hin zu öffentlichen Verkehrsmitteln beeinflussen. Damit verbunden sind unter anderem Restriktionen durch ein dynamisches Parkraummanagement in Verbindung mit Verbesserungen der

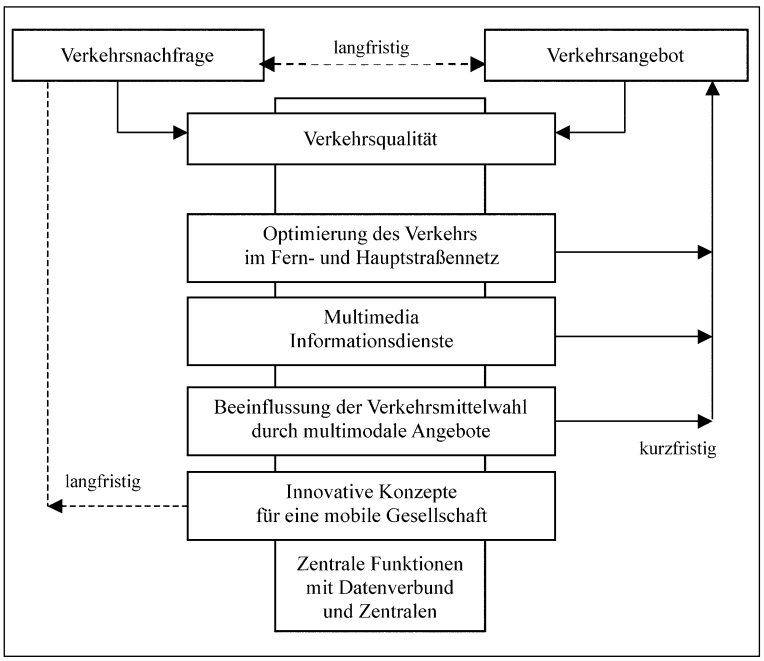


Abb. 2.1 Der integrative Ansatz des Münchner Leitprojektes zur Mobilität im Ballungsraum MOBINET. (Eigene Darstellung)

Attraktivität des Öffentlichen Verkehrs durch erleichterte Zubringerdienste wie Park and Ride, Bike and Ride, flexible Betriebsweisen von Buslinien zu den Halten der S- und U-Bahnen sowie ein Störungsmanagement für den S-Bahnverkehr. Der verbleibende motorisierte Individualverkehr wird dann optimal in den vorhandenen Straßennetzen stadtverträglich durch verkehrsadaptive Netzsteuerung der Lichtsignalanlagen und straßenseitige Informationstafeln mit Hinweisen auf die Verkehrslage im Zielgebiet der Autofahrer abgewickelt. Ergänzt werden diese Maßnahmen durch personalisierte Informationsdienste vornehmlich für den Öffentlichen Verkehr und für das Parken sowie eine Verkehrszentrale, in der die aktuelle Verkehrslage abgebildet und Verkehrsleitstrategien für die angesprochen Maßnahmen initiiert und veranlasst werden.

2.1.2 Systemarchitekturen

Die Interdependenzen zwischen diesen Maßnahmen und Systemen verdeutlichen die Notwendigkeit von *Systemarchitekturen,* mittels derer die Auf- und Verteilung der Aufgaben räumlich und organisatorisch definiert werden. Im Allgemeinen versteht man unter der Systemarchitektur eines komplexen, heterogenen Systems ein strukturelles Rahmenwerk mit

- der *logischen* Architektur als der Festlegung der Funktionen und deren Zusammenwirken sowie der Logistik der Entscheidungsabläufe,
- der *technischen* Architektur als der räumlich/zeitlichen Strukturierung des Informations- und Datenflusses mit der physikalischen Struktur der gerätetechnischen Einheiten,
- der *Kommunikations*architektur, einschließlich der Schnittstellendefinition zwischen den Systemen und der Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion,
- der *Daten*architektur mit den Datenmodellen, dem Daten-Warehouse, deren Erfassung- und Archivierungssysteme sowie der Datenübertragung,
- der *organisatorischen* Architektur mit den Vereinbarungen auf der institutionellen Ebene und der Zuweisung von Verantwortlichkeiten zwischen den beteiligten Entscheidungs-, Baulast- und Verkehrsträgern,

(siehe Abb. 2.2), die u.a. auf den Arbeiten zur Systemarchitektur in den EU F+E-Projekten TELTEN, SATIN, KARIN und FRAME (2003) basiert.

Die Steuerungsintelligenz kann in zentralen Rechnern und/oder dezentral in Mikroprozessoren vor Ort implementiert sein; die zur Verfügung stehende Technik erlaubt beide Strukturen. Bei der Entscheidung für eine zentrale

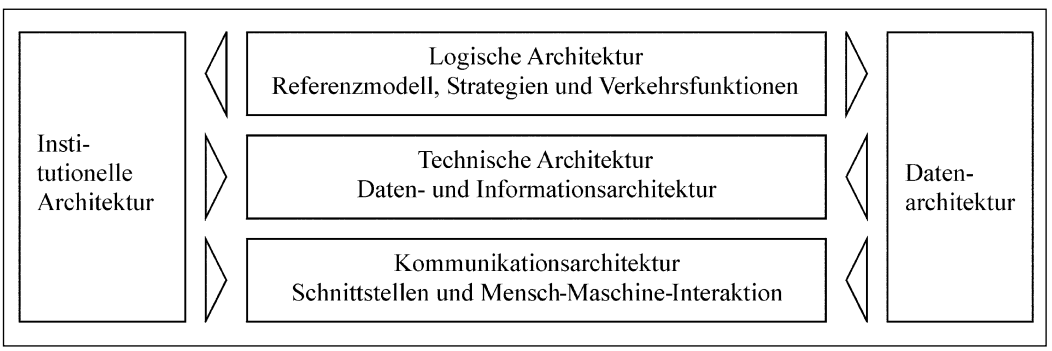


Abb. 2.2 Systemarchitektur für Verkehrsmanagementmaßnahmen. (Eigene Darstellung)

oder dezentrale Systemstruktur spielen neben den nicht zu vernachlässigenden Kosten die Zuverlässigkeit der Systemkomponenten und deren Verbindung untereinander eine Rolle.

Der modulare Aufbau eines komplexen Systems hat den Vorteil, dass die Übersichtlichkeit und Auswechselbarkeit von Teilkomponenten gewährleistet ist, ohne dabei die Funktionalität des Gesamtsystems zu gefährden. Des Weiteren ist die Fehlersuche in einem solch gegliederten System stark vereinfacht.

Bedeutsam ist hierbei für die Gebietskörperschaften wie auch für andere involvierte Akteure wie Betreiber des Öffentlichen Verkehrs, Diensteanbieter, Hersteller, Industrie sowie Nutzer und Betroffene, dass offene Systemarchitekturen verfolgt werden, um Interoperabilität, Flexibilität, Wettbewerb und damit kostengünstige Lösungen für die Leitsysteme zu ermöglichen. Ansätze dazu bieten die OCIT-Initiative im Bereich der Lichtsignalsteuerung bzw. die Normierung und Standardisierung.

2.1.3 Regelkreis der Verkehrsbeeinflussung

Die dynamisierten Prozesse im Kontext des Verkehrsmanagements erfordern eine gegenüber der Infrastrukturplanung erweiterte Betrachtungsweise, indem über die Modellierung der Verkehrsnachfrage und des Verkehrsangebots hinaus sowohl die verkehrstechnische als auch die anlagentechnische Konzeption zu gestalten sind, mit denen die Leitverfahren und Leittechniken umgesetzt werden. Dies lässt sich mit dem Regelkreis der Verkehrsbeeinflussung verdeutlichen, in dem die Rückkoppelung zwischen dem Verkehrsablauf auf der Infrastruktur von der Zustandserfassung mittels der

– *Sensorik*

über die Gestaltung der Leitstrategien in einer

– *Zentrale*

bis zur Kommunikation mit dem Verkehrsteilnehmer über die

– *Aktorik*

geregelt wird (siehe Abb. 2.3) (Keller, 2002).

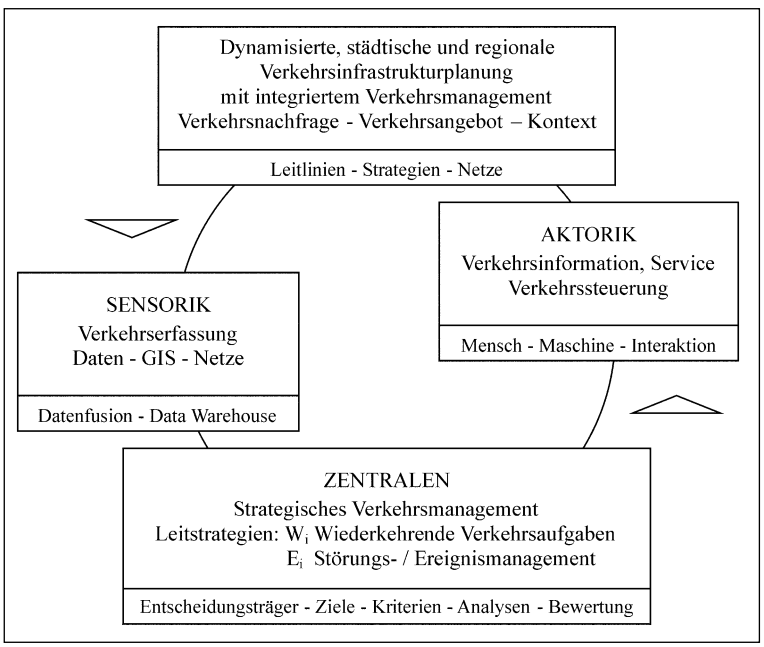


Abb. 2.3 Regelkreis der Verkehrsbeeinflussung. (Eigene Darstellung)

Die für rechnergestützte Verkehrsbeeinflussungssysteme angewendeten Technologien in der *Anlagentechnik* sind

- Datenerfassungs-, Übertragungs- und Überwachungseinrichtungen für die Verkehrslageermittlung,
- Mikroprozessoren und Prozessrechner für die Datenaufbereitung und die Umsetzung der lokalen und/oder globalen Strategien in Zentralen und
- Kommunikationssysteme, die Gebote, Empfehlungen oder Hinweise vermitteln.

Für die Verkehrsbeeinflussung ist eine kostengerechte Erfassung der aktuellen Verkehrslage erforderlich, um als Grundlage für die Leitstrategien eine Prognose der Verkehrszustände im Wegenetz erstellen zu können. Dazu bedarf es sowohl differenzierter Verkehrsmodelle, um aus optimierter Detektion die Verkehrszustände abzubilden, als auch geeigneter Modelle für die netzweite Lang- und Kurzzeitprognose. Bestandteil einer kostenorientiert optimierten Datenerfassung ist die Fusion von Daten aus lokaler Detektion, d.h. mittels

- Induktionsschleifen, Radar, Infrarot, Videobildauswertung

und aus mobilen Quellen, d.h. aus

- fahrzeuggenierten Daten ((Extended) Floating Car Data (X)FCD),

wobei durch die Telematik Unterstützung für die zwei wesentlichen Komponenten, die der

- Ortung (Location) und Kommunikation

durch die Satellitennavigation und den Zellularfunk gegeben sind. Diese beziehen sich sowohl auf Personen als auch auf Güter und Fahrzeuge, die mit geeigneten Geräten ausgerüstet sind.

2.2 Verkehrsleitstrategien und Verkehrsmanagementarbeitsplätze

2.2.1 Strategieentwicklung für das Verkehrsmanagement

Die Leitstrategien für das Verkehrsmanagement sind an den Aufgaben und den spezifischen Verkehrsproblemen der Gebietskörperschaften im Verkehrsbereich orientiert. Diese sind – im Zielfeld des Verkehrsmanagements – die Bewältigung von

- räumlich und zeitlich *wiederkehrenden* Verkehrsproblemen,

wie diese durch Überlastungen der Verkehrsinfrastruktur in den Spitzenstunden des Verkehrs, z.B. durch MIV-Pendler oder saisonale Großveranstaltungen eher *nachfragebedingt* auftreten können oder die

- *räumlich und zeitlich begrenzten, sich nicht wiederholenden* Probleme

im MIV bzw. Öffentlichen Verkehr und Wirtschaftsverkehr, die durch

- *geplante* Ereignisse wie Baustellen oder
- *zufällige* Ereignisse

wie Verkehrsunfälle, Unfälle, Katastrophen, wie Feuer mit Polizeieinsatz und *ungeplant* auftretende Ereignisse wie System- oder Betriebsausfälle (S-Bahn-Ausfall, Schienenersatzverkehr) auftreten und die im Wesentlichen *angebotsbedingte* Störungen verursachen. Weiterhin ergeben sich aus der Interdependenz von nachfrage- und angebotsbedingten Störungen gegebenenfalls synergetische Effekte.

Diese Aufgaben werden zu Leitstrategien entsprechend zusammengeführt als

- *Störungsmanagement* für den Straßen- und Öffentlichen Verkehr bei Unfällen, Verkehrsstauungen bzw. Störungen im Betriebsablauf des ÖV

– *Ereignismanagement* bei geplanten Baustellen als *Baustellenmanagement* oder bei Großveranstaltungen als *Veranstaltungsmanagement*
– *Güter-/Wirtschaftsverkehrsmanagement* zur Organisation, z.B. des Lieferverkehrs
– *Umweltbedingtes* Management für Verkehrsbeschränkungen, z.B. bei austauscharmen Wetterlagen (Smog).

Diese Strategien zielen im Wesentlichen auf eine mittelfristige, räumliche und zeitliche Verteilung der Verkehrsnachfrage im vorhandenen Wegenetz durch

– *Informationsangebote* vor und während der Reise und
– *Verkehrssteuerung* durch Lichtzeichengeber und Wechselverkehrszeichen zur Strecken- und Netzbeeinflussung während der Reise.

Die Leitstrategien für die Informations- und Steuerungssysteme – ergänzt um die individuell wirksamen Informationssysteme, z.B. des dynamischen Routings – sind so zu koppeln, dass die aktuellen Steuerungsmaßnahmen als Vorgabe für die Informationssysteme den Verkehrsteilnehmern bekannt sind und in der Wegewahl berücksichtigt werden können.

Die Vorraussetzung für jede dynamische Leitstrategie ist eine ausreichende *Sensorik* im Wegenetz bzw. in den Fahrzeugen, um in einer Zentrale über Daten- und Verkehrsmodelle eine hinreichende Abbildung der Entscheidungssituation erreichen zu können. Unterschiedliche Sensorik und damit unterschiedliche Verlässlichkeit, Qualität, Verkehrs-, Steuerungs- und Wirkungsmodellierung sowie die neuen Kommunikationsmedien lassen es geboten sein, eine Hierarchie von zunehmend qualitätsvolleren und entwicklungsfähigen Steuerungsalgorithmen für die Strategien und Maßnahmen zu entwerfen.

Basis und damit erste Stufe der Hierarchie von Steuerungsmaßnahmen sind

– *einfache, statische Entscheidungstabellen*,

in denen in Abhängigkeit der anstehenden Verkehrsaufgaben jeweils für jede Strategie bzw. für jedes Maßnahmenbündel eine Reihe von Regeln hinterlegt sind, die als Schaltbefehle an die Operatoren bzw. die Aktorik, z.B. Wechselverkehrszeichen, weitergegeben werden. Diese Entscheidungstabelle bildet auch eine Rückfallebene für die dynamischen Systeme, wie das Festzeitprogramm bei einer LSA, wenn zeitweilig keine aktuelle Information zur Verfügung steht. Die Regeln in der statischen Entscheidungstabelle beruhen auf historischen Daten und Erfahrungswerten.

Für die zweite Entwicklungsstufe wird davon ausgegangen, dass die anstehenden Verkehrssituationen zumindest in kritischen Bereichen messtechnisch erfasst werden können und dass grundlegende Regeln aufgestellt werden können, die für die Schaltbefehle in einer

– *dynamischen Entscheidungsmatrix*

hinterlegt sind.

– Eine *optimierte Entscheidungsmatrix oder Systemoptimierung*

stellt dann die dritte Stufe dar, die auch bei ausgereiften Systemen als Regelbetrieb dient, wie bei der verkehrsadaptiven Lichtzeichensteuerung im Verfahren BALANCE (Friedrich, 1996) im Kontext der offenen Architektur VnetS in München (Keller et al., 2002; Mertz et al., 2001).

Bei den dynamischen Informations- und Netzbeeinflussungssystemen, deren Informationen nur empfehlenden Charakter haben und deren Akzeptanz der Maßnahmen wesentlich von der Qualität der dargebotenen Information abhängt, ist eine erweiterte Sensorik und Wirkungsmodellierung erforderlich, damit erweiterte, maßnahmensensitive Optimierungsansätze ermöglicht werden. Solche Steuerungsstrategien werden durch die neuen Technologien ermöglicht, die eher dezentral, auf der taktischen und operationalen Ebene, z.B. über Neuronale Netze, zu erlernen sind und zum Einsatz kommen.

2.2.2 Integrierte Verkehrsmanagementarbeitsplätze

Zur Entwicklung der Leitstrategien sind geeignete *Verkehrsmanagementarbeitsplätze* mit den entsprechenden Planungswerkzeugen erforderlich, um die zu lösenden Probleme analysieren, Handlungsalternativen entwickeln und bewerten zu können (Keller u. Busch, 2003).

Basis dazu bildet die Integration der Daten auf den einzelnen Ebenen der Planungs- und Betriebshierarchie sowie deren *Vernetzung zu Datenplattformen*, die von unterschiedlichen Akteuren wie Planern, Managern und Operatoren für die Bildung, Analyse und Umsetzung von Verkehrsszenarien bzw. Verkehrsleitstrategien und Verkehrsteuerungsstrategien inter-, multi- und unimodal genutzt werden können. In Abbildung 2.4 ist diese Hierarchie der Akti-

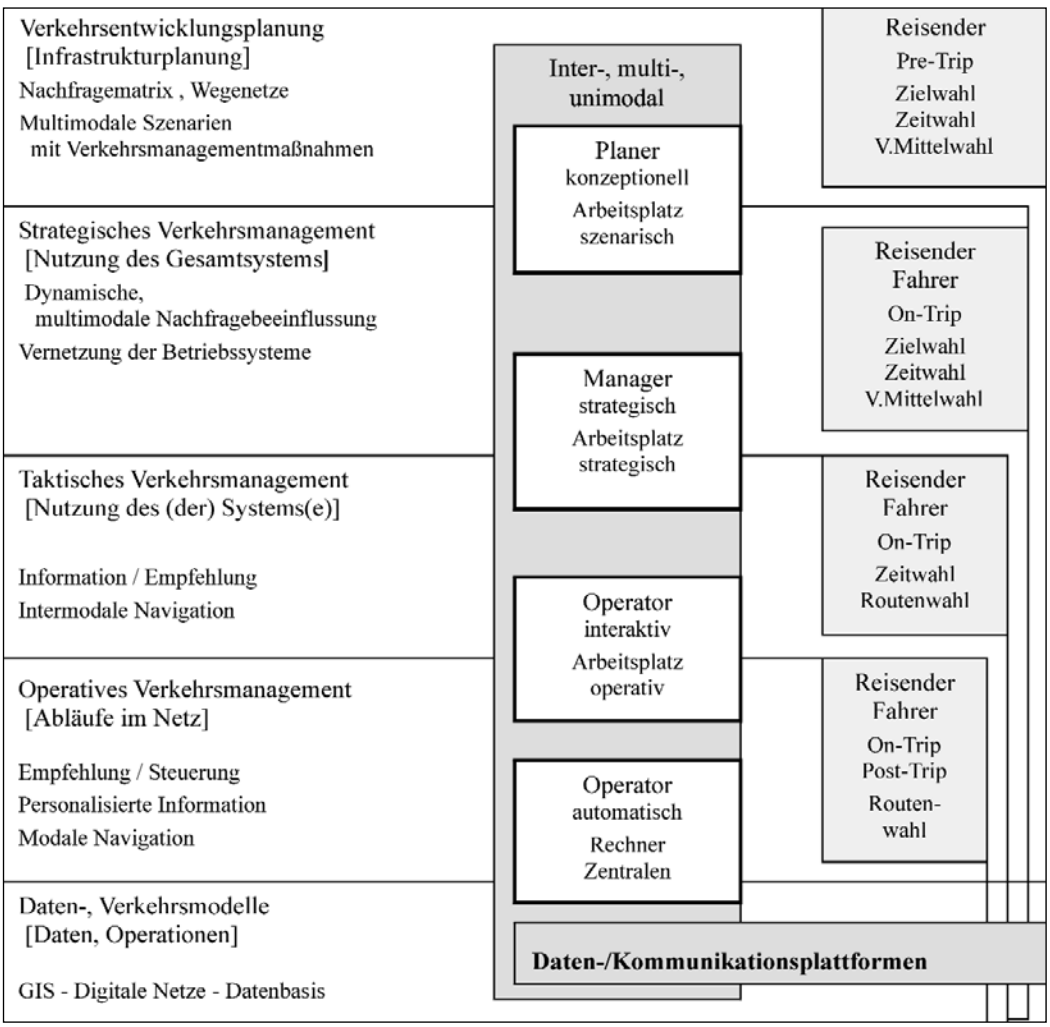


Abb. 2.4 Integration von Planungsprozessen im Rahmen von nutzerfreundlichen Verkehrsmanagementarbeitsplätzen. (Eigene Darstellung)

vitäten dargestellt, indem die vertikale und horizontale Vernetzung der Daten auf den unterschiedlichen Ebenen durch die grau markierten Flächen der Daten- und Kommunikationsplattformen angedeutet ist. Die Felder in den jeweils rechten oberen Ecken innerhalb der jeweiligen Hierarchieebene benennen die Nutzer der Systeme und deren beeinflussbares Verkehrsverhalten.

In der Zentrale einer Verkehrsbeeinflussungsanlage bzw. eines Verkehrsmanagementsystems werden alle Informationen der Erfassungssysteme gesammelt, aufbereitet, ausgewertet, visualisiert in verkehrliche Leitstrategien und Maßnahmen umgesetzt und an die Kommunikationsmedien gesendet. Die Aufgaben, die die einzelnen Rechnereinheiten zu bewältigen haben, sind zu verteilen, insbesondere wenn das Aufgabenspektrum größer ist. Eine Zentrale kommuniziert mittels der Datenfernübertragungseinheiten mit den Erfassungs- und Kommunikationssystemen. Dabei leiten sich die wesentlichen Komponenten einer Zentrale aus den umzusetzenden Maßnahmen ab, doch zusätzlich müssen die Systeme sich selbst kontrollieren und alle sich ändernden Systemzustände für spätere Analysen protokollieren. Des Weiteren sind, wenn zyklisch Messwerte in der Zentrale auflaufen, diese aufzubereiten und in geeigneter Form zu archivieren und als *Datenbank* zu pflegen. Zudem ist ein Datenabgleich zwischen den verschiedenen Datenbanken durchzuführen, da ansonsten Widersprüche zwischen den verschiedenen Systemen entstehen können.

Für die operable Ebene vermittelt Abbildung 2.5 beispielhaft das Arbeitsfeld des *Strategiemanagements* (SAM) wie es in der Münchner Verkehrszentrale über MOBINET eingerichtet ist (Schüler, 2003). SAM integriert und überwacht die Steuerungsmaßnahmen im Straßenverkehr zentral in den angeschlossenen Teilsystemen wie NetzInfo und RingInfo oder BALANCE und bietet eine Interaktionsmöglichkeit zur Harmonisierung dieser Steuerungsmaßnahmen. Grundsätzlich wird dabei das *Subsidiaritätsprinzip* verfolgt, indem untergeordnete Systeme Freiheit in ihren Steuerungsentscheidungen haben, solange sie nicht erhebliche übergeordnete Belange berühren und damit auf übergeordneter Ebene koordiniert gesteuert werden müssen.

Das SAM kann alle Informationen aus den angeschlossenen Systemen aufbereiten, visualisieren und die von den angeschlossenen Systemen bereitgestellten Steuerungsgrößen einzeln oder über vorgefertigte Teilnetzstrategien beeinflussen bzw. im Rahmen von in der Zentrale hinterlegten SAM-Strategien steuern. SAM dient somit als Schnittstelle zwischen den Modulen der Zentrale und den Steuerungsverfahren der angebundenen Systeme. Die Bedienung ist durch unterschiedliche Zugriffsrechte der Operatoren, autorisiert durch die verantwortlichen Behörden, geregelt. Grundlage für das SAM ist ein gemeinsames Netzmodell für alle damit verbundenen Systeme und Steuerungsverfahren.

In diesem Zusammenhang ist auf die hohe Bedeutung eines einheitlichen Leitkonzeptes hinzuweisen, das die beteiligten Partner zu entwickeln haben, u.a. auch für die verwendeten *digitalen Karten* und für eine funktionierende *Kommunikationskomponente*, die die entsprechenden Modelle zuverlässig mit dynamischen Daten versorgt.

Basis und Hintergrund für ein Strategiemanagement bildet die Modellierung der aktuellen *Verkehrslage,* in München mit dem Modell DINO (Logi et al., 2002). Dieser dynamische Verkehrsmonitor schätzt online auf Basis von Detektormessungen und Störungsmeldungen den aktuellen Verkehrszustand im Schnellstraßennetz eines Ballungsraumes. In DINO sind ein quasi-dynamisches Umlegungsverfahren und eine Entropiemaximierung zur Anpassung

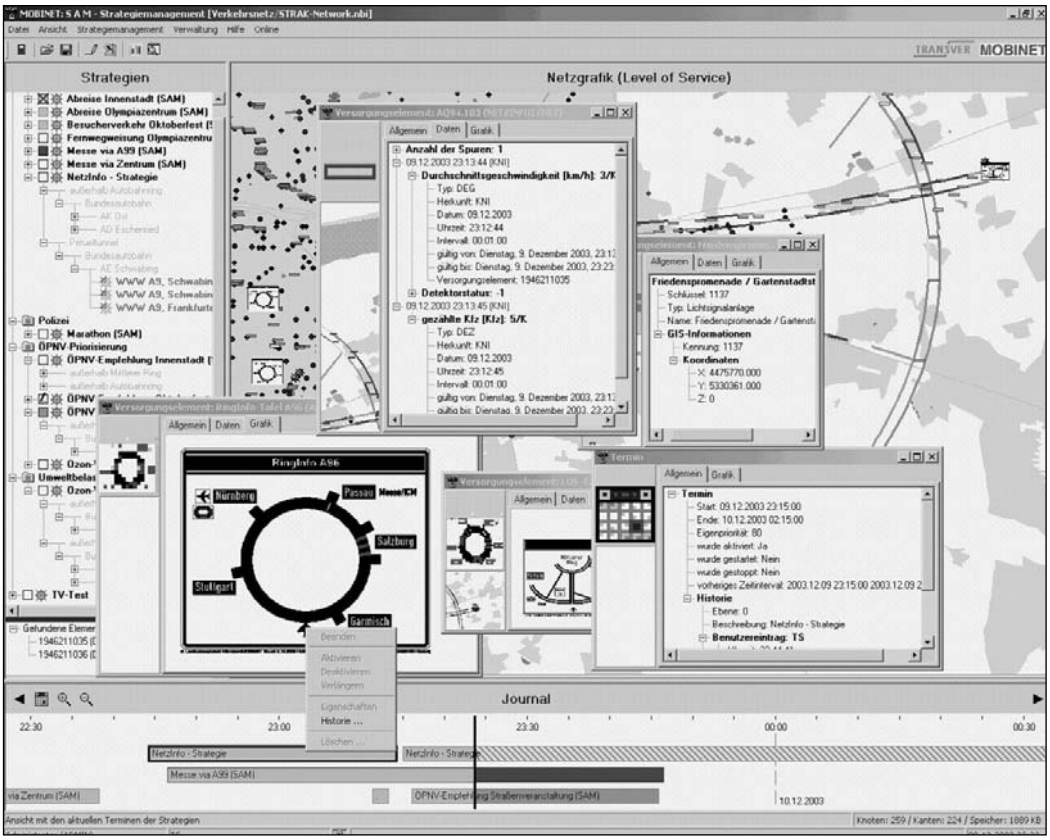


Abb. 2.5 Screen Shot der Anwenderschnittstelle des Strategiemanagements SAM in der Münchner Verkehrszentrale mit den online Symbolen für NetzInfo, Sektorsteuerung und RingInfo. (Schüler, 2003)

der Quelle-Ziel-Matrizen implementiert. Als Ergebnis liefert das Modell die wichtigsten verkehrstechnischen Größen auf den einzelnen, richtungsbezogenen Kanten des Straßennetzes, insbesondere die Verkehrsqualität sowie eine aktualisierte Matrix der Verkehrsbeziehungen.

2.3 Maßnahmen des Verkehrsmanagements

2.3.1 Einführung

Die mit einer Leitstrategie verbundenen Maßnahmen, Systeme und Steuerungsverfahren werden im Folgenden – gegliedert nach den Maßnahmenkategorien – dargestellt (vgl. auch Abbildung 1.2 (Keller, 2002)).

Diese werden hinsichtlich der Art der Kommunikation bzw. ihrer Wirkung nach *kollektiver* und *individueller* Beeinflussung, hinsicht-

lich der technischen Realisierung als *straßenseitig* oder *fahrzeugseitig* unterschieden. *Kollektive* Maßnahmen, wie die Wechselwegweisung mit Wechselverkehrszeichen, wirken auf einen Teil des Fahrzeugkollektivs und entsprechen dem individuellen Informationsbedürfnis des einzelnen Verkehrsteilnehmers nur in so weit, wie sich dieser mit der empfohlenen Maßnahme bzw. Angabe identifizieren kann. *Individuell* wirkende Maßnahmen erlauben demgegenüber eine direkte, selektive Verkehrsbeeinflussung. Hierzu gehören fahrzeuginterne Navigationssysteme, denen der Fahrzeugführer seinen Zielwunsch angibt und mit Hilfe derer er auf dem besten, im Allgemeinen schnellsten Weg dorthin geleitet wird, ebenso wie tragbare Mobilitätsplaner (InfoHandy, Personal Digital Assistant (PDA) bzw. Personal Traveller Assistance (PTA), Elektronischer Taschenfahrplan), mit denen interaktiv Informationen und Empfehlungen abgefragt bzw. Gebühren bezahlt werden können.

2.3.2 Verkehrsnachfragemanagement – Personenverkehr

Verkehrsnachfragemanagement enthält ein Bündel an Maßnahmen, die eingesetzt werden, um nachfragebedingte Überlastungen der Infrastruktur zu vermeiden. Der motorisierte Individualverkehr wird dabei dort beeinflusst, wo seine sozialen Kosten durch Stau, Lärm, Abgase und Unfälle zu Unverträglichkeiten führen.

Im Bereich des ruhenden Verkehrs wird im Rahmen des *Parkraummanagements* örtlich Einfluss auf die Parkdauer und/oder die Parkgebühren genommen. In Verbindung mit alternativen Angeboten, wie Verbesserungen im Öffentlichen Verkehr, werden dabei gezielt Prioritäten für einzelne Nutzergruppen durch lokal- und zeitspezifische Elemente gesetzt: Parkbevorrechtigung für Bewohner mit Parklizenzen, Beschränkung der Parkdauer, Parkgebühren, Lieferzonen und Mischformen davon. Eine weitere Maßnahme ist die *dynamische P+R-Information* gekoppelt mit Informationsangeboten über den Öffentlichen Verkehr möglichst vor und an Haltestellen.

Der fließende Verkehr kann durch *Straßenbewirtschaftung über Straßennutzergebühren* (road pricing) beeinflusst werden (vgl. Kap. D 4), um eine qualifizierte Reduzierung des Verkehrsaufkommens bzw. eine Änderung in der Zeit-, Verkehrsmittel- und Wegewahl zu bewirken (Bobinger, 1993). Dabei gibt es verschiedene Konzepte, z.B. zur Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur, zur Kostenerstattung von Straßenschäden oder zur Steuerung internationaler Verkehre. Beispiele hierzu sind Systeme in

- Bergen und Oslo, jeweils am Stadtrand, zur Finanzierung der städtischen Verkehrsinfrastruktur,
- Singapore, für das Zentrum, zur Reduktion des motorisierten Individualverkehrs,
- London, das Konzept Road Charging mit 5 £ (im Jahr 2003) pro Einfahrt in das Stadtzentrum im Wesentlichen zur Finanzierung des Öffentlichen Verkehrs,
- in Deutschland und Österreich die fahrleistungsabhängige Lkw-Maut, auch zur Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur.

Unterschiedliche Technologien und Verfahren der Telematik werden zur kosteneffizienten, automatischen, kontaktlosen und bargeldlosen Erfassung der Gebühren und Entgelte genutzt, wie

- über die Standortbestimmung durch Satellitennavigation oder die Wegverfolgung mit dem fahrzeugseitigen Navigationssystem,
- das *elektronische Ticket*, Bestpreisabrechnung per Check-in/Check-out-System über die Geldkarte bzw. Be-in-/Be-out-System über die Mobiltelefone der Fahrgäste,

die auch zum Teil im Öffentlichen Verkehr u.a. zur automatischen Fahrpreisfindung eingesetzt werden. Die so gewonnenen Daten können

auch für die verkehrsabhängige Einnahmenaufteilung in Verkehrsverbünden und für die Anpassung an eine veränderte Verkehrsnachfrage genutzt werden.

Die Überwachung der Gebühren- bzw. Entgeltentrichtung und die Verfolgung über die Identifikation von Nichtzahlern verursacht einen erheblichen Aufwand.

Aus Sicht des Verkehrsmanagements sind die Straßennutzergebühren örtlich und zeitlich verkehrsabhängig zu staffeln.

2.3.3 Güterverkehrsmanagement – City-Logistik

Probleme für den Güterverkehr in den Städten sind Behinderungen bei der Anlieferung, häufige und gravierende Verkehrsstauungen und Nutzungskonflikte mit dem Öffentlichen Verkehr bzw. anderen Verkehrsteilnehmern. Erhebliche Ineffizienzen des Lieferverkehrs können auftreten, wenn sich die Fahrzeuge verschiedener Lieferanten gegenseitig bei der Anlieferung blockieren, kostenintensive Fahrzeugkapazitäten nicht genutzt werden können und das teure Personal untätig wird. Weitere Problemfelder sind die verkehrsbedingten Versorgungsschwierigkeiten der Innenstadt einerseits und die Mietbelastungen für Lagerung in Innenstadtlagen andererseits.

Ziele des Güterverkehrsmanagements ist die *Vermeidung von Fahrten* (u.a. Leerfahrten) durch Umorganisation von Wegeketten und die *Verkehrsverlagerung* von der Straße. Nach den Verantwortlichkeiten lassen sich *betriebliche* und *kommunale* Maßnahmen unterscheiden. Die zur Anwendung kommenden Steuerungen sind *dispositive* und *operative* Steuerung sowie die *Überwachung* während der Fahrt (Wittenbrink, 1993).

Der größte und schnellste Reduktionseffekt im Güterverkehr ist durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationssystemen zu erreichen, wenn eine optimale Auslastung und Lenkung der Fahrzeuge ermöglicht wird.

Maßnahmen zur *Vermeidung von Güterverkehr* können vor allem durch Produktions- und Fertigungsabläufe erzielt werden, die mehr Produktionsgänge an einem Ort umfassen. Hierzu können auch *Güterverkehrszentren*, in denen ggf. Vormontagen erfolgen, dienen. Dezentrale Produktion mit geringen Fertigungstiefen führt dagegen zu einer Erhöhung der Transportvorgänge. Durch geeignete *City-Logistik* kann ein erheblicher Teil der Leerfahrten eingespart werden (vgl. Kap. B 6). Maßnahmen zur *Verkehrsverlagerung* von der Straße auf die Schiene setzen ein entsprechendes Güteraufkommen voraus und Einrichtungen wie Güterverkehrszentren, die den Umschlag zwischen den Lkws bzw. vom Lkw auf die Bahn oder das Schiff ermöglichen. Die notwendige Konzentration des Güteraufkommens an dem Umschlagsplatz birgt andererseits die Gefahr, dass ein räumlich konzentriertes Lkw-Aufkommen hervorgerufen wird, das Umwelt- und Nachbarschaftsprobleme aufwirft.

Die *betrieblichen Maßnahmen* setzen innerhalb des Betriebs an, wie die intra-organisatorischen und die, die über die rechtlichen Grenzen eines Betriebs hinausgehen, die inter-organisatorischen. Innerhalb des Betriebs kann durch einen verbesserten Fahrzeugeinsatz und durch neue Informations- und Kommunikationssysteme die Effizienz der Transportvorgänge erhöht und gegebenenfalls die Verkehrsbelastung gesenkt werden. Maßnahmen, die zwischen den Betrieben greifen, sind die Nutzung von *externen Dienstleistern* (z.B. zur Transportbündelung, zum Lagerpooling) und die *Kooperation* zwischen den Betrieben. Diese Kooperation wird durch den Einsatz von neuen Informations- und Kommunikationstechnologien, die den notwendigen Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Beteiligten ermöglichen, und durch den Einsatz von Güterverkehrszentren unterstützt.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass Betriebe ihre Aktivitäten unter einem privatwirtschaftlichen Aspekt bewerten, also interne Kosten den Nutzen gegenüberstellen. Da volkswirtschaftliche Überlegungen in diesem Ansatz nicht berücksichtigt werden, müssen Gebietskörperschaften geeignete Rahmenbedingungen für die Entscheidungen der Unternehmen schaffen.

2.3.4 Reiseinformation

Reiseplanungssysteme vermitteln dem Reisenden *vor Antritt* der Fahrt (Pre-Trip) Informationen über die Verkehrskonditionen für beabsichtigte außerhäusliche Aktivitäten.

Solche Auskunftssysteme und Dienste informieren im *Öffentlichen Verkehr* und *Flugverkehr* über Haltestellen, Abfahrts- bzw. Abflug- und Ankunftszeiten sowie über Tarife, die in gedruckter Form oder auf Datenträgern vorliegen und in Fahr- bzw. Flugplänen niedergelegt sind, die per Telefon, Abruffax, Videotext, PC, Internet, PTA, InfoHandy beim Betreiber oder Diensteanbieter, wie bei Reisebüros, abgefragt werden können.

Diese Dienste werden kollektiv, aber auch individuell bzw. personalisiert angeboten, wie bei den Fluglinien oder die elektronische Fahrplanauskunft EVA bei der Deutschen Bahn AG oder EFA (EFA-win) z.B. beim Münchner Verkehrs- und Tarifverbund.

Bei vollständigen Systemen wie im Flugverkehr und auch im Öffentlichen Verkehr sind Fahrplaninformation, Buchung, Reservierung und Entgeltentrichtung integriert.

Für den *Straßenverkehr* sind die Wegenetze und Serviceeinrichtungen wie Tankstellen und Rastplätze in Straßen- und Landkarten, analog oder digital, als Basisinformation für die Routenwahl vorhanden. Die Zeit-, Wege- und evtl. Verkehrsmittelwahl wird unterstützt durch dynamische Informationen über Straßen-, Witterungsverhältnisse sowie Verkehrsbehinderungen, die über Telefon, Abruffax, Videotext, Internet, InfoHandy, PTA sowie den Verkehrsfunk (Traffic Message Channel, TMC) verfügbar sind.

2.3.5 Verkehrsinformation

Verkehrsinformationssysteme dienen den Verkehrsteilnehmern, sobald sie eine Reise angetreten haben, und erweitern die Reiseinformationssysteme um Technologien, die *während der Reise* (On-Trip) zur Verfügung stehen.

Im *Öffentlichen Verkehr* dienen unterschiedliche *Fahrgastinformationssysteme* zur Anzeige der

- aktuellen Zug- bzw. Fahrzeugankunft vor bzw. an Haltestellen (siehe Abb. 2.6),
- aktuellen bzw. nächsten Haltestelle bzw. der Endhaltestelle im Fahrzeug,
- Fahrpläne und Haltestellen über das InfoHandy bzw. PDA.

Grundlage hierzu sind Vernetzungen innerhalb und zwischen den Betriebsleitsystemen der Verkehrsunternehmen, um dynamische Fahrplanauskünfte mit Berücksichtigung der Auswirkungen evtl. Verkehrsstörungen zu ermöglichen.

Im *Straßenverkehr* vermitteln Verkehrsinformationssysteme neben der statischen Beschilderung vornehmlich aktuelle

- Warnungen vor lokalen Gefahren und über Witterungsbedingungen wie Nebel oder Fahrbahnglätte bzw. Verkehrsbedingungen wie Unfälle, Baustellen oder Verkehrsstauungen,
- Empfehlungen für die Wahl von Alternativrouten, z.B. bei längerfristigen Verkehrsstörungen und
- Hinweise, z.B. auf Reisezeiten, freie Parkplätze über Parkinformationssysteme oder auf Veranstaltungen.

Abb. 2.6 Dynamische Fahrgastinformation über die aktuelle Abfahrt von Straßenbahnen und Bussen an Haltestellen. (Eigene Darstellung)

Als *kollektive* Leittechniken dienen dazu im Wesentlichen Wechselverkehrszeichen, Freitextanzeigen und der Verkehrsfunk (Traffic Message Channel, TMC), analog und digital.

Individuelle Leittechniken vermitteln dem einzelnen Fahrer auch im Straßenverkehr die für ihn spezifische, evtl. nachgefragte Information, durch

- *individuelle Zielführungssysteme* per PTA, z.B. für Fußgänger und
- *statische und dynamische Navigationssysteme* im Fahrzeug, die neben touristischen Informationen (Points of Interest, POI), vornehmlich ein dynamisches Routing anbieten.

Kollektive und individuelle Leitstrategien bzw. Informationen sind zwischen den hoheitlichen und privaten Diensteanbietern abzustimmen, so dass eine ausreichende Akzeptanz der Leitempfehlungen erreicht wird, auch wenn spezifische Mehrwertdienste differenziertere Information liefern. Die Leitstrategien, vornehmlich der dynamischen Navigationssysteme, sind dabei mit der Hierarchie der städtischen Straßennetze abzugleichen, um zum Beispiel Schleichverkehre durch verkehrsberuhigte Bereiche zu vermeiden. Gegebenenfalls sind dabei bauliche Maßnahmen einzuleiten, um die Streckenwiderstände in den digitalen Navigationsnetzen zu beeinflussen.

Intermodale Informationssysteme bergen ein hohes Potential zur Vernetzung der unterschiedlichen Verkehrsträger in sich, stellen aber, neben der erforderlichen Kooperationsbereitschaft der Partner auf institutioneller Ebene, sehr hohe Anforderungen an die Aktualität und Interoperabilität der zu integrierenden Systeme sowie deren Datenbasis und an die zu treffenden Konventionen zwischen den Partnern.

2.3.6 Verkehrslenkung und Verkehrssteuerung

Verkehrslenkung und Verkehrssteuerung im Straßenverkehr sind vornehmlich hoheitlich veranlasst. Sie sind im Wesentlichen in Deutschland auf die StVO gestützt und dienen der Sicherheit und der Leichtigkeit des Ver-

kehrs, im Stadtverkehr zudem zur Sicherung urbaner Qualitäten. Da sie auch Verkehrsinformationen vermitteln können, ist eine Unterscheidung zu den Verkehrsinformationssystemen nicht unbedingt trennscharf.

Im städtischen Verkehr sind die Mittel der Verkehrslenkung und der Verkehrssteuerung vornehmlich die

- *lokale und klassische Lichtsignalsteuerung und die verkehrsadaptive Netzbeeinflussung der Lichtsignalanlagen*
- *ggf. ergänzt durch Routenempfehlungen und weitere Informationen*.

Methodische Basis der Netzsteuerung bildet das Programmsystem TRANSYT (Robertson, 1969) zur off-line-Optimierung eines festzeitgesteuerten Straßennetzes mit dem Ziel, die Gesamtwartezeiten im Netz zu minimieren. Der Schritt zur on-line Signalprogrammbildung wurde in England mit SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimising Technique) vollzogen, einem Algorithmus, der selbständig, ohne vorherige off-line-Optimierung und Vorgabe von Festzeitprogrammen Freigabezeitaufteilung (Split), Versatz (Off-Set) und Umlaufzeit (Cycle) optimiert (Hunt et al., 1981). Eine Weiterentwicklung ist das Verfahren UTOPIA (Mauro u. di Tarranto, 1989), in dem die dynamische Schätzung der Verkehrsbeziehungen eingeführt wurde und das auf konstante Umlaufzeiten verzichtet. In Deutschland sind es die Programmsysteme MOTION, das dezentral strukturiert ist und das die on-line Ermittlung der Verkehrsbeziehungen im Netz nutzt, um eine bessere Abbildung des Verkehrs als Grundlage für die Steuerung zu haben (Busch u. Keller, 1997) sowie BALANCE (Friedrich, 1996) mittels dessen ein Rahmensignalplan auf Netzebene auf Basis netzweiter makroskopischer Verkehrsmodellierung verkehrsabhängig optimiert wird, der als Vorgabe für die mikroskopische Steuerung bzw. der ÖPNV-Priorisierung auf Knotenpunktebene dient. Neben einer absoluten Priorisierung des ÖV bieten diese Systeme auch die Möglichkeit einer relativen Priorisierung. BALANCE liefert neben der Optimierung durch das interne Verkehrsmodell, u.a. die *Schätzung von Staulängen* aus den Detektordaten an den Haltelinien (Mück, 2002), und umfangreiche Verkehrsinformationen in die übergeordneten Einrichtungen des Verkehrsmanagements.

Mit der ÖV-Beschleunigung durch

- *separat ausgewiesene Busspuren*
- *ÖV-Vorrang an LSA,*

einschließlich der Verbreiterung und behindertengerechten Nachrüstung der Haltestellen, können sowohl Fahrzeitgewinne für die Fahrgäste erreicht werden als auch auf Grund der verkürzten Umläufe Fahrzeuge samt Fahrer durch die Verkehrsunternehmen eingespart werden.

Bei Kenntnis der aktuellen Nachfrageschwankungen, die sich u.a. aus dem Einsatz des elektronischen Fahrscheins (e-Ticketing) ergeben, aber auch zu Zeiten und in Räumen geringer Verkehrsnachfrage bieten sich als Ergänzung der Hierarchie der ÖV-Angebote mit zügigen Verbindungen zwischen den einzelnen Stadtteilen und Erschließungslinien in den Quartieren *bedarfsgesteuerte Linien,* d.h. flexible Betriebsweisen von Bussen an, die nur auf Anforderung zu Haltestellen kommen (Kirchhoff, 2002).

Zur Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und einer Zentrale und zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Fahrplaneinhaltung werden auf betrieblicher Ebene rechnergestützte *Betriebsleitsysteme (RBL)* eingesetzt. Dabei werden die Fahrzeuge zyklisch nach ihren Fahrbewegungen abgefragt. In der Zentrale können auf diese Weise Bewegungen der Fahrzeuge im Netz nachvollzogen sowie im Soll-Ist-Vergleich die Abweichungen vom Fahrplan aufgezeigt und variiert werden. Mit dem RBL sollen vor allem Verfrühungen vermieden werden und *Anschlusssicherungen* gewährleistet werden. Außerdem können Anga-

ben zur Betriebsleistungsstatistik wie dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge ermittelt werden.

Zur Minderung des Parksuchverkehrs dienen *Parkleitsysteme* unterschiedlicher Ausprägung. Die erforderlichen Standorte der dynamischen Parkwegweiser und ihrer Inhalte, u.a. die Anzahl der freien Stellplätze, werden in einem Zielführungsplan entwickelt. Die Grundstruktur eines Parkleit- bzw. Informationssystems hängt von der Struktur des Straßennetzes ab, vereinfacht gelten folgende Zuordnungen: Baumstruktur – Radialnetz, Netzstruktur – Rasternetz, Ringstruktur – Ringnetz (FGSV, 1996).

Bei ortsnahen Autobahnanschlussstellen und Halten von Schnellverkehrsmitteln im Vorfeld der Städte bieten sich *dynamisierte Hinweise auf P+R-Anlagen* an, um zu den Park-and-Ride-Anlagen hinzuführen, auf freie Stellplätze und Gebühren hinzuweisen und Auskünfte über Abfahrzeiten des Öffentlichen Verkehrs zu vermitteln.

Im eher regionalen Kontext und im Zuge der stadtnahen Autobahnen und der Hauptverkehrsstraßen der Städte dienen *Streckenbeeinflussungsanlagen* im Wesentlichen zur Erhöhung der Sicherheit und Streckenleistungsfähigkeiten durch Beeinflussung der Geschwindigkeiten auf staukritischen Straßenabschnitten und *Netzbeeinflussungssysteme* zur optimalen räumlichen Nutzung von Teilnetzen mit hohen Durchgangsverkehrsanteilen und zeitsynchronen Kapazitätsreserven auf geeigneten Alternativrouten.

Als Kommunikationssysteme werden variable Verkehrszeichen und Freitextanzeigen auf Schilderbrücken genutzt oder bei Angeboten von alternativen Routen Wechselverkehrszeichen bzw. frei programmierbare Textzeilen. Bei Wechselverkehrszeichen werden die empfohlenen Zielangaben entweder *substitutiv* innerhalb der vorhandenen Wegweisung verändert oder *additiv* durch zusätzliche Beschilderung ergänzt. Zur Netzbeeinflussung sind auch Systeme wie die in Kapitel D 2.1 erwähnte Sektorsteuerung und NetzInfo zu zählen, die allerdings institutionell eine höhere Komplexität aufweisen, indem sich die in Stadt und Umland zuständigen Verkehrsverwaltungen über Steuerungsstrategie und gegenseitigen Datenaustausch einigen müssen. Abbildung 2.7 zeigt die straßenseitige graphische Informationstafel von NetzInfo, die vornehmlich für ortskundige Fahrer gedacht ist, und die die aktuelle Verkehrsqualität bzw. Stauungen auf dem Netzgraphen anzeigt sowie das Symbol der straßenseitigen RingInfo auf einem PDA in einem Fahrzeug mit den aktuellen Verkehrsinformationen.

Von zentraler Bedeutung für beide Maßnahmen wie auch für die Informationssysteme ist die automatische Detektion der sog. *nicht wie-*

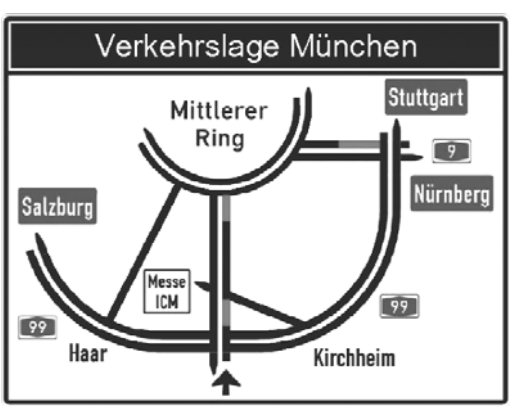


Abb. 2.7 Graphische Informationstafel von NetzInfo auf der Autobahn A 94 und von RingInfo als PDA im Fahrzeug zur Anzeige von auftretenden Stauungen.
(links: eig.Darstellung, rechts: Ernhofer)

derkehrenden Ereignisse bzw. Störungen. Dazu dienen Algorithmen, die aus den mit den Erfassungssystemen gewonnenen Daten verkehrssituationsabhängig solche Phänomene abbilden können (Denaes, 2003). Die Verbindung isolierter Modelle zur Störungsdetektion mit den Verkehrsflussmodellen ermöglicht deren direkte Aktualisierung und damit eine sicherere Ermittlung der Verkehrslage sowie einen Beitrag zur Qualitätssicherung der Systeme.

Teil der Netzbeeinflussung sind *Zufahrtsoptimierungen*, bei denen unter der Zielsetzung, den Verkehrsablauf auf der Hauptfahrbahn flüssig zu halten, die Zufahrten auf den Rampen verkehrsabhängig dosiert gesteuert werden.

Vielfach eingesetzt ist dabei der ALINEA Algorithmus (Papageorgiou et al., 2002). Für koordinierte Folgen von Zufahrtsrampen werden in der ACCEZZ-Familie (Bogenberger, 2001) die Fuzzy Logik und Neuronale Netze zur Optimierung und Lernfähigkeit der Algorithmen genutzt. Die Koordinierung der Zufahrtsoptimierung mit den Lichtsignalanlagen im Stadtstraßennetz enthält weitere Potentiale zur Verbesserung der Verkehrsabwicklung am Übergang von Stadt- und Fernstraßennetzen im Rahmen der Korridorsteuerung.

Zur Milderung der Folgen wiederkehrender, temporärer Überlastungen dienen *variable Fahrstreifensysteme,*wie die zeitweise Standstreifenfreigabe, die variable Zuweisung von Fahrstreifen in Knotenpunkten oder Umkehrspuren. Während Umkehrspuren eher langfristig zur Bewältigung des zeit- und richtungsabhängig unterschiedlichen Spitzenverkehrs, – z.B. in Chicago auf dem Kennedy Expressway, auf der Golden Gate Brücke vor San Francisco, in Berlin auf der Heerstraße, – genutzt werden, sind die Systeme der Standstreifenfreigabe eher kurzzeitig angelegt bzw. mittelfristig, bis Mittel für den Ausbau der kritischen Strecken zur Verfügung stehen. Beide Maßnahmen haben erhebliches Potential, die Kapazität des Straßenraumes verkehrsabhängig auszunutzen bzw. an die Nachfrage anzupassen.

2.3.7 Fahrerassistenz

Zur Unterstützung der Fahrer bei der Bewältigung der Fahraufgaben sind Informationssysteme und – neben betriebstechnischen Systemen wie dem Antiblockiersystem (ABS) – solche zur Unterstützung eines sicheren Fahrens verfügbar bzw. in der Entwicklung. Die erwarteten Verbesserungen haben vornehmlich die Verkehrssicherheit, aber auch die Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrssystems sowie den Komfort für den Verkehrsteilnehmer im Zielfeld.

Im Einzelnen werden folgende Funktionen unterstützt (Braess u. Reichert, 1995):

- *Sichtverbesserung,* unter anderem durch Scheinwerfer, die sich an der Kurvigkeit der Straße orientieren
- *Fahren unter Einhaltung ausreichender Sicherheitsreserven und Fahren mit vermindertem Kollisionsrisiko* durch Erkennung möglicher Hindernisse und sich entwickelnder kritischer Verkehrssituationen durch verschiedene Sensoren sowie Fahrerinformation bzw. Eingriffe in die Längs- und Querführung des Fahrzeugs
- *Kooperatives Fahren* durch Kommunikation über Bewegungszustände zwischen Fahrzeugen und straßenseitigen Einrichtungen sowie zwischen Fahrzeugen untereinander, Geschwindigkeits- und Abstandsbeeinflussung, Unterstützung bei Spurwechsel, Informationen des Fahrers über Situationen jenseits seiner unmittelbaren Wahrnehmung
- *Autonome Überwachung des Geschwindigkeits- und Abstandsverhaltens* durch Messung von Abstand und Bewegungsgrößen

aufeinander folgender Fahrzeuge auf einer Spur, Warnung in kritischen Situationen, eventuell automatische Anpassung der Geschwindigkeit
- *Notfallsysteme* zur Erkennung eines Unfalls, Warnung sich annähernder Fahrzeuge und der automatische Notruf

Weiterhin bieten *Fahrerassistenzsysteme* dem Fahrer bei Unfällen oder Informationsbedürfnissen im Fahrzeug den Zugang zu Hilfs- und Servicediensten an, aber auch zur Lokalisierung der Fahrzeuge, unter anderem bei Diebstahl.

Grundsätzlich, aber speziell im Fahrzeug, ist der ergonomischen Gestaltung der *Mensch-Maschine-Interaktion* (MMI), d.h. der Benutzeroberfläche der Informations- und Steuerungssysteme höchste Aufmerksamkeit zu widmen. Aus Sicht der Verkehrsicherheit wie auch aus Sicht der einfachen Verständlichkeit und Handhabbarkeit sollte dabei das Prinzip KISS (Keep It Stupid and Simple) zur Anwendung kommen.

Diese Systeme arbeiten im Wesentlichen autark, d.h. die Intelligenz der Algorithmen ist im Fahrzeug installiert oder basieren auf einer Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation. Die Vernetzung dieser Systeme mit den straßenseitigen Systemen oder mit externen Zentralen birgt erhebliche Potentiale und erfordert Konventionen zwischen den staatlichen Stellen, Betreibern und Entwicklern, um allgemein anerkannte Ziele öffentlichen Handelns zu wahren (Wiss. Beirat, 2003).

2.4 Institutionelle Strukturen

2.4.1 Verwaltungsstrukturen

Die Maßnahmen des Verkehrsmanagements sind räumlich und zeitlich überlagert (siehe Abb. 2.8). Die Interdependenzen zwischen diesen Systemen sind durch logische und technische Systemarchitekturen zu ordnen. Die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten für die evtl. intermodalen Leitstrategien sind institutionell jeweils abzuklären und zuzuweisen. Dazu bedarf es eines *Betriebskonzepts*, in dem die Nutzungsrechte und jeweiligen gesetzlichen Bestimmungen geregelt werden.

Zu Teilen erfolgt dies bereits bei der Entwicklung der Verkehrsleitstrategien, indem die rechtlichen Voraussetzungen für die Einleitung der Maßnahmen geschaffen werden und bei intermodalen Strategien für die Umsetzung der Maßnahmen für den Straßen-, Öffentlichen- und Wirtschaftsverkehr im Wesentlichen nach dem *Subsidiaritätsprinzip* verfahren wird.

In den Verkehrsverwaltungen erfordert dies den Ausbau der betrieblichen Aktivitäten, d.h. die Bereitstellung von Personal, das Verantwortung für die Einleitung der Maßnahmen des Verkehrsmanagements innerhalb der Verkehrsinformations- und Verkehrsmanagementzentralen tragen kann.

Durch die Initiativen der Privatwirtschaft im Bereich der Fahrzeugindustrie, der Verkehrsunternehmen des Öffentlichen Verkehrs sowie privater Diensteanbieter sind vermehrt innovative Technologien für privat orientierte Verkehrsangebote auf dem Markt, so dass auch eine Basis für *Öffentlich-Private-Partnerschaften* (Private Public Partnerships, PPP) im Verkehrsmanagement gegeben ist. Die Öffentliche Hand ist Aufgabenträger des Öffentlichen Personennahverkehrs und Eigentümer

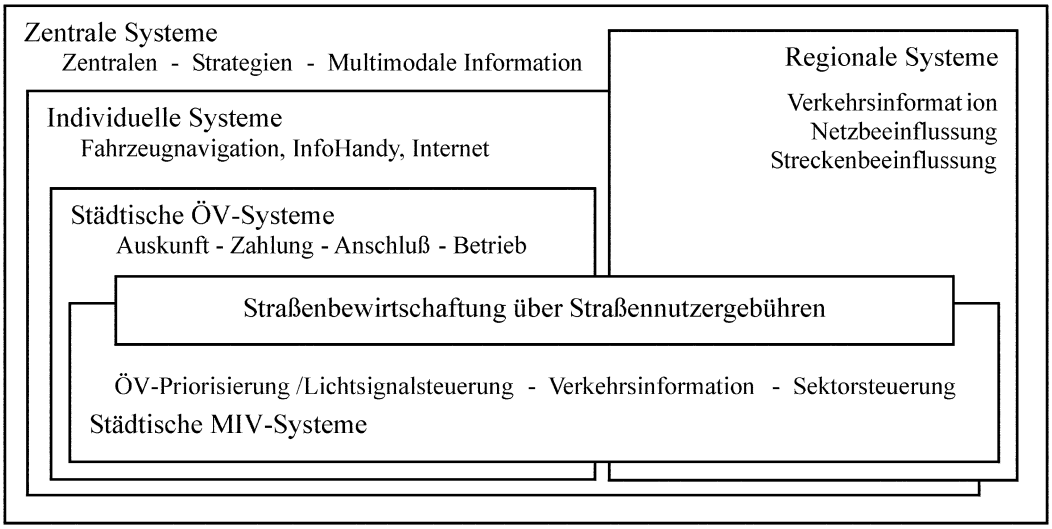


Abb. 2.8 Überlagerung von Maßnahmen des Verkehrsmanagements. (Eigene Darstellung)

und Betreiber der Straßenverkehrsinfrastruktur und hat als Aufsichtsbehörde die Verantwortung für einen reibungslosen und sicheren Verkehrsablauf. Die privaten Angebote konzentrieren sich im Straßenverkehr auf Verkehrsinformation und auf Mehrwertdienste wie nach Diensteanbietern differenzierte Verkehrsinformation, intermodale Verkehrsinformation oder die Buchung und Reservierung von Reisen und Hotels bzw. auf die Fahrerassistenzsysteme.

In Anbetracht der begrenzten Mittel der öffentlichen Haushalte können auch für das Verkehrsmanagement Nutzer mit privatem Kapital erschlossen werden, was allerdings eine aufwendige Abgrenzung von öffentlichen und privaten Rechten und Pflichten bedingt. Im Bereich der Infrastrukturfinanzierung halten Betreibermodelle, im Rahmen derer die Gesamtverantwortung für ein Projekt auf einen Projektträger zeitlich befristet übertragen wird, von der Planung über den Bau, den Betrieb und die Finanzierung, z.B. als Mauterhebungssystem für die Lkw-Maut, bereits Einzug (Zapp, 2003).

2.4.2 Qualitätsmanagement

Die Qualitätssicherung ist eine wesentliche Komponente von Verkehrsmanagementsystemen. Die laufende Überwachung der bereits eingesetzten Systeme und entsprechend die Qualitätssicherung bei Neuentwicklungen sind Notwendigkeiten und Chancen des Verkehrsmanagements für Diensteanbieter, Systembetreiber und Verkehrsverwaltungen. Ein integriertes Qualitätsmanagement (*Total Quality Management)* geht von der Sicherung und Überwachung der vollständigen Wertschöpfungskette aus, d.h. von der Erfassung erforderlicher Daten bis zum Angebot von Verkehrsdiensten an den Verkehrsteilnehmer bzw. zum Betreiber der Verkehrsanlagen.

Abbildung 2.9 zeigt den typischen Prozess der *Wertschöpfungskette*, der einem Verkehrsinformations- oder -managementsystem unterliegt. Nur wenn alle Glieder dieser Kette von der Verkehrslageerfassung bis zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion durchgehend konzipiert, umgesetzt und funktionsfähig sind, kann der gewünschte bzw. optimale Nutzen erwartet werden. Die Wertschöpfungskette

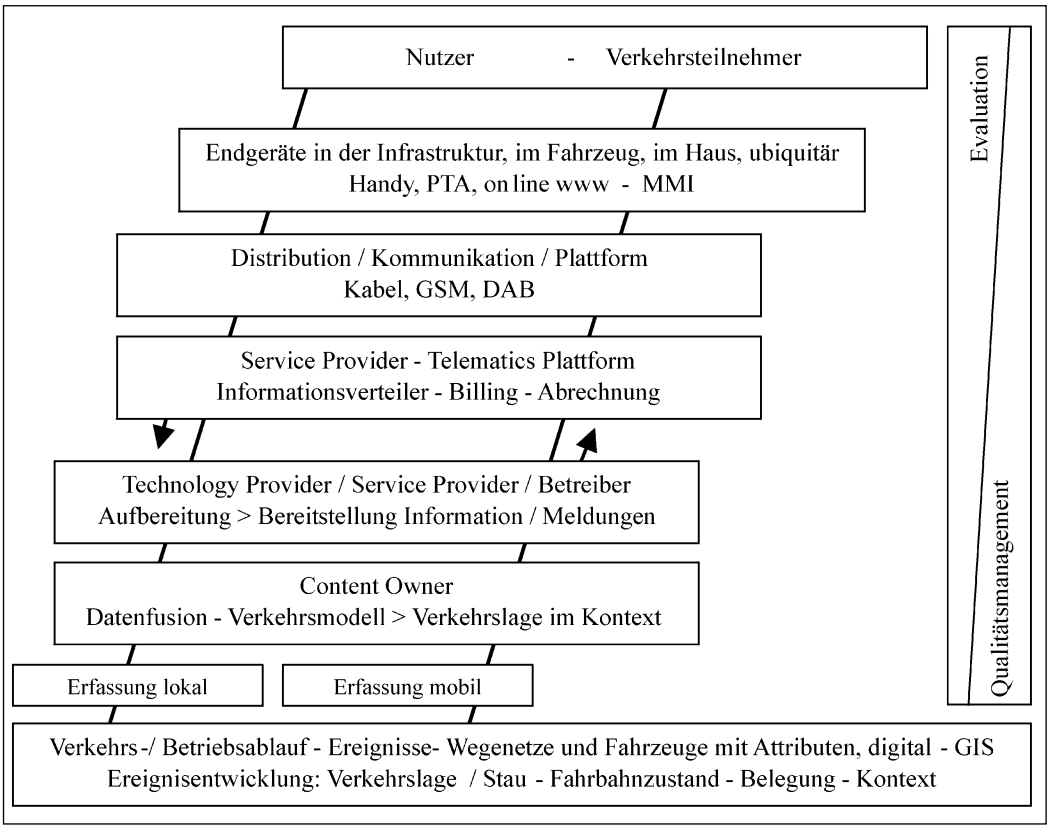


Abb. 2.9 Elemente der Wertschöpfungskette eines Verkehrsmanagementsystems. (Eigene Darstellung)

bildet auch die Basis für die Gestaltung der *Geschäftsmodelle* für öffentliche wie private Dienstebetreiber.

Die Schnittstellen zwischen den Gliedern der Informations- und Wertschöpfungskette sind *offen* zu gestalten, um die Interoperabilität der Systeme für den Betrieb, Unterhalt sowie für deren Ausbau und Weiterentwicklung zu sichern.

2.4.3 Kostenstrukturen und Bewertung

Die Kapitalkosten von Verkehrsmanagementmaßnamen sind im Vergleich zu dem Infrastrukturaus- und -neubau eher gering. Die Unterhaltskosten sind dagegen relativ hoch, unter anderem weil die Innovationszyklen relativ kurz sind, die Lebensdauer der technischen Anlagen in der Größenordnung von 7 bis 10 Jahren liegt und die dynamischen Verkehrsleitsysteme eine laufende Aktualisierung des Zustandes der digitalisierten Verkehrsnetze und ihrer Attribute sowie gegebenenfalls der Fahrzeugausstattungen erfordern. Gleichwohl ist es der Vorteil der Verkehrsmanagementmaßnahmen, dass sie schnell implementiert werden

können und insgesamt erheblich geringere Kosten als Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen beanspruchen, auch wenn sie offensichtlich nicht mit den Verkehrseffekten des Infrastrukturausbaus vergleichbar sind. Erst eine Analyse der Entwicklung der Kosten- und Nutzenströme über der Zeit kann ggf. darüber Aufschluss geben, wobei auch bei Investitionsentscheidungen nicht nur monetäre Faktoren ausschlaggebend sind.

Die *Bewertung* der Maßnahmen des Verkehrsmanagements erfordert aufgrund der dynamischen Maßnahmen auch differenzierte Wirkungsanalysen. Einen guten Einblick in die Bewertungsproblematik von Verkehrsleitsystemen vermittelt das *EVA-Manual* (Bobinger et al., 1992) und als Hindergrund die EWS (FGSV, 1997). Bei innovativen Systemen wird die Bewertung weiterhin dadurch erschwert, dass Einstellungen und Verhalten von künftigen Nutzern im allgemeinen nicht bekannt sind und im Rahmen der *Versuchsplanung* oft nicht ausreichend isoliert und modelliert werden.

Literatur

Bobinger, R. (1993): Straßennutzergebühren in Theorie und Praxis. Veröffentlichungen des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München

Bobinger, R.; Flowerdew, T.; Hammond, A.; Himanen, V.; Keller, H.; Kill, H.; Serwill, H. (1992): Evaluation Process for Road Transport Informatics – EVA-Manual. EVA Project, EC DG XIII, Brussels. Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München

Bogenberger, K. (2001): Adaptive Fuzzy Systems for Traffic Responsive and Coordinated Ramp Metering. Veröffentlichungen des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München

Braess, H.H. u. Reichert, G. (1995): PROMETHEUS: Vision eines intelligenten Automobils auf einer intelligenten Straße – Versuch einer kritischen Würdigung. Automobiltechnische Zeitschrift, S. 200-205, 330-334

Busch, F. u. Keller, H. (1997): Lichtsignalsteuerung als integrale Komponente des Verkehrsmanagements. Straßenverkehrstechnik 41, Heft 2, S. 63-69.

Denaes, S. (2003): Störungsdetektion und Qualitätsmanagement. CORVETTE. Im Auftrag der Obersten Baubehörde im Bayer. Staatsministerium des Innern. TRANSVER Arbeitspapier, München

FRAME (2003): European Framework Architecture for ITS Deployment in the 21st Century. DG INFSO, European Commission, Brussels

Friedrich, B. (1996): Steuerung von Lichtsignalanlagen: BALANCE – ein neuer Ansatz. Straßenverkehrstechnik 40, Heft 10

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:
– FGSV (1996): Hinweise zu Parkleitsystemen
– FGSV (1997): EWS. Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Hunt, P.B.; Robertson, D.I.; Bretherton, D.I. (1981): The SCOOT on-line signal optimisation technique. Traffic Engineering & Control. 22, Heft 4, S. 190-192

Keller, H. (2002): Materialen: Verkehrsleitsysteme im Straßenverkehr. Veröffentlichungen des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung. Technische Universität München

Keller, H. u. Busch, F. (2003): Ideenskizze für einen Projektantrag für München und seine Region im Rahmen der Ausschreibung Verkehrsmanagement 2010 des BMBF. Im Auftrag der BMW AG.

Keller, H.; Frank, D., Tschochner G., Wolters W., Ziegler, B. (1999): Telematics Implementations for Mobility in the Munich Metropolitan Area – MOBINET; 6th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Toronto, Canada, 8-12 November, 1999

Keller, H.; Friedrich, B.; Wulffius, H.; Wolters, W.; Mertz, J., Schüler, T. (2002): Adaptive Netzsteuerung. Straßenverkehrstechnik, 46, Heft 7, S. 333-338

Kirchhoff, P. (2002): Betriebsleittechnik im Öffentlichen Verkehr. Umdrucke des Lehrstuhls Ver-

kehrs- und Stadtplanung, Technische Universität München

Krau, I. (2003): „Mobilität und Kommunikation“ im Forschungsbericht „Zukunft München 2030 – Visionen und Strategien für Stadt und Region“. Lehrstuhl für Stadtraum und Stadtentwicklung. Technische Universität München

LH München und BMW AG (2001): Verkehrsprobleme gemeinsam lösen. Inzell IV. Forum Rote Routen. 4. Plenumsworkshop in Freising.

Logi, F.; Ullrich, M.; Keller H. (2002); A Dynamic Approach to Online Traffic Modelling in the Munich Metropolitan Network; 81st Annual Meeting of the Transport Research Board, Washington 2002

Mauro, V.; Di Tarranto, C (1989): UTOPIA. Proc. of the IFAC Symposium, Paris

Mertz, J.; Wulffius, H.; Ganser, M. (2001): MOBINET Quartiersteuerung. Nahverkehrs-Praxis 7/8

MOBINET Konsortium (2003): Leitprojekt MOBINET. Abschlußbericht 2003. 5 Jahre Mobilitätsforschung im Ballungsraum München. MOBINET Konsortium. Hrgs.: Landeshauptstadt München

Mück, J. (2002): Schätzverfahren für den Verkehrszustand an Lichtsignalanlagen unter Verwendung haltelinienaher Detektoren. Straßenverkehrstechnik 46, Heft 11, S. 613-618

Papageorgiou, M.; Hadj-Salem, H.; Blosseville, J.-M. (1991): ALINEA: A local feedback control law for on-ramp metering. Transportation Research Record 1320, Washington D.C.

Robertson, D. (1969): ‚TRANSYT’ method for area traffic control. Traffic Engineering and Control 10, S. 276-281

Scharrer, R.; Kippes G.; Glas, F.; Keller, H. (2003): An Innovative Road Side Driver Information System – NetzInfo. Proc. ITS World Congress, Madrid. ERTICO Brussels.

Schüler, T. (2003): Strategiemanagement in der Praxis. TRANSVER Arbeitspapier, München

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2003): Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Telematik im Verkehr. Internationales Verkehrswesen 55, Heft 12, S. 599-607

Wittenbrink, W. (1993): Betriebliche und kommunale Maßnahmen im Rahmen einer verbesserten City-Logistik; in: Internationales Verkehrswesen 45, S. 252-258

Zackor, H.; Keller H.; Steierwald, G.; Wolters, W.; Schlichter, H.G.; (1989): Kooperatives Verkehrsmanagement für die Region München. Pilotstudie. ARGE SSP/Keller im Auftrag der BMW AG

Zapp, K. (2003): Private könnten öffentliche Kassen entlasten. Internationales Verkehrswesen 55, Heft 12, S. 626-628

3 Lichtsignalsteuerung

3.1 Einführung

3.1.1 Entwicklung und Bedeutung der Lichtsignalsteuerung

Die Lichtsignalsteuerung ist das wichtigste Instrumentarium zur Beeinflussung der Verkehrsabwicklung an Knotenpunkten und in Straßennetzen. Ihre Bedeutung beruht insbesondere darauf, dass im Unterschied zu den Leit- und Informationssystemen des Verkehrs die mittels Lichtsignalanlagen gegebenen Zeichen nicht nur empfehlenden Charakter haben, sondern für alle Verkehrsteilnehmer verbindlich und damit unmittelbar wirksam sind.

Das Grundprinzip der Lichtsignalsteuerung besteht in der alternierenden Fahrtfreigabe unverträglicher Verkehrsströme mittels Lichtzeichen. 1913 entwickelte der US-Amerikaner James Hoge das uns bekannte Lichtsignal für den Kfz-Verkehr. Bereits 1917 wurden in Salt Lake City und 1922 in Houston koordinierte Lichtsignalsteuerungen eingerichtet. Im Jahr 1924 übernahm eine handgesteuerte Anlage auf dem Potsdamer Platz in Berlin als erste Lichtsignalanlage in Deutschland die Verkehrsregelung des damals verkehrsreichsten Platzes in Europa. Ende der zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts wurden auch in Berlin bereits mehrere Straßenzüge in „Grüner Welle“ betrieben.

Verkehrsabhängige Steuerungen mit Bemessung der Freigabezeiten mittels Zeitlückenmessung kamen ab Beginn der dreißiger Jahre in den USA und Großbritannien zur Anwendung. 1952 wurde in Denver erstmalig ein Analogrechner für die Lichtsignalsteuerung eingesetzt; die an Messquerschnitten erfassten Verkehrsstärken wurden dabei für die Anpassung der Versatzzeiten im Zuge koordiniert gesteuerter Straßenzüge genutzt.

Die Entwicklung digitaler Prozessrechner in den sechziger Jahren eröffnete neue Perspektiven auch für die Lichtsignalsteuerung. Mit dem Einsatz von Datenverarbeitungsanlagen wurden Verfahren der verkehrsabhängigen Signalprogrammauswahl, zunächst in den USA und Kanada, in der Folgezeit auch in Europa, sowie erste Offline-Optimierungsverfahren bekannt. Hervorzuheben ist insbesondere das 1967 in Großbritannien entwickelte Verfahren TRANSYT, welches auf eine Minimierung der durchschnittlichen Reisezeiten in einem festzeitgesteuerten Straßennetz abzielt und hinsichtlich seiner Zielfunktion mehrfach erweitert wurde.

Die Fortschritte auf dem Gebiet der elektronischen Datenverarbeitung ermöglichten in der Folgezeit die Entwicklung und den Einsatz auf komplexen Steuerungslogiken und mathematischen Modellen basierender Steuerungsverfahren. Eines der ersten und bis heute bekanntesten, zentral gesteuerten Optimierungsverfahren ist SCOOT (*S*plit *C*ycle and *O*ffset *O*ptimizing *T*echnique), welches erstmals 1973 in Großbritannien eingesetzt und seitdem mehrfach weiterentwickelt wurde.

Eine der Ursachen dafür, dass Online-Optimierungsverfahren in Deutschland bislang eine untergeordnete Rolle spielen, ist sicherlich auch darin zu sehen, dass mit der Entwicklung von Mikroprozessoren und deren Einsatz in Kreuzungssteuergeräten ab Anfang der achtziger Jahre Systemarchitekturen mit „verteilter Intelligenz“ möglich wurden, welche eher die Entwicklung differenzierter logikbasierter Steuerungsverfahren mit dem Ziel einer verbesserten Flexibilität der Steuerung insbesondere auf der lokalen Ebene förderten.

Die gesteigerte Datenverarbeitungskapazität führte dabei zu erweiterten Ansprüchen an die Lichtsignalsteuerung. So wurden zunehmend Forderungen erhoben, die Lichtsignalsteuerung so auszugestalten, dass sie einen größeren Beitrag zu verkehrspolitischen und stadtplanerischen Zielsetzungen leistet, z.B. zur Verbesserung der Attraktivität der öffentlichen Personennahverkehrsmittel oder der Stadtverträglichkeit des Verkehrsablaufs. Auch im Rahmen eines kooperativen Verkehrsmanagements (siehe Kap. D 2) stellt die Lichtsignalsteuerung daher nicht nur wegen der im Allgemeinen umfangreich vorhandenen technischen Infrastruktur, sondern vor allem wegen der vielfältigen Möglichkeiten der direkten Beeinflussung der Verkehrsströme und des Verkehrsablaufs das „Rückgrat“ aller dynamischen Maßnahmen dar.

Ziel des Kapitels D 3 ist es, einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Lichtsignalsteuerung unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen und Tendenzen zu geben und die wichtigsten, für den Entwurf, die Berechnung und die Bewertung von Lichtsignalprogrammen erforderlichen Grundlagen zu vermitteln. Für den mit der Planung und Realisierung von Lichtsignalanlagen befassten Ingenieur sind in Kapitel D 3.1.5 die für die notwendige weitere Vertiefung in das Sachgebiet heranzuziehenden Vorschriften und technischen Regelwerke zusammengestellt.

3.1.2 Art und Einsatzgebiete von Lichtsignalanlagen

Lichtsignalanlagen sind Lichtzeichen gemäß § 37 StVO. Für Lichtsignalanlagen, die den Verkehrsablauf an Knotenpunkten (Kreuzungen, Einmündungen, Kreisverkehrsplätze) und Engstellen steuern, wird verkehrsrechtlich der Begriff *„Wechsellichtzeichen“* verwendet.

Dagegen sind Fahrstreifensignale besondere Lichtsignale über den Fahrstreifen einer Fahrbahn, die verkehrsrechtlich als *„Dauerlichtzeichen“* bezeichnet werden. Sie dienen der Freigabe bzw. Sperrung von Fahrstreifen zum Beispiel im Rahmen eines Richtungswechselbetriebs. Im Gegensatz zur Signalisierung von Knotenpunkten ist die Fahrstreifensignalisierung eine betriebliche Maßnahme zur Beeinflussung des Verkehrsablaufs auf Strecken.

Aufgrund von Erfahrungen aus dem Ausland mit Rampenzuflusssteuerungen als Ansatz für eine positive Beeinflussung des Verkehrsablaufs an planfreien Anschlussstellen wird diese Art der Lichtsignalsteuerung zunehmend auch in Deutschland diskutiert. Allerdings steht die Rampenzuflusssteuerung bislang im Widerspruch zu geltenden gesetzlichen Regelungen und Richtlinien.

Im Folgenden steht der Einsatz von Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten und Fußgängerschutzanlagen im Mittelpunkt.

3.1.3 Einsatzkriterien und Ziele der Lichtsignalsteuerung

Die Richtlinien für Lichtsignalanlagen (siehe Kap. D 3.1.5) weisen keine quantitativen Einsatzkriterien für die Einrichtung von Lichtsignalanlagen aus und begründen dies mit den teilweise zueinander im Widerspruch stehenden Forderungen der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen und damit zusammenhängender Zielkonflikte. Sie empfehlen, vor Einrichtung einer Lichtsignalanlage zu prüfen, ob die von diesen erwarteten positiven Wirkungen nicht ebenso z.B. durch verkehrslenkende oder bauliche Maßnahmen zu erreichen sind.

In der Regel werden Lichtsignalanlagen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs eingerichtet. Im Hinblick auf die *Verkehrssi-*

cherheit sollen in erster Linie die Anzahl und Schwere der an einem Knotenpunkt auftretenden Unfälle vermindert werden. Vor allem bei schlechten Sichtverhältnissen an Knotenpunkten sind positive Wirkungen auf die Sicherheit der Verkehrsabwicklung durch Einsatz von Lichtsignalanlagen zur erwarten. Auch zur Verbesserung des Schutzes von Fußgängern und Radfahrern kommt der Einsatz von Lichtsignalanlagen in Betracht. Das Ziel der Verbesserung des *Verkehrsablaufs* wird als Entscheidungskriterium für den Einsatz von Lichtsignalanlagen dann relevant, wenn aufgrund unvertretbar langer Wartezeiten in Nebenströmen (kreuzender, ab- und einbiegender Kraftfahrzeugverkehr, Fußgänger- und Radverkehr) Zeitlücken mit Hilfe von Lichtsignalanlagen im Hauptstrom geschaffen werden müssen. Der Verkehrsablauf an einem Knotenpunkt ist als „verbesserungsbedürftig" anzusehen, wenn

- sich in mindestens einer wartepflichtigen Zufahrt oder durch Linksabbieger in der Hauptrichtung während bestimmter Zeiten regelmäßig ein großer Stau bildet,
- einzelne wartepflichtige Kraftfahrzeuge regelmäßig mehr als zwei bis drei Minuten warten müssen,
- die Wartezeiten für einzelne Fußgänger und Radfahrer regelmäßig eine bestimmte Geduldsschwelle überschreiten.

Auch das Ziel einer Verbesserung der Reise- und Wartezeitverhältnisse im öffentlichen Personennahverkehr oder einer sicheren Steuerung von Fahrzeugen der Not- und Rettungsdienste können den Einsatz von Lichtsignalanlagen erforderlich machen.

Schnabel und Lohse (1997) schlagen vor, aus der Durchlassfähigkeit des Knotenpunkts ohne Lichtsignalanlage und den vorhandenen Stärken der Verkehrsströme die Erfordernis einer Lichtsignalanlage zu bestimmen. Neben arithmetischen Verfahren ermöglicht auch das heute zur Verfügung stehende Instrumentarium der mikroskopischen Simulation des Verkehrsablaufs, bereits in einem frühen Entscheidungsstadium und bei vertretbarem Aufwand die Wirkungen von Lichtsignalanlagen zu quantifizieren und mit alternativen Möglichkeiten, z.B. dem Umbau des Knotenpunktes zu einem Kreisverkehrsplatz, vergleichend zu bewerten.

Außer den genannten verkehrstechnischen, häufig knotenpunktbezogenen Kriterien spielen zunehmend auch übergeordnete, verkehrspolitische oder verkehrsplanerische Ziele und Vorgaben der Verkehrsmanagementebene bei der Entscheidung über den Einsatz von Lichtsignalanlagen und die Gestaltung der Lichtsignalsteuerung eine Rolle. Sie beziehen sich dabei in der Regel auf größere räumliche Einheiten. Anderson et al. (1998) prägen sogar den Begriff der „politiksensitiven" Steuerung. In der Tat können Lichtsignalanlagen einen bedeutsamen Beitrag zur Erreichung von Zielen der Stadtverkehrsplanung und zur Entschärfung von Konflikten mit stadtplanerischen Zielsetzungen leisten. Dazu einige Beispiele:

- Die mit der Einrichtung und Verknüpfung so genannter „Grüner Wellen" (siehe Kap. D 3.2.6) verbundene bevorzugte Verkehrsabwicklung in den Koordinierungsrichtungen kann dazu genutzt werden, starke Verkehrsströme auf bestimmten Routen des Hauptstraßennetzes zu bündeln und das Nebennetz von Schleichverkehren zu entlasten.
- Durch Maßnahmen der Zuflussdosierung können Stauungen in städtebaulich sensiblen Stadtquartieren vermieden und in Bereiche mit einem stärker belastbaren Straßenumfeld verlagert werden.
- Durch eine fußgängerfreundliche Lichtsignalsteuerung (siehe Kap. D 3.3.1) lassen sich z.B. die Trennwirkungen von Straßen vermindern.
- Spezifische steuerungsbezogene Maßnah-

men an Knotenpunkten können wichtige Komponenten von Programmen zur Förderung des Radverkehrs bilden (siehe Kap. D 3.3.1).
- Durch Priorisierung von Straßenbahnen und Bussen an Lichtsignalanlagen (siehe Kap. D 3.3.2) können Anreize zur stärkeren Benutzung des öffentlichen Personennahverkehrs geschaffen werden, wenn durch die Verminderung externer Zeitverluste die Pünktlichkeit und Regelmäßigkeit des ÖPNV spürbar verbessert werden kann.
- Auch Entscheidungen zur Straßenraumgestaltung können von der Art der Lichtsignalsteuerung abhängig sein. So kann durch Einsatz geeigneter Steuerungsverfahren im Einzelfall z.B. auf die Anlage gesonderter Fahrwege für den ÖPNV verzichtet werden, um die dadurch gewonnenen Flächen nicht verkehrlichen Nutzungen zur Verfügung zu stellen.

Insgesamt trägt die Lichtsignalsteuerung wesentlich zu einer effektiveren und stadtverträglicheren Nutzung des in Städten kaum noch erweiterbaren Verkehrsraums bei und kann in vielen Fällen bauliche Maßnahmen entbehrlich machen.

Nicht primär eingesetzt werden bislang Lichtsignalanlagen aus Gründen des Umweltschutzes oder der Wirtschaftlichkeit, wenngleich durch Lichtsignalanlagen eine Reduzierung von Lärm- und Abgasemissionen erreicht werden kann und die Verminderung von Reisezeiten durch die Lichtsignalsteuerung aus gesamtwirtschaftlicher Sicht als vorteilhaft zu bewerten ist.

3.1.4 Lichtsignale und Lichtsignalfolgen

Bei den an Knotenpunkten und Fußgängerfurten eingesetzten Lichtsignalen (Wechsellichtzeichen) handelt es sich um:

– *Lichtsignale für den Kraftfahrzeugverkehr*

Kfz-Signale werden üblicherweise mit der Signalfolge (Farbfolge) GRÜN-GELB-ROT-ROT und GELB-GRÜN geschaltet. In Sonderfällen, in denen Lichtsignalanlagen nur in größeren zeitlichen Abständen betrieben werden, ist die Signalfolge DUNKEL-GELB-ROT-DUNKEL zulässig. Für Linksabbieger kann ein grüner Pfeil links hinter der Kreuzung („Diagonalgrün“) gezeigt werden, wenn der Gegenrichtungsverkehr durch ROT gesperrt ist. In besonderen Fällen kann Rechtsabbiegern eine Vorgabezeit durch einen einfeldigen Signalgeber mit Grünpfeil angezeigt werden.

Kfz-Signale gelten für alle fahrbahnpflichtigen Verkehrsteilnehmer, soweit diese nicht gesondert signalisiert werden. Sollen Kraftfahrzeugsignale nur für bestimmte Fahrtrichtungen gelten, so wird dies durch Richtungspfeile in den Leuchtfeldern der Signalgeber angezeigt. Zu beachten ist, dass in mit Richtungspfeil freigegebene Verkehrsströme keine weiteren, die gemeinsame Verkehrsfläche nutzenden Verkehrsströme hinzugeschaltet werden dürfen.

Die Dauer des Wechsels von der Freigabezeit zur Sperrzeit durch das Übergangssignal GELB wird als Übergangszeit t_G bezeichnet. Sie richtet sich nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in der jeweiligen Zufahrt und soll

$t_G = 3$ s bei zul. $V \leq 50$ km/h
$t_G = 4$ s bei zul. $V = 60$ km/h
$t_G = 5$ s bei zul. $V = 70$ km/h

betragen. Bei Lichtsignalanlagen an Engstellen (siehe Kap. D 3.5.3) soll eine Gelbzeit von einheitlich $t_G = 4$ s, bei Lichtsignalanlagen mit der Signalfolge DUNKEL-GELB-ROT-DUNKEL von $t_G = 5$ s geschaltet werden.

Das Übergangssignal t_{RG} von ROT und GELB vor GRÜN wird zur Vorbereitung auf die unmittelbar folgende Freigabezeit gezeigt. Es soll für Kraftfahrzeuge eine Sekunde und darf nicht länger als 2 Sekunden geschaltet werden.

Die Dauer des Grünsignals wird als Freigabezeit t_F bezeichnet. Für Kraftfahrzeugsignale sollte die Mindestfreigabezeit min t_F = 10 s, für durchgehenden Verkehr in Hauptrichtungen min t_F = 15 s betragen. Bei geringerer Verkehrsbelastung oder bei verkehrsabhängiger Freigabezeitbemessung kann die Mindestregelzeit bis auf 5 s verringert werden.

– *Lichtsignale für Fußgänger*

Fußgängersignale sind 2-feldig und haben die Signalfolge GRÜN-ROT-GRÜN. Die Dauer des GRÜN-Signals soll mindestens 5 Sekunden betragen. Zusätzlich ist zu gewährleisten, dass während der Grünzeit rechnerisch mindestens die halbe Fahrbahnbreite zurückgelegt werden kann.

– *Lichtsignale für den Radverkehr*

Gesonderte Signale für den Radfahrverkehr sind in den meisten Fällen nicht erforderlich, vielmehr werden Radfahrer in der Regel zusammen mit dem Kraftfahrzeugverkehr oder mit den Fußgängern signalisiert. Bei einer gesonderten Radfahrer-Signalisierung gilt dieselbe Signalfolge wie bei Kfz-Signalen. Das Grünsignal ist mit einer Mindestdauer von 5 Sekunden zu schalten. Die Gelbzeit beträgt 2 Sekunden, die Rot-Gelb-Zeit eine Sekunde.

– *Lichtsignale für Fahrzeuge des ÖPNV*

Spezielle Signale (siehe Abb. 3.1) erhalten öffentliche Verkehrsmittel nach BOStrab (siehe Kap. D 3.1.5), wenn sie nicht gemeinsam mit den Lichtsignalanlagen des Kfz-Verkehrs signalisiert werden. Zur Anzeige der Sperrzeit wird ein waagrechter, zur Anzeige der Freigabezeit ein senkrechter oder links bzw. rechts ansteigender weißer Leuchtbalken verwendet. Das so genannte „Permissivsignal" dient der eingeschränkten Freigabe und weist darauf hin, dass gleichzeitig freigegebene bevorrechtigte Verkehrsströme zu beachten sind. Das Übergangssignal mit weißem Lichtpunkt hat die Bedeutung „Halt zu erwarten". Die Freigabezeit von Straßenbahnen und Linienbussen soll eine Mindestdauer von 5 Sekunden nicht unterschreiten.

Die Dauer des Übergangssignals $t_{G, SB}$ (Signalbild „Halt zu erwarten") richtet sich nach der in der Knotenpunktzufahrt betrieblich zugelassenen Höchstgeschwindigkeit und beträgt:

$t_{G,SB}$ = 4 s bei max. V = 30 km/h
$t_{G,SB}$ = 5 s bei max. V = 40 km/h
$t_{G,SB}$ = 6 s bei max. V = 50 km/h
$t_{G,SB}$ = 7 s bei max. V = 60 km/h
$t_{G,SB}$ = 8 s bei max. V = 70 km/h

Das Übergangssignal kann entfallen bei max V $\leq$ 20 km/h, wenn am Signalstandort ausnahmslos zu halten, oder ein Signalwechsel von „Fahrt freigegeben" auf „Halt" innerhalb des Betriebsbremsweges ausgeschlossen ist.

– *Blinksignal*

Ein gelbes Blinklicht kann gemäß § 38 StVO schließlich zur Warnung vor Gefahren eingesetzt werden.

Abb. 3.1 Signale für Straßenbahnen und Linienbusse. (FGSV, 1992)

Lichtsignale sollen unter normalen Umfeldbedingungen bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h aus einer Entfernung von mindestens 75 m, bei 70 km/h aus mindestens 125 m eindeutig erkennbar sein, wobei die Signalgeber so auszurichten sind, dass eine Verwechslung aus jeder Annäherungsposition ausgeschlossen werden kann.

3.1.5 Vorschriften und technische Regelwerke

Für die praktische Ingenieurarbeit im Rahmen des Entwurfs, der Berechnung und der Bewertung von Lichtsignalsteuerungen sind insbesondere folgende Vorschriften und Regelwerke heranzuziehen:

Verordnungen

- Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)
- Allgemeine Verwaltungsschrift zur Straßenverkehrsordnung (VwV-StVO)
- Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab)

Richtlinien

- Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr, Ausgabe 1992, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Teilfortschreibung 2003, Ausgabe 2003, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- Richtlinien über Abhängigkeiten zwischen der technischen Sicherung von Bahnübergängen und der Verkehrsregelung an benachbarten Straßenkreuzungen und -einmündungen (BÜSTRA), Ausgabe 2001

Merkblätter, Hinweise und sonstige Regelwerke

(Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln)

- Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2001
- Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen, Ausgabe 1999
- Hinweise zur Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung, Ausgabe 1993
- Hinweise zu Verkehrsrechnern als Bestandteil der innerörtlichen Lichtsignalsteuerung, Ausgabe 2001
- Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr, Ausgabe 1991
- Technische Lieferbedingungen für transportable Lichtsignalanlagen (TL Transportable Lichtsignalanlagen), Ausgabe 1997

Darüber hinaus sind die geltenden Entwurfs- und Markierungsrichtlinien zu beachten.

Folgende DIN-Normen beziehen sich auf Lichtzeichenanlagen im Straßenverkehr:

- DIN VDE 0100, Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V
- DIN VDE 0211, Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen bis 1000 V
- DIN VDE 0800 Teil 1, Fernmeldetechnik; Errichtung und Betrieb der Anlagen
- DIN VDE 0800 Teil 2, Fernmeldetechnik; Erdung und Potenzialausgleich
- DIN VDE 0832-100, Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA)
- DIN 6163 Teil 5, Farben und Farbgrenzen für Signallichter; Ortsfeste Signallichter im Straßen- und Straßenbahnverkehr
- DIN 67 527 Teil 1, Lichttechnische Eigenschaften von Signallichtern im Verkehr; Ortsfeste Signallichter im Straßenverkehr
- DIN 32981, Zusatzeinrichtungen für Blinde

und Sehbehinderte an Straßenverkehrs-Signalanlagen (SVA), Anforderungen
- DIN EN 12368, Anlagen zur Verkehrssteuerung - Signalleuchten
- DIN EN 12675, Steuergeräte für Lichtsignalanlagen – Funktionale Sicherheitsanforderungen
- DIN EN 50293, Elektromagnetische Verträglichkeit, Straßenverkehrs-Signalanlagen – Produktnorm

Außerdem sind die jeweils gültigen, die Lichtsignalsteuerung betreffenden Bekanntmachungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen zu berücksichtigen.

3.2 Entwurf, Berechnung und Bewertung von Festzeitprogrammen

3.2.1 Ablauf des Planungsprozesses

Unter einem Lichtsignalprogramm werden die hinsichtlich Zuordnung und Dauer festgelegten Signalzeiten einer Lichtsignalanlage verstanden. Der Entwurf und die Berechnung eines Lichtsignalprogramms stellt einen kreativen, mehrfach rückgekoppelten Prozess dar, bei welchem die Gestaltung des Verkehrsraums, die Festlegung der Verkehrsführung am Knotenpunkt und die Entwicklung der Steuerung selbst eine Einheit bilden. Abbildung 3.2 zeigt das Ablaufschema für die Erstellung eines Festzeitprogramms an einem Einzelknotenpunkt.

Die Planungsgrundlagen für die Signalprogrammentwicklung bilden der Knotenpunktlageplan und die aus Verkehrsstromzählungen oder Verkehrsprognosen abgeleiteten Bemessungsverkehrsstärken, die zunächst im Rahmen einer überschlägigen Strukturierung und Bemessung des Lichtsignalprogramms für die Ermittlung des voraussichtlich notwendigen Fahrstreifenangebots herangezogen werden. Durch Überprüfung mit Richtwerten (maximale Umlaufzeit, Sättigungsgrade, etc.) werden notwendige Änderungen hinsichtlich des Knotenpunktausbaus, der Spuraufteilung oder der Signalprogrammstruktur vor der detaillierten Weiterbearbeitung festgestellt.

Diese beginnt im Allgemeinen mit der Erarbeitung der Signalprogrammstruktur als Grundlage für die Erstellung des *Signallageplans* (siehe Abb. 3.3), die *Zwischenzeitberechnung* und die Ermittlung der *Phasenübergänge*. Für die Dimensionierung der Signalzeiten für Festzeitprogramme werden im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (FGSV, 2001a) Berechnungsverfahren angeboten, welche die entsprechenden Ausführungen in den RiLSA 1992 (FGSV, 1992) ersetzen. Die mit diesen ermittelten Signalprogramm-Parameter sind in der Regel auch für die Gestaltung verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren von Bedeutung. Der Planungsprozess für Lichtsignalanlagen ist abgeschlossen, wenn der Nachweis über eine ausreichende Kapazität und Verkehrsqualität geführt werden kann.

3.2.2 Entwurf der Signalprogrammstruktur

Der Entwurf der Signalprogrammstruktur umfasst Festlegungen zur Phaseneinteilung und Phasenfolge. Unter einer Phase wird dabei derjenige Teil eines Signalprogramms verstanden, während dem ein bestimmter Signalisierungszustand unverändert bleibt. Dabei müssen die freigegebenen Verkehrsströme nicht exakt zu denselben Zeitpunkten beginnen oder enden.

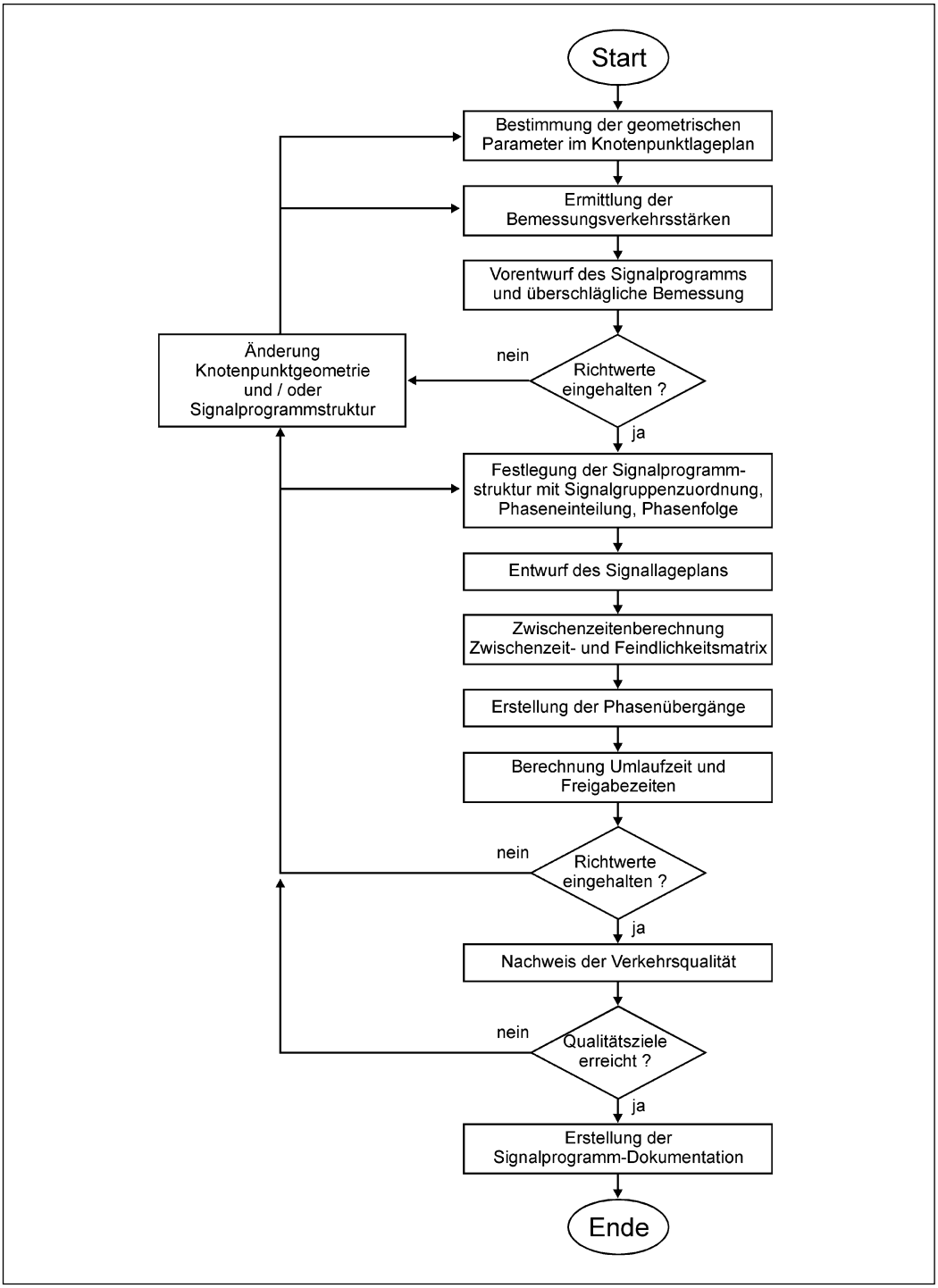


Abb. 3.2 Ablaufschema für die Planung und Bewertung von Lichtsignalanlagen. (Eigene Darstellung)

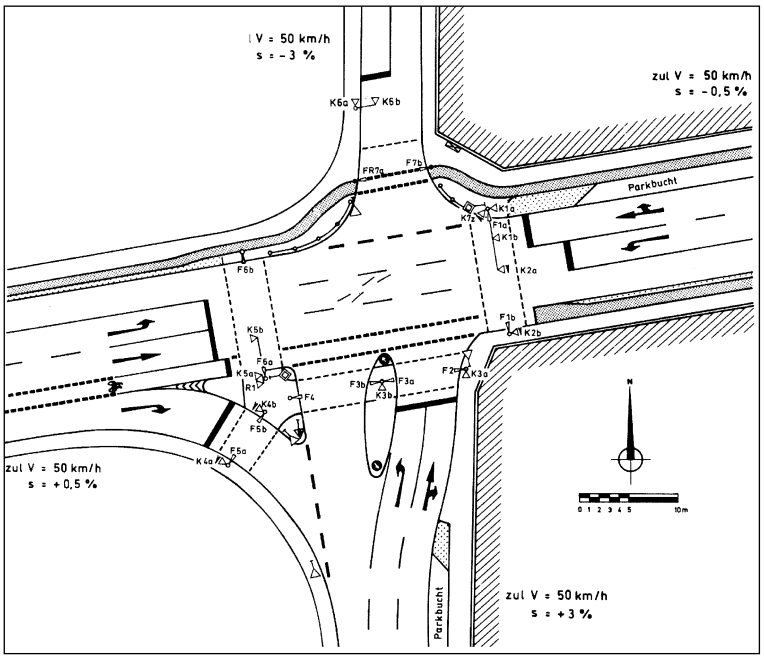


Abb. 3.3 Darstellungsbeispiel – Signallageplan. (FGSV, 1992)

Phaseneinteilung

In einer Phase können verträgliche oder bedingt verträgliche Verkehrsströme freigegeben werden. Verträgliche Verkehrsströme haben im Gegensatz zu nicht verträglichen Verkehrsströmen keine gemeinsame Konfliktfläche, d.h. sie benutzen keine gemeinsame Knotenpunktfläche beim Durchfahren des Knotenpunkts. Nicht verträgliche Verkehrsströme müssen mit Ausnahme nicht gesondert signalisierter Abbiegeströme getrennt in verschiedenen Phasen abgewickelt werden. Nicht gesondert signalisierte Abbiegeströme werden als bedingt verträglich bezeichnet. Verträgliche Verkehrsströme mit annähernd gleichem Freigabezeitbedarf sind möglichst in einer Phase zusammenzufassen.

Bei bedingt verträglichen Strömen ist zu beachten, dass ein bevorrechtigter Verkehrsstrom zu einem bereits freigegebenen, bedingt verträglichen Verkehrsstrom nicht hinzugeschaltet werden darf. Eine Ausnahme hiervon bilden lediglich Linksabbieger, für die eine Vorgabezeit angezeigt werden kann, wenn die Linksabbieger durch Signal auf die beginnende Freigabezeit des bevorrechtigten Gegenverkehrs hingewiesen und regelmäßig durch Fahrzeuge des Gegenverkehrs aufgehalten werden.

Bei vom Kfz-Verkehr abweichenden Schaltzeiten für ÖPNV-Fahrzeuge auf gesonderten Fahrwegen werden eigene ÖV-Signalgeber erforderlich.

Links- und rechtsabbiegender Kraftfahrzeugverkehr kann signaltechnisch gesichert, zeitweilig gesichert und nicht gesichert geführt werden. Hinsichtlich der dabei zu beachtenden Gesichtspunkte wird auf die Richtlinien für Lichtsignalanlagen 1992 hingewiesen. Ausführungen zum Grünpfeilschild für Rechtsabbieger enthält die Teilfortschreibung der RiLSA (FGSV, 2003).

Phasenanzahl und Phasenfolge

Eine 2-phasige Steuerung (siehe Abb. 3.4, Fall 1) empfiehlt sich nur bei schwachen Abbiegeströmen und geringem Rad- oder Fußgängerverkehr. Eine signaltechnisch gesicherte Führung dieser Verkehrsströme ist bei 2-phasiger Steuerung nicht möglich. Im tatsächlichen Verkehrsablauf wird sich jedoch eine „innere Mehrphasigkeit“ einstellen, da während der Freigabezeit im Knotenpunktbereich wartende Linksabbieger im Phasenwechsel abfließen.

Eine vollständig gesicherte Führung aller Verkehrsströme erfordert an Kreuzungen mindestens vier Phasen (siehe Abb. 3.4, Fall 3), vorausgesetzt, die links- und rechtsabbiegenden Verkehrsströme werden auf eigenen Fahrstreifen geführt. Bei Geradeaus-Rechts-Mischspuren können entweder nur die Linksabbieger aller Zufahrten (siehe Abb. 3.4, Fall 4) oder die Linksabbieger zweier Knotenpunktzufahrten und die Fußgänger signaltechnisch gesichert geführt werden. Eine 5-phasige Steuerung wird erforderlich, wenn ohne gesonderten Fahrstreifen für jede Fahrtrichtung des Kfz-Verkehrs alle Verkehrsströme vollen Signalschutz erhalten sollen (siehe Abb. 3.4, Fall 5).

Da bei jedem Phasenwechsel Zwischenzeiten eingehalten werden müssen, sind Signalsteuerungen mit geringer Phasenzahl hinsichtlich der Kapazität günstig. Für eine Abwägung beider Kriterien stehen allgemein gültige Empfehlungen zurzeit nicht zur Verfügung. In verschiedenen Forschungsarbeiten wurde versucht, weitgehend objektive Kriterien zur Lösung des Zielkonflikts zu entwickeln (z.B. Krüger, 1986).

Phasenfolge

Bei der Festlegung der Phasenfolge können verschiedene, häufig konkurrierende Anforderungen von Bedeutung sein, so dass in vielen Fällen Kompromisse eingegangen werden müssen. Folgende Aspekte können eine Rolle spielen:

– Sind keine der im Folgenden aufgeführten oder sonstige Randbedingungen zu beachten, stellt die Phasenfolge mit der geringsten Summe der maßgebenden Zwischenzei-

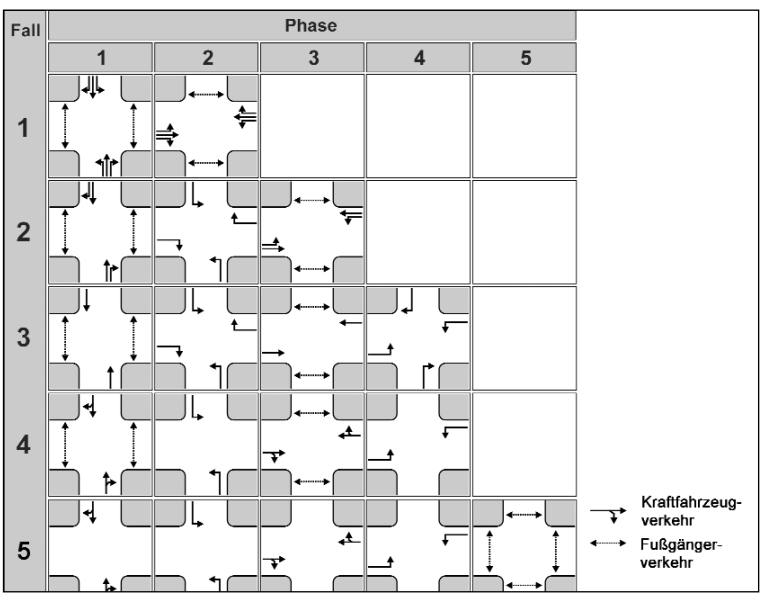


Abb. 3.4 Möglichkeiten der Phaseneinteilung an 4-armigen Knotenpunkten (Beispiele). (Eigene Darstellung)

ten die günstigste Lösung dar, da sie zur kürzesten Umlaufzeit führt.
- Über Phasenübergänge hinweg durchlaufende Freigabezeiten, so genannte „Verkettungen“, sollen zur Schaffung eines möglichst großen Freigabezeitangebots für die betreffenden Verkehrsströme genutzt werden und können ein wichtiges Kriterium bei der Festlegung der Phasenfolge darstellen.
- Die Koordinierung der Freigabezeiten von Fußgängern und Radfahrern zur zügigen Überquerung aufeinander folgender Furten kann die Phasenfolge bestimmen.
- Durch Abstimmung der Kfz-Freigabezeiten auf Nachbarknotenpunkte im Zuge einer Grünen Welle ist die Phasenfolge im Allgemeinen festgelegt.
- Bei komplexen Knotenpunkten oder begrenzten Stauräumen kann eine bestimmte Phasenfolge sinnvoll sein, um gegenseitige Behinderungen auszuschließen.
- Sind Stauräume an einem Nachbarknotenpunkt begrenzt, kann es notwendig werden, ständigen Zufluss zu diesem Knotenpunkt durch aufeinander folgende Freigabe bestimmter Verkehrsströme zu vermeiden.

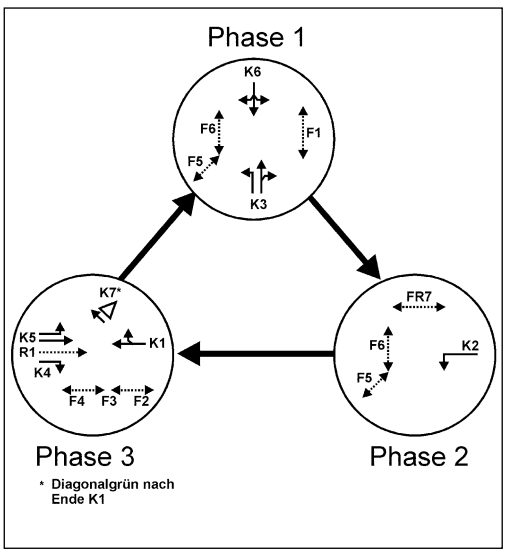


Abb. 3.5 Darstellungsbeispiel – Phasenfolgeplan (Festzeitprogramm). (FGSV, 1992)

Die keineswegs vollständige Auflistung möglicher Kriterien für die Wahl der Phasenfolge verdeutlicht, dass Festlegungen für jeden Einzelfall nach sorgfältiger Prüfung der lokalen örtlichen und verkehrlichen Bedingungen erfolgen müssen. Die gewählte Phasenfolge wird in einem *Phasenfolgeplan* dargestellt. Das Beispiel in Abbildung 3.5 bezieht sich auf den in Abbildung 3.3 dargestellten Knotenpunkt, an welchem ein Festzeitprogramm entsprechend Abbildung 3.8 eingesetzt wird.

Phasenübergänge

Der Wechsel zwischen den Phasen wird nach Festlegung der Phasenfolge auf der Grundlage der berechneten Zwischenzeiten in Form von Phasenübergangsplänen dargestellt. Der *Phasenübergangsplan* enthält mindestens die für den Phasenwechsel erforderlichen Zwischenzeiten. Je nach Wahl des Steuerungsverfahrens kann es jedoch sinnvoll sein, die Phasenübergangspläne unter Berücksichtigung der Mindestfreigabezeiten zu erstellen. Der in Abbildung 3.6 dargestellte Phasenübergang zeigt den Wechsel von Phase 1 nach 2 (siehe Abb. 3.5) für das in Abbildung 3.8 dargestellte Festzeitprogramm.

Bei verkehrsabhängiger Steuerung kann es notwendig werden, auch so genannte „gesplittete“ Phasenübergänge zu realisieren, damit während eines laufenden Phasenübergangs, zum Beispiel im Zusammenhang mit einem Vorrangeingriff des ÖPNV, ein neues Phasenziel angesteuert werden kann.

3.2.3 Zwischenzeitenberechnung

Die notwendige Verkehrssicherheit beim Phasenwechsel wird über die Zwischenzeiten sichergestellt. Als Zwischenzeit wird dabei die Zeitdauer zwischen dem Ende der Freigabe-

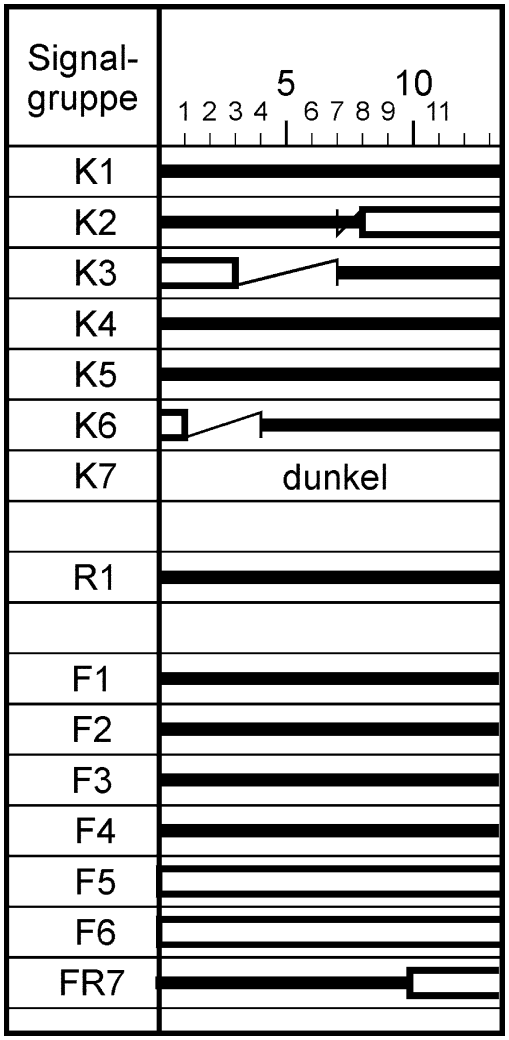


Abb. 3.6 Darstellungsbeispiel – Phasenübergangsplan. (FGSV, 1992)

endende Signalgruppe \ beginnende Signalgruppe	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	R1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	FR7
K1			4			4	4		4					7	
K2			5	8	5	4			2		8	8			
K3	6	4			4			1		4	4				6
K4		2				2							4		
K5		3	6			5			6					3	
K6	6	6		12	7			4			7	7			6
K7															
R1		2	6			2			8					2	
F1	10	7			6			5							
F2			6												
F3		4	6			3									
F4		4				3									
F5				5											
F6	8				8			10							
FR7			3			6	4								

Abb. 3.7 Darstellungsbeispiel – Zwischenzeiten-Matrix. (FGSV, 1992)

zeit eines räumenden und dem Beginn der Freigabezeit eines anschließend freigegebenen Verkehrsstroms verstanden, wobei beide Verkehrsströme dieselbe Konfliktfläche befahren.

Die Zwischenzeit t_Z berechnet sich wie folgt:

$$t_Z = t_{ü} + t_r - t_e$$

mit t_Z = Zwischenzeit [s]
$t_{ü}$ = Überfahrzeit (Anteil der überfahrenen Gelbzeit) [s]
t_r = Räumzeit [s]
t_e = Einfahrzeit [s]

Die Zwischenzeiten werden auf der Grundlage des Signallageplans (siehe Abb. 3.3) für alle nichtverträglichen Ströme exakt berechnet und in Form einer Zwischenzeitmatrix (siehe Abb. 3.7) dargestellt. Die Zwischenzeit kann, je nach Geometrie des Knotenpunkts, sowohl Werte größer null Sekunden, als auch solche gleich oder kleiner 0 annehmen. Dabei ist zu beachten, dass gemäß RiLSA (FGSV, 1992) für Kfz-Ströme zusätzlich die Bedingung $t_{ü} + t_r \geq t_G + 1$ einzuhalten ist.

Für die Vordimensionierung können die

Tabelle 3.1 Orientierungswerte für Zwischenzeiten. (FGSV, 2001a)

	Einfahrende Verkehrsströme													
	Kleine Knotenpunkte (max. 2 Fahrstreifen je Zufahrt)							Große Knotenpunkte (max. 5 Fahrstreifen je Zufahrt)						
Räumende Verkehrsströme	Kfz, geradeaus + rechts	Kfz, linksabbiegend	ÖV-Fahrzeug, ohne (H)	ÖV-Fahrzeug, mit (H)	Radfahrer	Fußgänger (Zufahrt)	Fußgänger (Ausfahrt)	Kfz, geradeaus + rechts	Kfz, linksabbiegend	ÖV-Fahrzeug, ohne (H)	ÖV-Fahrzeug, mit (H)	Radfahrer	Fußgänger (Zufahrt)	Fußgänger (Ausfahrt)
Kfz, geradeaus + rechtsabbiegend	6	5	6	3	5	5	7	8	4	7	4	6	5	9
Kfz, linksabbiegend	7	6	6	3	5	5	8	9	7	10	7	9	5	10
ÖV-Fahrzeug, ohne (H)	8	7	7	4	6	6	9	9	6	8	5	7	6	10
ÖV-Fahrzeug, mit (H)	9	8	8	5	7	7	10	11	8	10	7	9	7	12
Radfahrer	8	7	7	4	-	-	-	13	10	12	9	-	-	-
Fußgänger (Zufahrt)	7	7	7	7	-	-	-	12	12	12	12	-	-	-
Fußgänger (Ausfahrt)	7	7	7	7	-	-	-	4	4	4	1	-	-	-

Zwischenzeiten der Tabelle 3.1 als Orientierungswerte verwendet werden. Im Übrigen wird auf die Berechnungsvorschriften in den RiLSA (FGSV, 1992) verwiesen.

3.2.4 Berechnung der Lichtsignalprogramm-Parameter

Die verkehrstechnische Dimensionierung von Lichtsignalprogrammen geht von der festgelegten Signalprogrammstruktur, den Ergebnissen der Zwischenzeitenberechnung und den ermittelten Bemessungsverkehrsstärken aus. Sie enthält die Berechnung der Umlaufzeit t_U und die Festlegung der Schaltzeiten aller Signale. Die Umlaufzeit t_U ist dabei die Zeitdauer für den einmaligen Ablauf des Signalprogramms.

Umlaufzeit t_U, Freigabezeiten t_{Fi} und die sich damit ergebenden Sperrzeiten t_{Ri} werden in Deutschland gemäß HBS (FGSV, 2001a) nach dem so genannten *„Zeitbedarfsverfahren“* berechnet, welches auf einer deterministischen Betrachtung des Zu- und Abflusses an einem lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt beruht.

Zufluss

Der Zufluss wird durch die Bemessungsverkehrsstärken $q_{maßg}$ [Fz/h] beschrieben, die für jeden Fahrstreifen bezogen auf die Spitzenstunde der betrachteten Verkehrszeit einschließlich der zugehörigen Schwerverkehrsanteile (SV) zu bestimmen sind. Der Zufluss wird als unabhängig von der Signalisierung und über die Umlaufzeit gleichförmig betrachtet. Charakteristische Verkehrszeiten, für die jeweils spezielle Signalprogramme erstellt werden, sind in der Regel

- die Hauptverkehrszeit morgens,
- die Normalverkehrszeit (i. Allg. Zeiträume zwischen den Hauptverkehrszeiten),
- die mittägliche Verkehrsspitze (insbesondere in kleineren und mittleren Städten),
- die Hauptverkehrszeit nachmittags,
- die Schwachverkehrszeit.

Tabelle 3.2 Sättigungsverkehrsstärken und Zeitbedarfswerte in Abhängigkeit von der Freigabezeitdauer. (FGSV, 2001a)

Zu erwartende Freigabezeit t_F * [s]	Sättigungsverkehrsstärke q_S ** [Pkw/h]	Zeitbedarfswert t_B [s/Fz]
> 10	2000	1,8
10	2400	1,5
6	3000	1,2

* bei Zwischenwerten interpolieren
** q_S [Pkw/h] oder [Fz/h] bei SV-Anteil < 2 %

Abfluss

Der Abfluss ist an einer Lichtsignalanlage nur während der Freigabezeit möglich, wobei in der Realität die einzelnen Fahrzeuge die Haltelinie in unterschiedlichen zeitlichen Abständen t_{Bi} überfahren. Das Berechnungsverfahren des HBS (FGSV, 2001a) geht davon aus, dass sich diese über die Dauer der Freigabezeit dem Zeitbedarfswert t_B [s/Fz] annähern.

Bei Freigabezeiten von mehr als 10 Sekunden wird bei reinem Pkw-Verkehr ein Zeitbedarfswert von 1,8 s/Fz angesetzt. Bei kürzeren Freigabezeiten werden kleine Werte aufgrund der stärkeren Nutzung der Gelbzeit verwendet (siehe Tabelle 3.2).

Die Sättigungsverkehrsstärke als theoretische Zahl der Fahrzeuge, die während einer Grünstunde in einer signalisierten Zufahrtspur abfließen, ergibt sich damit zu:

$$q_s = \frac{3600}{t_B} \quad [\text{Fz/h}]$$

Neben der Dauer der Freigabezeit beeinflussen die in Tabelle 3.3 aufgeführten Einflussgrößen die Sättigungsverkehrsstärke. Sie werden durch maximal zwei Angleichungsfaktoren berücksichtigt:

$$q_S = f_1 \times f_2 \times q_{S,St}$$

mit

q_S = Sättigungsverkehrsstärke für die betrachtete Situation [Fz/h]

f_1, f_2 = Angleichungsfaktoren [-]

$q_{S,St}$ = Sättigungsverkehrsstärke unter Standardbedingungen

Wie praktische Erfahrungen zeigen, ist der Angleichungsfaktor von f = 0,80 bei starkem Fußgängerverkehr häufig nicht ausreichend, so dass empfohlen wird, in diesen Fällen die Abflussbedingungen im rechtsabbiegenden Kraftfahrzeugverkehr durch Verkehrsbeobachtungen vor Ort zu überprüfen.

Umlaufzeit

Mit der Festlegung des Zu- und Abflusses sind die für die Berechnung der Umlaufzeit t_U erforderlichen Grundlagen gegeben. Ein lichtsignalgesteuerter Knotenpunkt besitzt eine ausreichende Kapazität, wenn die während der Umlaufzeit t_U zufließenden Fahrzeuge der so genannten „maßgebenden Verkehrsströme“ $\sum q_{maßg,i}$ aller Phasen p während ihrer Freigabezeiten $\sum$maßg t_{Fi} abfließen können:

$$\frac{\sum_{i=1}^{p} q_{maßg,i}}{3600} \cdot t_U \le \frac{\sum_{i=1}^{p} q_{Si}}{3600} \cdot \sum_{i=1}^{p} maßg\ t_{Fi} \qquad (3.1)$$

$\sum$maßg t_{Fi} umfasst die Freigabezeiten derjenigen maßgebenden Verkehrsströme, die in einem Umlauf nacheinander freigegeben wer-

Tabelle 3.3 Angleichungsfaktoren für die Sättigungsverkehrsstärken. (FGSV, 2001a)

Einflussgröße		Angleichungsfaktor
Schwerverkehrsanteil	SV < 2 % SV = 2 ... 15 % SV > 15 %	$f_{SV} = 1{,}00$ $f_{SV} = 1 - 0{,}0083\ e^{0{,}21\ SV}$ $f_{SV} = 1 / (1 + 0{,}015 \cdot SV)$
Fahrstreifenbreite	2,60 m 2,75 m ≥ 3,00 m	$f_b = 0{,}85$ $f_b = 0{,}90$ $f_b = 1{,}00$
Abbiegeradius	R ≤ 10 m ≤ 15 m > 15 m	$f_R = 0{,}85$ $f_R = 0{,}90$ $f_R = 1{,}00$
Fahrbahnlängsneigung	Steigung + 5 % + 3 % Ebene 0 % Gefälle – 3 % – 5 %	$f_s = 0{,}85$ $f_s = 0{,}90$ $f_s = 1{,}00$ $f_s = 1{,}10$ $f_s = 1{,}15$
Fußgängerverkehr	stark mittel schwach	$f_F = 0{,}80$ $f_F = 0{,}90$ $f_F = 1{,}00$

den müssen und die Phasendauer bestimmen. Der maßgebende Verkehrsstrom i mit der Freigabezeitdauer maßg t_{Fi} kann ein Kraftfahrzeugstrom (häufig der stärkstbelastete Strom), aber auch ein Radverkehrs- bzw. Fußgängerstrom oder eine ÖPNV-Relation sein, wenn bei diesen eine von der Umlaufzeit unabhängige Freigabezeit maßgebend wird (siehe Gleichung 3.4a).

Weiterhin besteht zwischen der Umlaufzeit t_U, der Summe der maßgebenden Freigabezeiten ∑maßg t_{Fi} und der Summe der maßgebenden Zwischenzeiten $T_Z = \sum t_{Zi}$ folgender Zusammenhang:

$$t_U = T_Z + \sum_{i=1}^{p} maßg\, t_{Fi} \qquad (3.2)$$

Wird Gleichung 3.1 nach ∑maßg t_{Fi} aufgelöst und in Gleichung 3.2 eingesetzt, ergibt sich:

$$t_U = \frac{T_Z}{1 - \sum_{i=1}^{p} \frac{q_{maßg,i}}{q_{Si}}} \qquad (3.3)$$

Bei Vorgabe eines Sättigungsgrades g_i für die maßgebenden Verkehrsströme gilt somit:

$$t_U = \frac{T_Z}{1 - \sum_{i=1}^{p} \frac{q_{maßg,i}}{g_i \cdot q_{Si}}} \qquad (3.4)$$

Nach HBS (FGSV, 2001a) soll die Umlaufzeit für Knotenpunkte im Zuge Grüner Wellen nach Gleichung 3.4 ermittelt und für den Koordinierungsverkehr ein Sättigungsgrad g ≤ 0,85 (max. 0,90), für den Quer- und Abbiegeverkehr von g ≤ 0,90 (max. 0,95) angesetzt werden.

Bei einem Einzelknotenpunkt ist zumindest als Orientierungswert die Umlaufzeit für einen bestimmten Verkehrsstärkezustand so zu bestimmen, dass die Wartezeit für den Kraftfahrzeugverkehr minimal wird. Die für den Kfz-Verkehr wartezeitoptimale Umlaufzeit errechnet sich nach HBS (FGSV, 2001a) zu:

$$t_U = \frac{1{,}5 \cdot T_Z + 5}{1 - \sum_{i=1}^{p} \frac{q_{maßg,i}}{q_{Si}}} \qquad (3.5)$$

Sofern in den Phasen p' die Mindestfreigabezeiten maßgebend werden, muss die Umlaufzeit erhöht werden. In diesem Fall gilt für die Gleichungen 3.4 und 3.5:

$$t_U = \frac{T_Z + \sum_{i=1}^{p\text{-}p'} t_{Fmin,\,i}}{1 - \sum_{i=1}^{p\text{-}p'} \frac{q_{maßg,i}}{g_i \cdot q_{Si}}} \qquad (3.4a)$$

$$t_U = \frac{1{,}5 \cdot T_Z + \sum_{i=1}^{p\text{-}p'} t_{Fmin,\,i} + 5}{1 - \sum_{i=1}^{p\text{-}p'} \frac{q_{maßg,i}}{q_{Si}}} \qquad (3.5a)$$

Die errechneten Umlaufzeiten werden auf eine ganze Zahl aufgerundet. Für die Dauer der Umlaufzeit an Knotenpunkten können folgende Richtwerte angesetzt werden:

minimal	50 s
normal	60 bis 90 s
maximal	120 bis 130 s

Freigabezeiten

Die Freigabezeiten t_{Fi} der maßgebenden Verkehrsströme werden entsprechend den Verkehrsflussverhältnissen berechnet:

$$t_{Fi} = \frac{q_{maßg,i} / g_i \cdot q_{Si}}{\sum_{i=1}^{p} q_{maßg,i} / g_i \cdot q_{Si}} \cdot (t_U - T_Z) \qquad (3.6)$$

Freigabezeiten nicht maßgebender Ströme werden unter Beachtung der Zwischenzeiten-Matrix und der Versatzzeitbedingungen in den Signalzeitenplan anschließend eingepasst.

Darstellung des Lichtsignalprogramms

Das Lichtsignalprogramm kann in Form eines Signalzeitenplans dargestellt werden. Das Beispiel in Abbildung 3.8 bezieht sich auf den in Abbildung 3.3 dargestellten Knotenpunkt mit einer Phasenfolge gemäß Abbildung 3.5.

Im Zusammenhang mit dem vermehrten Einsatz phasenorientierter verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren hat sich die Darstellung so genannter *„Rahmensignalpläne“* im Sinne von Phasenaufrufplänen stärker durchgesetzt, in welchen die Erlaubnisbereiche der einzelnen Phasen dargestellt werden. Die Dauer der Freigabezeiten der einzelnen Signalgruppen ist im Phasenaufrufplan unmittelbar nicht ablesbar, sondern muss unter Hinzuziehung der Phasenübergangspläne ermittelt werden. Abbildung 3.9 zeigt den Rahmenplan des in Abbildung 3.8 dargestellten Signalzeitenplans.

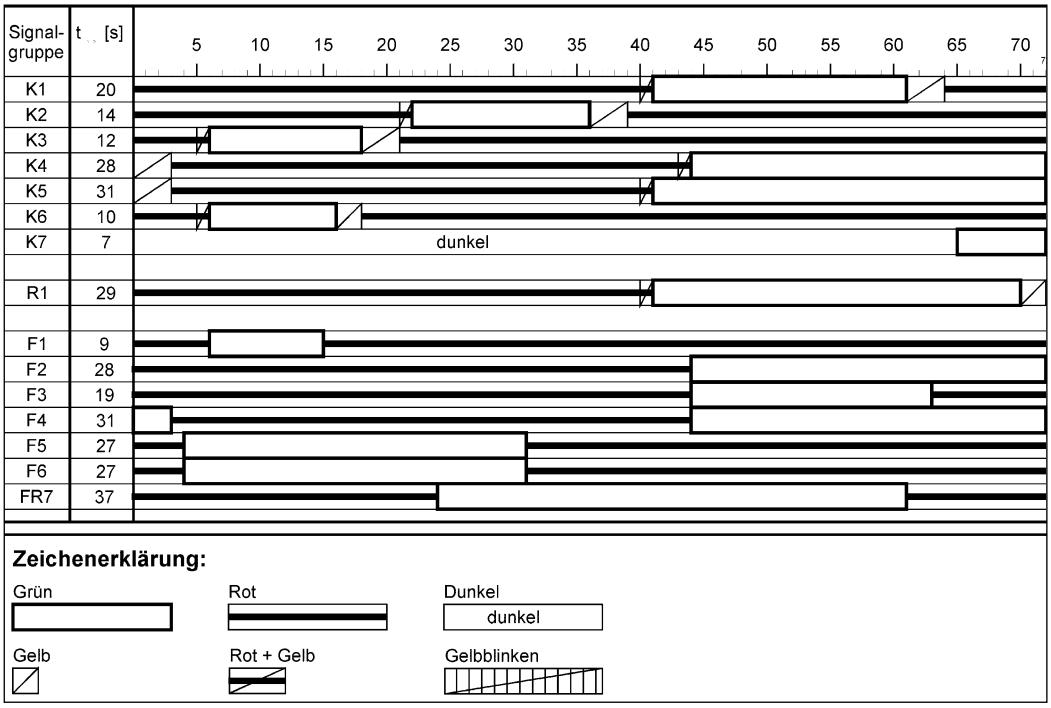


Abb. 3.8 Darstellungsbeispiel – Signalzeitenplan für eine Festzeitsteuerung. (FGSV, 1992)

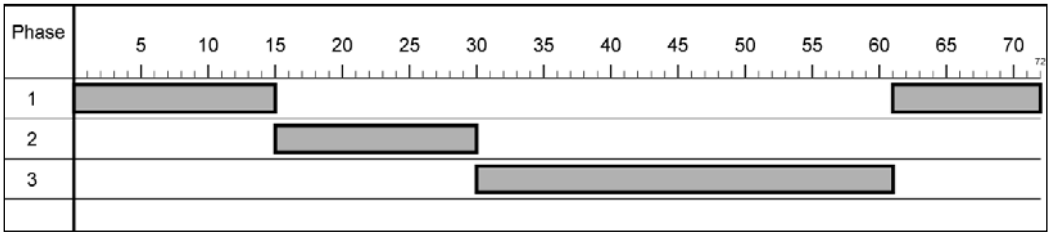


Abb. 3.9 Darstellungsbeispiel – Phasenaufrufplan für eine Festzeitsteuerung. (Eigene Darstellung)

3.2.5 Bewertung von Lichtsignalprogrammen

Wichtigstes Kriterium für die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Lichtsignalanlagen ist die Dauer der Wartezeit für Verkehrsteilnehmer, die durch Wartevorgänge aufgrund der alternierenden Sperrung und Freigabe der Knotenpunktdurchfahrt entstehen. Die Dauer der einzelnen Wartevorgänge ist als Zufallsgröße abhängig vom Zeitpunkt des Eintreffens und der Abfertigung an der Lichtsignalanlage. Das Berechnungsverfahren gemäß HBS (FGSV, 2001a) geht weitgehend auf die von Wu (1992) entwickelten Ansätze zurück und ermöglicht die Ermittlung der mittleren Wartezeiten und Rückstaulängen für festzeitgesteuerte Lichtsignalanlagen.

Neben der arithmetischen Berechnung der Bewertungskriterien haben zunehmend auch Verfahren der mikroskopischen Simulation des Verkehrsablaufs für die Bewertung der

Tabelle 3.4 Grenzwerte für die Qualitätsstufen. (FGSV, 2001a)

QSV	zulässige mittlere Wartezeit w [s]				Prozentsatz der Durchfahrten ohne Halt [%]
	Straßengebundener ÖPNV	Fahrradverkehr	Fußgängerverkehr[1)]	Kraftfahrzeugverkehr (nicht koordinierte Zufahrten)	Kraftfahrzeugverkehr (koordinierte Zufahrten)
A	≤ 5	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≥ 95
B	≤ 15	≤ 25	≤ 20	≤ 35	≥ 85
C	≤ 25	≤ 35	≤ 25	≤ 50	≥ 75
D	≤ 40	≤ 45	≤ 30	≤ 70	≥ 65
E	≤ 60	≤ 60	≤ 35	≤ 100	≥ 50*
F	> 60	> 60	> 35	> 100	< 50*

[1)] Zuschlag von 5 s bei Überquerung von mehreren Furten
* Koordinierung unwirksam

Verkehrsflussqualität Eingang in die Praxis gefunden. Sie ermöglichen eine Erweiterung des Beurteilungsspektrums, insbesondere bei Einsatz verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren, hinsichtlich des Zusammenwirkens von Lichtsignalanlagen im Strecken- oder Netzzusammenhang und der zeitlichen Entwicklung von Bewertungskriterien, welche im Simulationsmodell durch Messungen erfasst werden können.

Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs

Um eine einheitliche Bewertungsbasis zu schaffen, werden im HBS (FGSV, 2001a) die Qualitätsstufen (QSV) A bis F definiert und für die einzelnen Verkehrsarten und Verkehrsmittel zugehörigen Grenzwerte der mittleren Wartezeit festgelegt. Wie aus Tabelle 3.4 hervorgeht, wird davon abweichend in koordinierten Zufahrten die Qualität nach dem Prozentsatz der Durchfahrten ohne Halt bewertet. Im Kraftfahrzeugverkehr stehen die Qualitätsstufen E und F für vollständig ausgelastete bzw. überlastete Lichtsignalanlagen.

Mittlere Wartezeit des Kraftfahrzeugverkehrs

Im Kraftfahrzeugverkehr wird als Wartezeit w der Zeitverlust gegenüber der behinderungsfreien Durchfahrt eines signalisierten Knotenpunkts definiert. Sie setzt sich aus den Bestandteilen Grundwartezeit (w_I) und Reststauwartezeit (w_{II}) zusammen:

$$w = w_I + w_{II}$$

Die mittlere Grundwartezeit w_I resultiert aus der Sperrung der Knotenpunktzufahrt durch die Lichtsignalanlage ohne Berücksichtigung des Reststaus und errechnet sich zu:

$$w_I = \frac{t_U (1 - f)^2}{2(1 - q / q_S)} \quad [s] \qquad (3.7)$$

mit f = Freigabezeitanteil [-]
= t_F/t_U
q = Verkehrsstärke auf dem betreffenden Fahrstreifen (F_Z/h]
q_S = zugehörige Sättigungsverkehrsstärke für den betreffenden Fahrstreifen [Fz/h]

Die mittlere Reststauwartezeit w_{II} wird durch Fahrzeuge hervorgerufen, die während der Freigabezeit nicht abfließen konnten (Stau bei Grünende) und nachfolgende Fahrzeuge behindern. Sie errechnet sich nach der Beziehung:

$$w_{II} = \frac{3600 \cdot N_{GE}}{f \cdot q_S} \quad (3.8)$$

mit N_{GE} = mittlerer Stau am Ende der Grünzeit für den betrachteten Untersuchungszeitraum (i.d.R. 1 Stunde) [Fz]

Bis zu Sättigungsgraden $g \leq 0{,}65$ kann der Reststau vernachlässigt werden ($N_{GE} = 0$). Für Sättigungsgrade $0{,}65 < g \leq 0{,}90$ pendelt sich der Reststau auf einen konstanten Wert ein. Ab $g > 0{,}90$ wächst der Reststau zeitabhängig, so dass zunächst festzulegen ist, welcher Zeitraum T bzw. wie viele Umläufe betrachtet werden. Tabelle 3.5 enthält die Berechnungsgleichungen für den Stau bei Grünende N_{GE} unter zufälligen Verkehrsflussbedingungen. Bei koordinierten Lichtsignalzufahrten kann die Wartezeitberechnung gemäß Gleichungen 3.7 und 3.8 nur bei Übersättigung angewandt werden. Spezifische Verhältnisse sind außerdem bei bedingt verträglichen Abbiegeströmen zu beachten (siehe HBS (FGSV, 2001a)).

Mittlere Wartezeit für ÖPNV-Fahrzeuge

Für ÖPNV-Fahrzeuge auf besonderem oder eigenem Fahrweg errechnet sich die mittlere Wartezeit bei Festzeitsteuerung nach der Gleichung für Einzelfahrzeuge bei gleichförmiger Eintreffwahrscheinlichkeit:

$$w = \frac{t_S^2}{2 \cdot t_U} \quad (3.9)$$

Gegebenenfalls kann für die behinderten Fahrzeuge zusätzlich ein Anfahrzeitzuschlag (ca. 9 s bei V = 50 km/h) angesetzt werden. Werden ÖV-Fahrzeuge im allgemeinen Verkehrsraum zusammen mit dem allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr geführt, gilt die für diesen berechnete mittlere Wartezeit auch im ÖPNV.

Mittlere Wartezeit von Fußgängern und Radfahrern

Für den Fall, dass Fußgänger nur eine Furt überqueren, kann Gleichung 3.9 angewandt werden. Die maximale Wartezeit entspricht der Sperrzeit. Müssen Fußgänger mehrere Furten in Folge überqueren, sind eventuell erzwungene Aufenthalte anhand des Signalzeitenplans zu ermitteln und zusätzlich anzusetzen.

Die mittlere Wartezeit im Radverkehr kann näherungsweise nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$w = \frac{t_U (1 - f)^2}{2 (1 - q / (3000 \cdot s_b))} \quad (3.10)$$

mit q = Verkehrsstärke des Radverkehrsstroms [Rf/h]
s_b = Breite der Radverkehrsanlage [m] ($s_b \geq 1$ m)
f = Freigabezeitanteil [-]

Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Reststau im Radverkehr praktisch nicht auftritt. Ist die Stärke des Radverkehrsstroms nicht bekannt, kann Gleichung 3.9 verwendet werden.

Tabelle 3.5 Berechnungsgleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus bei Grünende. (FGSV, 2001a)

Sättigungsgrad	Gleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus für einen Untersuchungszeitraum T, der U Umläufe umfasst	Hinweise
$g_1 \le 0{,}65$	$N_{GE} = 0$	Reststau zeitunabhängig, konstant
$g_2 = 0{,}90$	$N_{GE} = \frac{1}{0{,}26 + m/150}$	
$g_3 = 1{,}00$	$N_{GE} = 0{,}3476\sqrt{n_C}\, U^{0{,}565}$	Reststau zeitabhängig, wächst von Umlauf zu Umlauf
$g_4 = 1{,}20$	$N_{GE} = [n_C(g-1)U + 25 - 20g]/2$ $N_{GE} = 0{,}1 \cdot n_C \cdot U + 0{,}5$	
$g_5 > 1{,}20$	$N_{GE} = n_C(g-1)\,U/2$	
	Gleichungen zur Bestimmung des mittleren Reststaus, der im Umlauf U vorhanden ist	
$g_1 \le 0{,}65$	$N_{GE} = 0$	Reststau zeitunabhängig, konstant
$g_2 = 0{,}90$	$N_{GE} = \frac{1}{0{,}26 + m/150}$	
$g_3 = 1{,}0$	$N_{GE,U} = 0{,}545\sqrt{n_C}\, U^{0{,}565}$	Reststau zeitabhängig, wächst von Umlauf zu Umlauf
$g_4 = 1{,}20$	$N_{GE,U} = [n_C(g-1)U + 25 - 20g]$ $N_{GE,U} = 0{,}2 \cdot n_C \cdot U + 1$	
$g_5 > 1{,}20$	$N_{GE,U} = n_C(g-1)\,U$	
Zwischenwerte	$N_{GE,g} = N_{GE,gi} + \frac{N_{GE,gi+1} - N_{GE,gi}}{g_{i+1} - g_i} \cdot (g - g_i)$	Zwischenwerte durch lineare Interpolation bestimmen

mit

N_{GE} = Anzahl der gestauten Fahrzeuge bei Grünende (mittlerer Reststau) [Fz]

n_C = maximale Anzahl von Fahrzeugen, die während der Freigabezeit eines Umlaufs abfließen können
= $t_F \cdot q_S / 3600$ [Fz]

m = mittlere Eintreffenszahl
= $q \cdot t_U / T$ [Fz]

U = Anzahl der Umläufe, die der Untersuchungszeitraum umfasst

T = Untersuchungszeitraum
= $U \cdot t_U$ [s]

t_U = Umlaufzeit [s]

q = Verkehrsstärke [Fz/T]

3.2.6 Koordinierte Lichtsignalsteuerung

Eine *Linienkoordinierung* der Freigabezeiten in einem Streckenzug wird erreicht, indem die Freigabezeiten in Fahrtrichtung aufeinander folgender Knotenpunkte durch Zeitversätze so abgestimmt werden, dass die Mehrzahl der Fahrzeuge in den Vorzugsrichtungen bei Einhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit die Strecke ohne Halt passieren kann. *Netzkoordinierungen* werden durch Verknüpfung von Linienkoordinierungen gebildet.

Für die Steuerung des Verkehrs in Städten hat die koordinierte Lichtsignalsteuerung, auch als *„Grüne Welle“* bezeichnet, eine nach wie vor große Bedeutung. Die Funktionsfähigkeit Grüner Wellen ist im öffentlichen Bewusstsein häufig das maßgebliche Kriterium für die Qualität eines Lichtsignalsteuerungssystems und stellt daher auch im kommunalpolitischen Raum oft eine zentrale Anforderung an die städtische Lichtsignalsteuerung dar. In vielen Fällen werden allerdings Zielkonflikte und Nachteile im Zusammenhang mit der koordinierten Lichtsignalsteuerung nicht ausreichend beachtet.

Durch die koordinierte Lichtsignalsteuerung werden in den Vorzugsrichtungen insbesondere eine Harmonisierung der Geschwindigkeiten im Kraftfahrzeugverkehr und eine Verminderung der Zahl lichtsignalbedingter Halte erreicht. Damit verbindet sich insbesondere die Zielsetzung der Konzentration des Verkehrs im Hauptstraßennetz mithilfe eines „Stadtfahrplans“.

Voraussetzung für eine koordinierte Lichtsignalsteuerung ist eine einheitliche Umlaufzeit an allen einzubeziehenden Knotenpunkten. Die Umlaufzeit ist zunächst für alle Knotenpunkte zu berechnen; maßgebend wird der Knotenpunkt mit der größten erforderlichen Umlaufzeit. Damit ist gewährleistet, dass alle Verkehrsströme an allen Knotenpunkten leistungsgerecht abgewickelt werden können, soweit keine koordinierungsbedingten Einschränkungen wirksam werden. Weitere Einsatzbedingungen und Hinweise zur Einrichtung Grüner Wellen sind in Tabelle 3.6 zusammengefasst.

Bei der Berechnung der Freigabezeiten in den Koordinierungsrichtungen sollte von einem Sättigungsgrad $g \leq 0{,}85$ (max 0,90) ausgegangen werden. Mit den berechneten Freigabezeiten für die zu koordinierenden Verkehrsströme und der festgelegten Progressionsgeschwindigkeit werden die Grünbänder entworfen und in einem *Zeit-Weg-Diagramm* dargestellt. Zwischen der Umlaufzeit, den Progressionsgeschwindigkeiten in Richtung und Gegenrichtung und dem so genannten *„Teilpunktabstand“* besteht folgende Beziehung:

$$t_U = \frac{3{,}6 \cdot l_{TP}(V_1 + V_2)}{V_1 \cdot V_2} \qquad (3.11)$$

mit l_{TP}= Teilpunktabstand [m]
V_1, V_2 = Progressionsgeschwindigkeiten in den beiden Koordinierungsrichtungen [km/h]
t_U = Umlaufzeit [s]

Bei $V_1 = V_2$ vereinfacht sich die Grundgleichung der Grünen Wellen zu:

$$t_U = \frac{7{,}2 \cdot l_{TP}}{V} \qquad (3.11a)$$

Der *Teilpunkt* stellt den Schnittpunkt der Mittellinien zweier gegenläufiger Grünbänder dar. An Knotenpunkten in Teilpunkten erreicht die verfügbare Freigabezeitdauer für querende und abbiegende Verkehrsströme ihr Maximum.

Als *Progressionsgeschwindigkeit* sollte annähernd die zulässige Höchstgeschwindigkeit

Tabelle 3.6 Bedingungen und Hinweise für die Einrichtung Grüner Wellen. (FGSV, 2001a)

Knotenpunktabstand	≤ 750 m (max. 1000 m) günstig 500 m
Umlaufzeit	70 bis 120 s
Progressionsgeschwindigkeit	0,85 V_{zul} bis V_{zul}
Sättigungsgrad zu koordinierende Verkehrsströme übrige Verkehre	 ≤ 0,85 (0,90) ≤ 0,90 (0,95)
Vorlaufzeit für Einbieger vom stromaufwärts liegenden Knotenpunkt und/oder für abgehängte Pulkfahrzeuge	≥ 4 s bei starkem Einbiegeverkehr generell Bandbreitenvergrößerung notwendig
bauliche Bedingungen	– nach Möglichkeit je Richtung mehr als einen Fahrstreifen für den durchgehenden Verkehr – Abbiegestreifen für Linksabbieger – ruhenden Verkehr im Fahrbahnbereich weitgehend einschränken

des Straßenzuges angesetzt werden. Wie Untersuchungen (Schuster, 1997) zeigen, stellt sich ein koordinierter Verkehrsablauf auch bei einer Progressionsgeschwindigkeit von 30 km/h in Geschäfts- und Wohnstraßen ein, wenn diese als zulässige Höchstgeschwindigkeit ausgeschildert und der Straßenraum dem Geschwindigkeitsniveau entsprechend gestaltet wird.

In der Praxis werden Grüne Wellen in der Regel als *Progressivsystem* mit nichtstetiger Grünbandführung ausgeführt, d.h. dass die Freigabezeiten an aufeinander folgenden Knotenpunkten um diejenige Zeit versetzt geschaltet werden, die der rechnerischen Fahrzeit von Haltelinie zu Haltelinie entspricht. Als nicht stetig wird eine Grünbandführung bezeichnet, bei der außerhalb des stetigen Grünbands zusätzliche Freigabezeiten als Vor- und Nachlaufzeiten geschaltet werden. Eine „ideale" Form der Grünen Welle mit einer *stetigen* Grünzeitführung entsteht nur dann, wenn sich die Teilpunktabstände mit den Abständen der Knotenpunkte mit starkem Querverkehr decken und die Freigabezeiten an jedem Knotenpunkt entsprechend dem durchgehenden Grünband zugeteilt werden können (siehe Abb. 3.10). Ein *Simultansystem*, bei welchem an allen Knotenpunkten zur selben Zeit das gleiche Signal gezeigt wird, eignet sich in der Regel nur bei kurzen Knotenpunktabständen bis ca. 100 m.

In der Regel weichen die tatsächlichen Verhältnisse von den Idealbedingungen erheblich ab, so dass Einschränkungen oder Unterbrechungen der Grünbänder in vielen Fällen in Kauf zu nehmen sind. Während der Spitzenverkehrszeiten sollte daher angestrebt werden, zumindest in der stärker belasteten Richtung ein möglichst durchgehendes Grünband zu schalten. In vielen Fällen ist dieses Ziel nur bedingt erreichbar, z.B. bei stark unterschiedlicher Dauer der Freigabezeiten in der Vorzugsrichtung an aufeinander folgenden Kno-

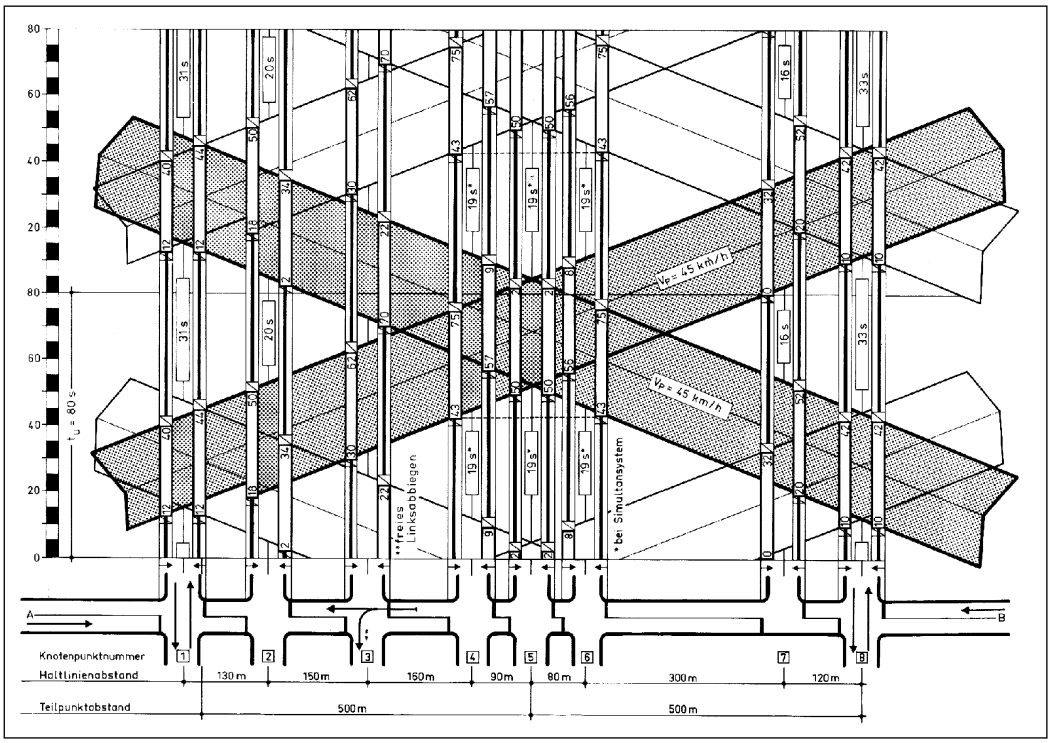


Abb. 3.10 Darstellungsbeispiel - Zeit-Weg-Diagramm eines Progressivsystems mit stetiger Grünzeitführung. (FGSV, 1992)

tenpunkten. Sofern bei gleichem Fahrstreifenangebot an einem Folgeknotenpunkt die Freigabezeit in der Koordinierungsrichtung kürzer geschaltet wird als am Vorknoten, empfiehlt es sich auch aus Akzeptanzgründen, bei kurzem Knotenpunktabstand und geringem bis mittleren Sättigungsgrad die Koordinierung unter Berücksichtigung der erforderlichen Vorlaufzeit (siehe Tabelle 3.6) auf den *Pulkbeginn* abzustimmen. Dadurch werden vorrangig die im höher ausgelasteten ersten Teil der Freigabezeit befindlichen Fahrzeuge ohne Halt am Folgeknoten abgewickelt. Bei größeren Knotenpunktabständen, höheren Sättigungsgraden und bei aufgeweiteten Zufahrten am Folgeknotenpunkt ist es meist sinnvoller, die Koordinierung auf das *Pulkende* abzustimmen, um der Pulkauflösung entgegenzuwirken und die vorhandene Kapazität am Folgeknotenpunkt besser zu nutzen. Sofern am Folgeknoten eine deutlich größere Freigabezeit als am Vorknoten geschaltet werden kann, ist in der Regel die Abstimmung der Koordinierung auf den *Pulkbeginn* vorzunehmen. Auf diese Weise lassen sich auch überhöhte Geschwindigkeiten vermeiden. Dieser Aspekt kann ebenso bei verkehrsabhängiger Steuerung von Bedeutung sein, wenn z.B. in Schwachlastzeiten die verfügbaren Bemessungsspielräume in Abbiege- und Querverkehr nicht vollständig in Anspruch genommen werden.

Auch die unzureichende Ausnutzung der Kapazität an Knotenpunkten zwischen den Teilpunkten der Grünen Welle kann zu Zielkonflikten führen. Bei teilweiser Überlappung der Grünbänder in Richtung und Gegenrichtung besteht zwar die Möglichkeit einer zeitweilig gesicherten Führung des Linksabbiege-

verkehrs während der Vor- und Zugabezeiten; weitgehend zeitversetzte Freigabezeiten der Hauptrichtungen an teilpunktfern gelegenen Knotenpunkten lassen sogar den freien Abfluss des Linksabbiegeverkehrs zu. Möglichkeiten für die Abwicklung des einbiegenden und kreuzenden Verkehrs sind an diesen Knotenpunkten ohne Einschränkung der Grünen Welle jedoch nur begrenzt oder nicht vorhanden.

Die *Wirksamkeit* einer Koordinierung in einer einzelnen Zufahrt kann auf einfache Weise durch Zählung der durchfahrenden Fahrzeuge q_D und der haltenden Fahrzeuge q_H bewertet werden:

$$D = \frac{q_D}{q_D + q_H} \cdot 100 \qquad [\%]$$

In ihrem gesamten Verlauf muss die Funktionsfähigkeit einer Grünen Welle durch Messfahrten bei nicht übersättigten Verkehrsverhältnissen bestimmt werden. Das Koordinierungsmaß k_i für eine Verkehrsrichtung ergibt sich zu:

$$k_i = \frac{D_i}{(N_{K,LSA} - 1) \cdot n} \cdot 100 \qquad (3.12)$$

mit k_i = Koordinierungsmaß für die Verkehrsrichtung i [%]
D_i = Anzahl der registrierten Durchfahrten an den Knotenpunkten mit LSA (außer am Eingangsknoten) für die Verkehrsrichtung i aus allen Messfahrten [-]
$N_{K,LSA}$ = Anzahl der Knotenpunkte mit LSA der Messstrecke [-]
n = Anzahl der Maßfahrten [-]

3.2.7 Maßnahmen bei gesättigtem und übersättigtem Verkehrsfluss

Zur Lichtsignalsteuerung unter Staubedingungen infolge hoher Auslastung oder Überlastung enthalten die RiLSA keine näheren Ausführungen. Um eine Störungsfortpflanzung so weit wie möglich zu vermeiden, müssen Maßnahmen zur bestmöglichen Nutzung von Stauräumen im Vordergrund stehen. Allerdings wird auch in der Literatur nur über wenige empirische Untersuchungen und Feldversuche mit Staumanagementstrategien berichtet. Quinn (1992) unterscheidet bei der Behandlung von Stauungen nach zwei Maßnahmenkategorien,

– Maßnahmen zur Erhöhung der physischen Leistungsfähigkeit und
– Maßnahmen zur Maximierung der operativen Kapazität,

wobei der erstgenannten Kategorie insbesondere bauliche Maßnahmen, der Zweitgenannten steuerungstechnische und verkehrsorganisatorische Maßnahmen zugeordnet werden.

In einer anderen Arbeit untersuchen Bielefeld und Schmidt (1987) ein Spektrum präventiver und kurativer Maßnahmen zur Staubeeinflussung (Tabelle 3.7) und kommen zu folgenden Ergebnissen:

– Ein *Mehrfachanwurf* (mehrmalige Freigabezeit im Umlauf) kommt in Betracht, wenn der Zufluss zur Haltelinie durch Rückstau auf einem anderen Fahrstreifen blockiert wird und die Leistungsverbesserung durch den Mehrfachanwurf größer ist als die Leistungsminderung infolge erhöhter Zwischenzeitensumme.
– Die Möglichkeiten der *Umlaufzeitverkürzung* sind bei der koordinierten Lichtsignalsteuerung begrenzt und erfordern im Allgemeinen die Umschaltung in ein anderes Wellensystem. Durch eine Umlaufzeitverkürzung soll ein Überschreiten des Fas-

Tabelle 3.7 Übersicht über Maßnahmen zur Staubewältigung. (Bielefeld u. Schmidt, 1987)

Problem	Maßnahme	Randbedingungen
kurze Aufstellspuren	Mehrfachanwurf	ausreichende Leistungsfähigkeit kann gewährleistet werden
	Umlaufzeitverkürzung	ausreichende Leistungsfähigkeit und – falls notwendig – Koordinierung mit Nachbarknoten kann gewährleistet werden
geringer Knotenpunktabstand	Umlaufzeitverkürzung	ausreichende Leistungsfähigkeit und Koordinierung mit Nachbarknoten kann gewährleistet werden
Pulk läuft auf wartende Fahrzeuge auf	Versatzzeitreduzierung	Gegenrichtung erlaubt Versatzzeitänderung
große Fahrzeugabstände	Pulkstauchung	ausreichender Stauraum vorhanden, Gegenrichtung erlaubt Versatzzeitveränderung
unzureichende Leistungsfähigkeit	stauraumangepasste Grünzeitverteilung	Haupt- und Querrichtung haben annähernd gleiche Verkehrsbedeutung

sungsvermögens der Stauräume durch kleinere Pulks, ähnlich wie beim Mehrfachanwurf, verhindert werden (siehe Abb. 3.11).

– Die *Versatzzeitreduzierung* beruht auf dem gleichen Ansatz wie die Umlaufzeitreduzierung. Abbildung 3.12 zeigt die Fahrtverläufe für Iterationsschritte bis zur Schaltung einer negativen Zeitversatzes, bei welcher im dargestellten Beispiel die Staubildung zwischen den Knotenpunkten vermieden wird. Die Möglichkeiten der Versatzzeitreduzierung können z.B. durch die Bedingun-

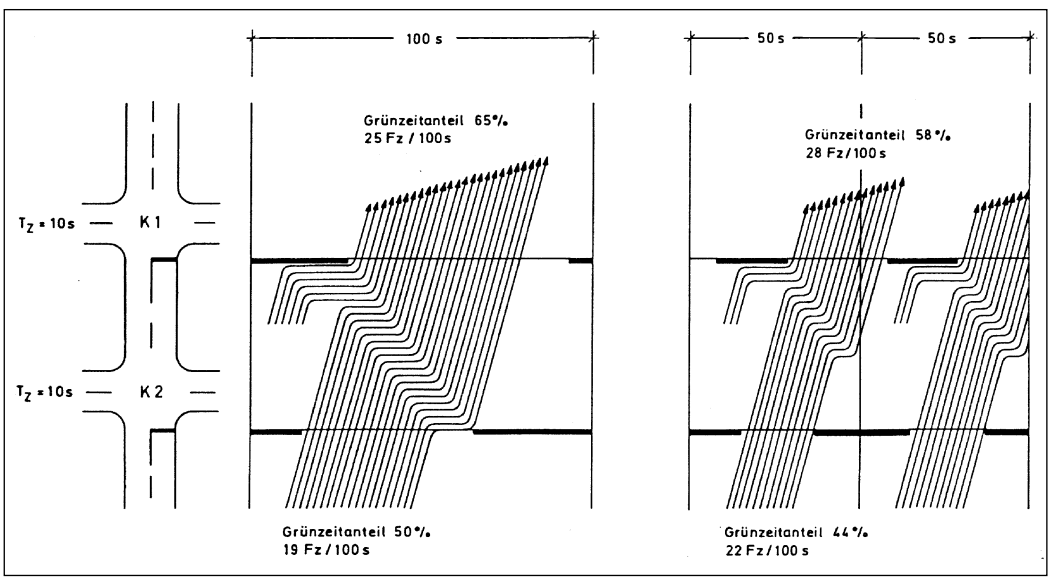


Abb. 3.11: Beispiel einer Umlaufzeitverkürzung. (Bielefeld u. Schmid, 1987)

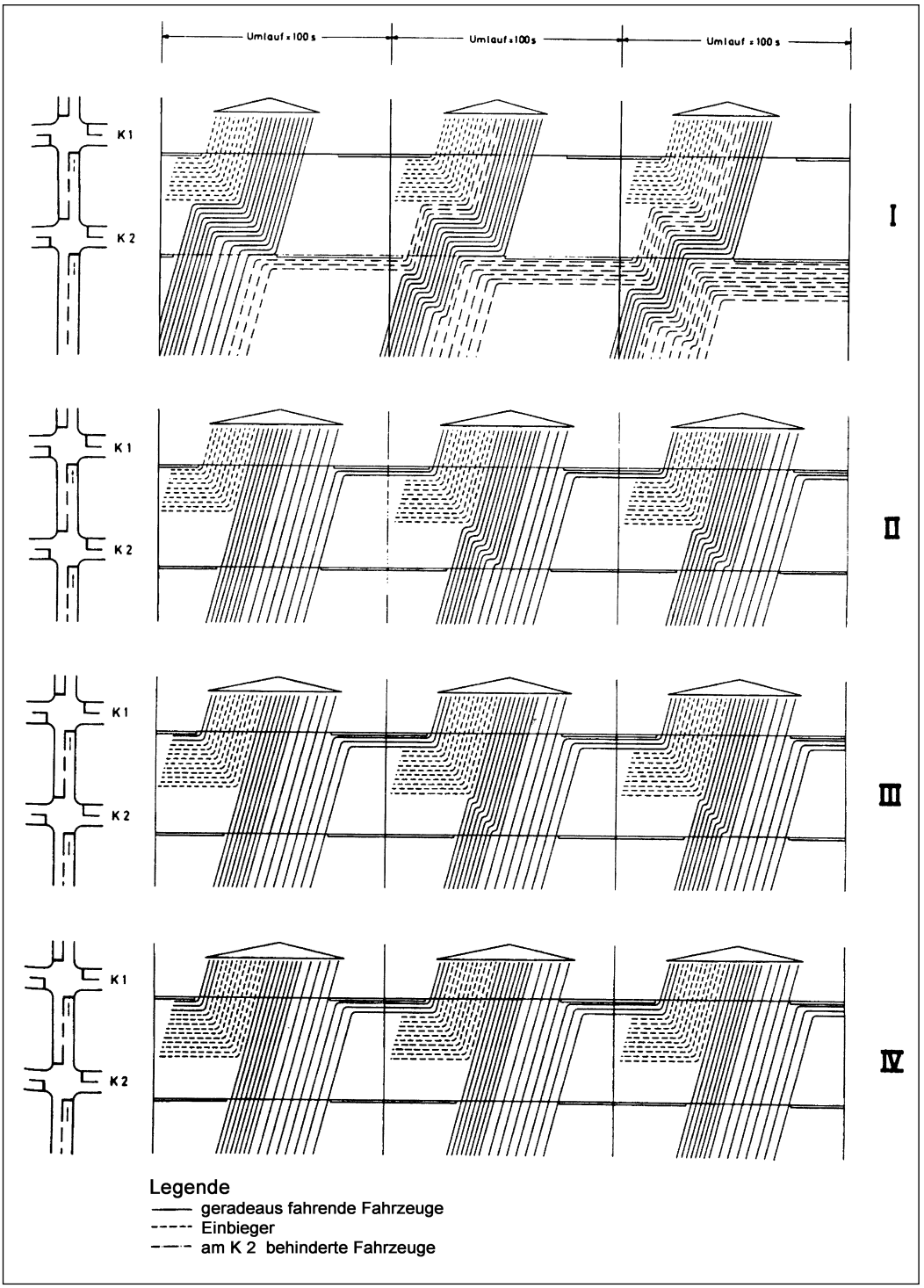


Abb. 3.12 Beispiel des Iterationsprozesses bei einer Versatzzeitreduzierung. (Bielefeld u. Schmid, 1987)

gen in der Gegenrichtung allerdings stark eingeschränkt sein.
- Die *Pulkstauchung* ist wirksam, wenn die maximale Leistungsfähigkeit am kritischen Knotenpunkt nicht erreicht wird, weil Zeitlücken zwischen allen oder einzelnen Fahrzeugen größer sind als aus Sicherheitsgründen erforderlich. Sie kann z.B. durch einen verzögerten Freigabezeitbeginn am Vorknoten erreicht werden.
- Bei der *stauraumangepassten Grünzeitverteilung* werden die Freigabezeiten für die Haupt- und Nebenrichtungen so verteilt, dass alle Stauräume zum spätest möglichen Zeitpunkt und damit etwa gleichzeitig überlaufen. Die Maßnahme ist nur sinnvoll, wenn das Verkehrsaufkommen nicht bereits so groß ist, dass die Stauräume schon in den ersten Umläufen nicht mehr ausreichen.

In jedem Einzelfall bedarf die Planung steuerungstechnischer und verkehrsorganisatorischer Maßnahmen zur Staubeeinflussung sowie eventueller baulicher Anpassungen einer genauen und sorgfältigen Analyse der Parameter, die bei gesättigtem und übersättigtem Verkehrsfluss besonders zu beachten sind. Soweit diese die Lichtsignalsteuerung betreffen, handelt es sich in der Regel um dynamische Maßnahmen, die den Einsatz verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren (siehe Kap. D 3.4) erfordern.

3.3 Berücksichtigung des nicht motorisierten Verkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs

3.3.1 Rad- und Fußgängerverkehr

Als „schwächste“ Verkehrsteilnehmer sind Fußgänger und Radfahrer in besonders hohem Maß auf den Schutz durch Lichtsignale angewiesen. Die Lichtsignalsteuerung ist in Bezug auf den nicht motorisierten Verkehr daher vorrangig unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit und erst in zweiter Linie im Hinblick auf Komfortbedürfnisse des Fußgänger- und Radverkehrs zu entwickeln. Eventuelle Zielkonflikte mit Belangen des allgemeinen Kraftfahrzeugverkehrs und der öffentlichen Verkehrsmittel müssen unter Berücksichtigung
- der Verkehrsstärken im motorisierten und nicht motorisierten Verkehr,
- der Zusammensetzung des Fußgänger- und Radverkehrs,
- der Priorisierungsziele der öffentlichen Verkehrsmittel und
- der Bedeutung, Funktion und Lage des Knotenpunktes im Netzzusammenhang

durch einen ausgewogenen Kompromiss zwischen den Sicherheits- und Komfortbedürfnissen des nicht motorisierten und motorisierten Verkehrs beigelegt werden.

Fußgängerverkehr

Bei starkem Aufkommen im Fußgängerverkehr sollte die Lichtsignalsteuerung stets ein hohes Maß an Fußgängerfreundlichkeit aufweisen. Umwege und Wartezeiten von mehr als 60 Sekunden verstärken die Tendenz von Rotlichtüberschreitungen und sind nach Möglichkeit zu vermeiden. Kann der Wartezeitgrenzwert in der Grundstruktur des Lichtsignalprogramms nicht

eingehalten werden, sollte geprüft werden, ob Sperrzeiten an Fußgängersignalen z.B. durch eine verkehrsabhängige Bemessung von Kfz-Freigabezeiten oder eine bedarfsabhängige Anforderung einer zweiten Freigabezeit („Doppelanwurf“) verkürzt werden können.

Zusatzeinrichtungen für Blinde und Sehbehinderte in Form akustischer und taktischer Signalgeber sind zusätzlich einzusetzen, wenn die Lichtsignalanlage regelmäßig von Blinden oder Sehbehinderten genutzt wird oder diese an der Lichtsignalanlage besonders gefährdet sind (siehe Teilfortschreibung der RiLSA (FGSV, 2003)).

Bei mehrstreifiger Führung von Abbiegeströmen des Kraftfahrzeugverkehrs sind Fußgänger grundsätzlich getrennt unter vollem Signalschutz zu signalisieren. Bei bedingt verträglicher Freigabe von Abbiegeverkehren mit einem Fußgängerstrom müssen die Freigabezeiten so geschaltet werden, dass die Fußgänger die Furt mit einem Zeitvorsprung von 1 bis 2 s vor dem abbiegenden Kraftfahrzeugverkehr erreichen können. Nicht zulässig ist die Hinzuschaltung von Fußgängerfreigabezeiten zu einem bereits freigegebenen bedingt verträglichen Fahrzeugstrom.

Bei hintereinander liegenden Furten über Mittelstreifen oder Fahrbahnteiler sollte, soweit möglich, eine Koordinierung der Freigabezeiten erreicht werden. Abbildung 3.13 zeigt hierfür die Möglichkeiten der *simultanen* und *progressiven Signalisierung*. Während bei der simultanen Signalisierung nur die im ersten Teil der Freigabezeiten startenden Fußgänger beide Furten ohne Wartezeiten auf dem Fahrbahnteiler überschreiten können, weist die progressive Signalisierung den Nachteil einer möglichen Rotzeitmissachtung durch am Fahrbahnrand wartende Fußgänger auf, da diesen aufgrund der längeren Freigabezeiten an den äußeren Signalgebern während ihrer Sperrzeit bereits Fußgänger entgegen kommen können. Außerdem besteht die Gefahr einer Missdeutung der Situation durch rechtsabbiegenden Kraftfahrzeugverkehr.

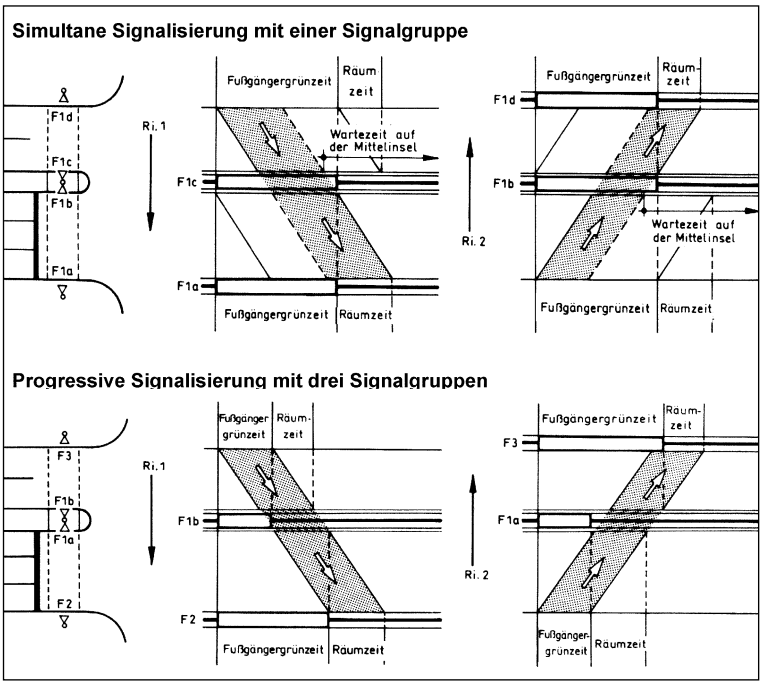


Abb. 3.13 Signalisierung hintereinanderliegender Furten. (FGSV, 1992)

Bei Rundum-Grün für Fußgänger, eventuell kombiniert mit diagonalem Überqueren, werden die Fußgängersignale an allen Furten bei gleichzeitig gesperrten Fahrzeugsignalen freigegeben. Führt eine solche „Fußgängerphase" zur Verlängerung der Umlaufzeit, sind damit zusammenhängende Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer zu beachten.

Für die Überquerung besonderer oder unabhängiger Bahnkörper wird in der Teilfortschreibung 2003 der RiLSA eine Anforderungssteuerung durch das ÖPNV-Fahrzeug bei Signalisierung mit gelbem Blinklicht als Springlicht mit zwei übereinander angeordneten Leuchtfeldern empfohlen. Alternativ ist auch eine Signalisierung mit der Grundstellung HALT für ÖPNV-Fahrzeuge und DUNKEL für Fußgänger möglich. Dagegen ist von einer Signalisierung mit GRÜN anstelle DUNKEL abzuraten.

Außerhalb von Knotenpunkten sollte eine Fußgänger-Signalanlage als Überquerungshilfe dann eingerichtet und als Anforderungsanlage betrieben werden, wenn andere Alternativen ohne Lichtsignalsteuerung nicht in Frage kommen. Die Signalisierung erfolgt in der Regel in der Grundstellung GRÜN für Fahrzeuge und ROT für Fußgänger. In verkehrsschwachen Zeiten kommt auch ein Betrieb in der Grundstellung DUNKEL für alle Kfz-Signale und ROT für Fußgängersignale („schlafende" Fußgängersignalanlage) oder in Form einer Alles-Rot/Sofort-Grün-Schaltung in Betracht.

Radverkehr

Für den Radverkehr bestehen drei Grundformen der Signalisierung:

- Gemeinsame Signalisierung mit dem Kraftfahrzeugverkehr,
- gemeinsame Signalisierung mit Fußgängerverkehr und
- gesonderte Signalisierung.

Die jeweilige Grundform am Knotenpunkt wird durch die Regelung für die Hauptrichtung bestimmt, wobei zur Sicherstellung eines einheitlichen Erscheinungsbildes der Signalisierung über mehrere Knotenpunkte hinweg gleiche Grundformen vorzusehen sind. Für die Wahl der Grundform sind die Ziele nach Akzeptanz und Sicherheit maßgebend.

Die Grundform der *gemeinsamen Signalisierung mit dem Kraftfahrzeugverkehr* kann bei Mischverkehr auf der Fahrbahn eingesetzt werden, auch wenn in der Zufahrt ein nicht benutzungspflichtiger Radweg vorhanden oder der Gehweg zur Benutzung durch Radfahrer freigegeben ist, bei Radfahrstreifen und Radwegen mit nicht abgesetzten Radfahrerfurten (soweit nicht eine gesonderte Signalisierung gewählt wird), bei der Radverkehrsführung auf Busfahrstreifen ohne Bussondersignale und bei Radwegen mit abgesetzter Radfahrerfurt ohne angrenzende Fußgängerfurt, wenn der Fahrzeugsignalgeber dem Radweg eindeutig zugeordnet werden kann.

Eine *gemeinsame Signalisierung mit dem Fußgängerverkehr* kommt vor allem in Betracht bei gemeinsamen Geh- und Radwegen, bzw. bei Gehwegen mit zugelassenem Radverkehr, bei einer Radwegführung mit unmittelbar angrenzender Fußgängerfurt (soweit keine gesonderte Signalisierung gewählt wird) und bei umlaufenden Zweirichtungsfurten in Verbindung mit Einrichtungsradwegen in den Knotenpunktzufahrten. Bei Zweirichtungsradwegen ist sie für die Gegenrichtung vorzusehen, wenn die rechts fahrenden Radfahrer gemeinsam mit dem Kraftfahrzeugverkehr signalisiert werden und die Fußgängersignalgeber für die links fahrenden Radfahrer eindeutig zu erkennen sind.

Die Grundform der *gesonderten Signalisierung* der Radfahrer kommt bei Radfahrstreifen und Radwegen mit nicht abgesetzten Furten zum Einsatz, wenn Radfahrersignale zweckmäßig oder notwendig sind, zum Beispiel bei

- Schaltung einer eigenen Radfahrerphase

oder bei vom Kraftfahrzeugverkehr unterschiedlichen Freigabezeiten,
- zeitlicher Trennung des geradeaus fahrenden Radverkehrs von starkem rechtsabbiegenden Kraftfahrzeugverkehr auf Rechtsabbiegefahrstreifen,
- weit abgesetzten Radfurten, wenn eine gemeinsame Signalisierung mit dem Fußgängerverkehr vermieden werden soll (z.B. wegen unterschiedlich großen Freigabezeitbedarfs),
- Führung des Radverkehrs auf Busfahrstreifen mit Sondersignalen für Busse,
- bei Zweirichtungsradwegen, wenn für die links fahrenden Radfahrer eine gemeinsame Signalisierung mit dem Fußgängerverkehr nicht in Frage kommt, oder
- bei Einrichtung von Radfahrerschleusen (siehe Abb. 3.14).

Für Radfahrersignale werden kleinere dreifeldige Signalgeber verwendet; der zu sichernde Konfliktbereich ist durch eine Haltelinie abzumarkieren. Wird die Benutzungspflicht eines Radweges aufgehoben, müssen die Zwischenzeiten der Fahrzeugsignale angepasst werden.

3.3.2 Öffentlicher Personennahverkehr

Seit etwa 20 Jahren werden so genannte *„Beschleunigungsprogramme“* für den öffentlichen Personennahverkehr geplant und realisiert. Die Ziele von ÖPNV-Beschleunigungsprogrammen und ihre Notwendigkeit sind heute weitgehend unumstritten. Angesichts der zunehmenden Überlastung städtischer Straßennetze und der damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Mobilität und Umwelt ist die Verbesserung der Qualität und Attraktivität des öffentlichen Personennahverkehrs ein zentraler Bestandteil städtischer Verkehrsleitbilder.

Weitgehend behinderungsfrei zu befahrende Linienwege bilden eine Grundvoraussetzung für einen zuverlässigen und planmäßigen ÖPNV-Betrieb. In der Realität ist der Verkehrsablauf von Straßenbahnen und Bussen jedoch vielfältigen Störungen ausgesetzt, welche zu teilweise hohen Zeitverlusten führen. Bei deren Bewertung ist die unterschiedliche Bedeutung des Zeitkriteriums im Verkehrsablauf des motorisierten Individualverkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs zu berücksichtigen. Aufgrund der Gebundenheit des Linienverkehrs in zeitlicher und örtlicher Hinsicht durch einen Fahrplan und festgelegte Linienwege wirken sich, im Unterschied zum MIV, Zeitverluste im ÖPNV nicht nur auf das jeweils betroffene Fahrzeug aus. Vielmehr werden, insbesondere in Zeiten mit hohem Fahrgastaufkommen und dichten Fahrzeugfrequenzen, Zeitverluste auf Folgekurse und an den Netzverknüpfungspunkten auch auf andere Linien übertragen und können sich dadurch gleichsam „aufschaukeln“. Kennzeichnend für solche instabile Betriebszustände ist z.B. die paarweise Pulkbildung von ÖPNV-Fahrzeugen. Sie entsteht dadurch, dass der nach einem durch Behinderungen verlangsamten Fahrzeug

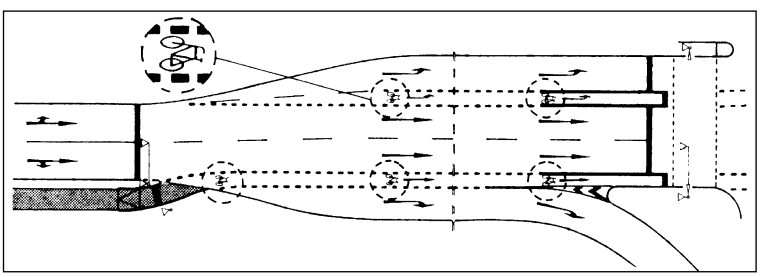


Abb. 3.14 Beispiel einer Radfahrerschleuse. (FGSV, 1992)

folgende Kurs entsprechend beschleunigt wird und schließlich das vorausfahrende Fahrzeug erreicht.

Die Folgen externer Zeitverluste für den Fahrgast sind längere Wartezeiten an Haltestellen, erhöhte Beförderungszeiten, verpasste Anschlussverbindungen und Einbußen bei der Annehmlichkeit der Beförderung durch überfüllte Fahrzeuge und eine verminderte Kontinuität des Fahrtablaufs.

Die Verkehrsbetriebe sind nicht nur gezwungen, auf das scheinbar unzureichende Platzangebot mit zusätzlichen, außerplanmäßigen Einsatzfahrzeugen zu reagieren. Externe, wegen ihrer großen Streuung nicht kalkulierbare Zeitverluste stellen auch die Fahrplangestaltung vor kaum lösbare Probleme und führen zu einem erhöhten betrieblichen Aufwand.

Ziele und Randbedingungen

Die Verkürzung der Beförderungszeiten, insbesondere jedoch die Verminderung der Streuung der Fahrzeugreisezeiten durch eine Harmonisierung der Fahrtabläufe sind daher die zentralen Ziele der ÖPNV-Beschleunigung (siehe Abb. 3.15). Mit ihnen sind weitreichende Nutzenwirkungen verbunden, die sich sowohl auf Benutzerkriterien (Pünktlichkeit, Zuverlässigkeit), als auch auf die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsmitteleinsatzes (Einsparung von regulären Kursen und Einsatzfahrzeugen) beziehen. Bei linienbezogener Beschleunigung kann überschlägig von einer sieben- bis zehnprozentigen Senkung der Betriebskosten im Fahrbetrieb je zehnprozentiger Verkürzung der Wagenumlaufzeit ausgegangen werden.

In den RiLSA (FGSV, 1992) wird deshalb ausgeführt, dass die öffentlichen Verkehrsmittel wegen ihrer grundsätzlichen Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der Städte und ihres hohen Anteils am Personenverkehrsaufkommen an Lichtsignalanlagen „besonders zu berücksichtigen“ sind. Allerdings bieten die RiLSA keine weitergehenden Empfehlungen für eine ÖPNV-gerechte Gestaltung der Lichtsignalsteuerung an und bleiben im Hinblick auf den Vorrang des ÖPNV eher im Unverbindlichen. In den die RiLSA ergänzenden Hinweisen zur Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung (FGSV, 2001b) wird dagegen ein solcher Vorrang formuliert und darauf hingewiesen, dass die Beschleunigung von öffentlichen Verkehrsmitteln im städtischen

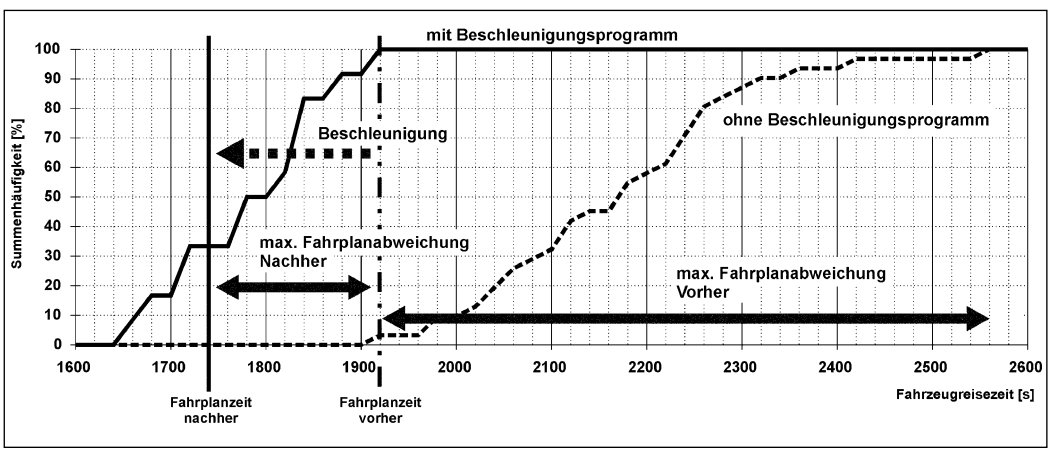


Abb. 3.15 Beispiel für die Verteilung der Fahrzeugreisezeiten im Stadtverkehr vor und nach Realisierung eines Beschleunigungsprogramms. (Eigene Darstellung)

Straßennetz unmittelbar vom Grad der Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen abhängig ist.

In der Tat belegen eine Vielzahl von Reisezeitanalysen im Straßenbahn- und Busverkehr, dass ohne spezifische Bevorrechtigungsmaßnahmen die Lichtsignalanlagen direkt und indirekt die dominierende Störursache im ÖPNV darstellen. Bei Führung auf gesonderten Fahrwegen entfallen durchschnittlich 15 bis über 20 Prozent der Fahrzeugreisezeiten (= Zeitaufwand der Fahrzeuge für das Durchfahren einer Linie oder eines Linienabschnitts) auf lichtsignalbedingte Wartezeiten. Im gemischten Verkehr kommen zu den Wartezeiten vor Sperrsignalen häufig noch Zeitverluste durch Fahren im Rückstau vor Lichtsignalanlagen („stop and go“) und weitere, nicht signalbedingte Störungen hinzu, so dass sich in Hauptverkehrszeiten die externen Zeitverluste auf 30 bis 40 Prozent der Fahrzeugreisezeiten aufsummieren können.

Die Priorisierung der ÖPNV-Fahrzeuge an Lichtsignalanlagen ist daher in den meisten Städten eine „Standardkomponente“ der Lichtsignalsteuerung geworden. Da ÖPNV-Fahrzeuge an Lichtsignalanlagen in der Regel als Einzelfahrzeuge eintreffen und im statistischen Sinne ein „seltenes Ereignis“ darstellen, ermöglicht erst der Einsatz verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren (siehe Kap. D 3.4), dem ÖPNV auf Anforderung zusätzliche Freigabezeiten zu schalten. Dabei sind die Wartezeitbedingungen für den ÖPNV umso günstiger, je spontaner und flexibler das Steuerungssystem auf die Nachfrage reagieren kann.

Vor allem bei Führung der ÖPNV-Fahrzeuge im allgemeinen Verkehrsraum, die häufigste Situation im städtischen Busverkehr, sind Interaktivitäten mit den anderen Verkehrsarten zu berücksichtigen. Daher ist die Priorisierung der ÖPNV-Fahrzeuge an Lichtsignalanlagen allein in vielen Fällen nicht ausreichend. Vielmehr müssen zusätzliche bauliche, betriebliche, verkehrsorganisatorische oder ordnungspolitische Maßnahmen zum Abbau einzelner Behinderungsursachen gezielt ineinander greifen und die Gesamtsituation in ihrem räumlichen und funktionalen Zusammenhang berücksichtigen. Häufig sind solche „flankierenden“ Maßnahmen erst die Voraussetzung für den wirksamen Einsatz von Bevorrechtigungsmaßnahmen an Lichtsignalanlagen.

Für die Planung und Umsetzung solcher Maßnahmenbündel ist ein gesamtheitliches und umfassendes, auf einer detaillierten Zustandsanalyse gegründetes Handlungskonzept zu entwickeln (siehe Abb. 3.16), welches als „ÖPNV-Beschleunigungsprogramm“ alle Maßnahmen zusammenfasst, die zur Verminderung oder Beseitigung externer Zeitverluste beitragen. Das „Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen“ (FGSV, 1999) beschreibt das dazu in Frage kommende Spektrum.

Grad der ÖPNV-Priorisierung

In den Hinweisen zur Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung wird nach *„absoluter“* und *„bedingter“ Bevorrechtigung* unterschieden und ausgeführt, dass die absolute Bevorrechtigung generell anzustreben sei, wenn keine lokalen Zwangsbedingungen verkehrlicher Art vorliegen.

Die Unterscheidung nach absoluter und bedingter Bevorrechtigung ist in der Praxis allerdings von vergleichsweise geringer Bedeutung. Der Grad der ÖPNV-Priorisierung wird vielmehr vorrangig aus den für die Erreichung der Ziele hinsichtlich Beschleunigung und Pünktlichkeit mindestens erforderlichen Zeitverlusteinsparungen und den Randbedingungen abgeleitet, die eingehalten werden müssen, damit im allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr und nicht motorisierten Verkehr festgelegte Verkehrsflussqualitäten nicht unterschritten werden. Für den Einsatzfall des Nahverkehrs

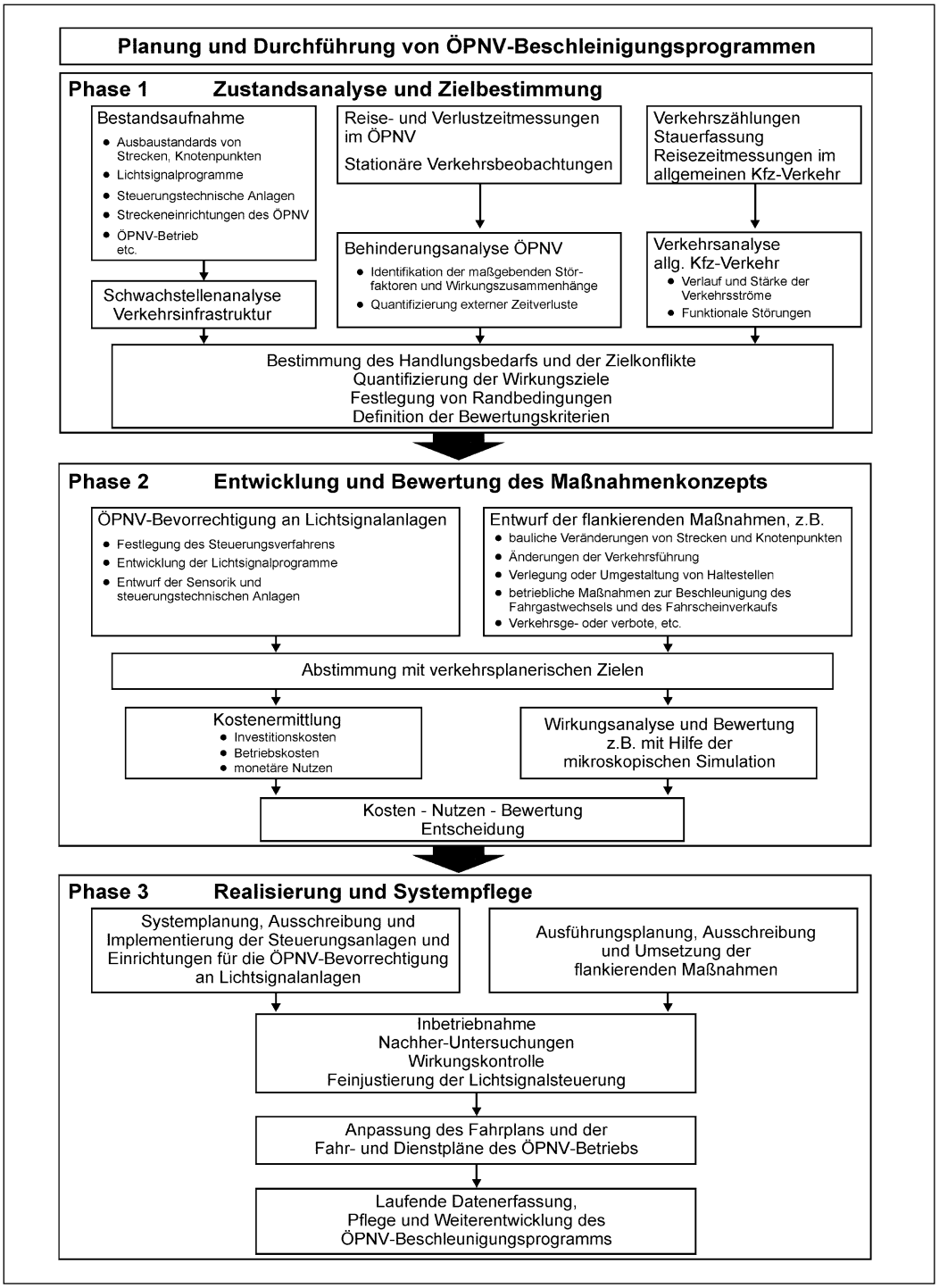


Abb. 3.16 Planungsablauf von ÖPNV-Beschleunigungsprogrammen. (Eigene Darstellung)

ohne eigenen Fahrweg wird in (Schnüll, 1997) vorgeschlagen, im Rahmen dieser Abwägung den Grad der ÖPNV-Bevorrechtigung in Abhängigkeit von den Verkehrsflussqualitäten im Kraftfahrzeugverkehr und öffentlichen Personennahverkehr gemäß HBS (FGSV, 2001a) festzulegen.

Der Wirkungsgrad der Priorisierung von ÖPNV-Fahrzeugen wird davon bestimmt, ob Vorrangeingriffe weitgehend zu jeder Sekunde im Umlauf geschaltet werden können, oder ob aufgrund spezifischer Randbedingungen zeitliche Einschränkungen bestehen. Aus der praktischen Erfahrung können in Abhängigkeit von der Flexibilität der ÖPNV-Vorrangeingriffe folgende Anhaltswerte für den mittleren Anteil verbleibender externer Zeitverluste a_V an den Fahrzeugreisezeiten genannt werden:

- Hohe Flexibilität a_V= 2 bis 5 %
- eingeschränkte Flexibilität a_V= 4 bis 10 %
- stark eingeschränkte Flexibilität a_V= 8 bis 15 %.

Bei Stadt- und Straßenbahnen auf besonderem oder unabhängigem Bahnkörper wird der von diesen ÖPNV-Systemen erwartete hohe Qualitätsstandard hinsichtlich Pünktlichkeit, Schnelligkeit und Kontinuität der Beförderung i. Allg. nur durch einen hohen Priorisierungsgrad erreicht, der in der Regel Steuerungsverfahren mit weitgehend uneingeschränkten Vorrangeingriffen (Ziel: Nullwartezeit) voraussetzt. Diese Zielvorgabe bedeutet, dass Verlustzeiten außerhalb von Haltestellen vermieden und die eingeplanten Aufenthalte an Haltestellen nicht wesentlich über die notwendigen Fahrgastwechselzeiten hinausgehen. Ein Beispiel für den Fahrzeugreisezeitanteil vor und nach Realisierung eines Straßenbahnbeschleunigungsprogramms mit hoher Flexibilität der ÖPNV-Priorisierung zeigt Abbildung 3.17.

Steuerungsverfahren

ÖPNV-Fahrzeuge können auf Anforderung durch Veränderung der Lichtsignalprogrammstruktur und durch Modifizierung der Phasendauer bevorzugt bedient werden. Es bestehen folgende generelle Möglichkeiten, die zum Teil miteinander kombiniert werden können:

- Verkürzung oder Verlängerung der Signalumlaufzeit
- Veränderung der Phasenfolge
- Veränderung der Phasenzusammensetzung
- Schaltung einer besonderen ÖPNV-Phase („Einblendung“)
- Anpassung der Phasendauer durch Vorziehen des Freigabezeitbeginns (Vorlauf) oder spätere Schaltung des Freigabezeitendes (Nachlauf) des betreffenden ÖPNV-Signals.

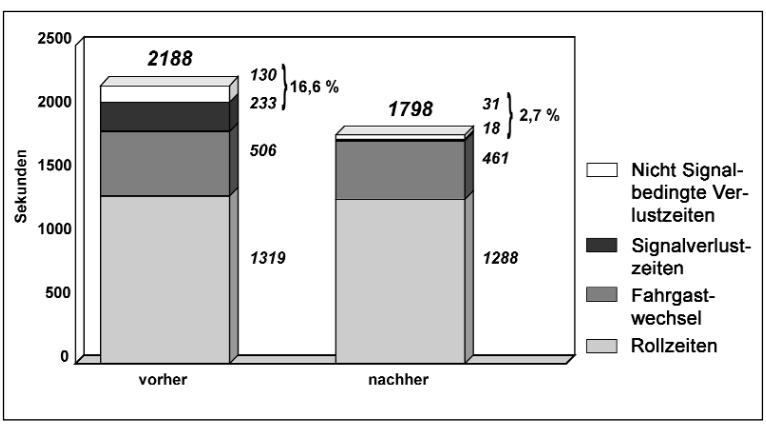


Abb. 3.17 Beispiel für die mittleren Fahrzeugreisezeitanteile im Stadtbahnverkehr vor und nach Realisierung eines Beschleunigungsprogramms. (Eigene Darstellung)

Unabhängig vom Grad der Priorisierung und der Gestaltung des Steuerungsablaufs sollte das Steuerungsverfahren folgenden Anforderungen genügen, damit der größtmögliche Nutzen für den ÖPNV bei gleichzeitiger Begrenzung von Restriktionen für die übrigen Verkehrsarten erreicht wird:

- Sekundengenaue Schaltung der ÖPNV-Freigabezeiten entsprechend dem tatsächlichen Freigabezeitbedarf,
- Berücksichtigung der Streuung der Reisezeitkomponenten, insbesondere der Fahrzeiten und Fahrgastwechselzeiten, innerhalb eines vorab zu bestimmenden Variationsbereichs,
- Vermeidung von Ausschlussbedingungen für ÖPNV-Eingriffe, wenn diese zu langen Einzelwartezeiten führen würden.

Diesen Anforderungen kann am besten durch eine kontinuierliche Erfassung der ÖPNV-Fahrzeuge bei Annäherung an die Lichtsignalanlage (mindestens Vor- und Hauptanmeldung), durch Abmeldung bei Überfahren des Signalquerschnitts und durch eine gleitende Schaltung der ÖPNV-Vorrangeingriffe entsprochen werden.

Die zeitlichen und logischen Bedingungen für die ÖPNV-Bevorrechtigung werden in einer Entscheidungslogik definiert. Dabei kann grundsätzlich nach zwei unterschiedlichen Verfahrensansätzen unterscheiden werden (siehe auch Kap. D 3.4):

- Die Steuerungsmaßnahmen werden aus online gemessenen oder aus Messgrößen berechneten Parametern sowie den aktuell vorliegenden Anforderungskonstellationen abgeleitet (logikbasierte Steuerungsverfahren).
- Die Steuerungsmaßnahmen werden online unter Verwendung einer Zielfunktion ermittelt (modellbasierte Steuerungsverfahren mit Optimierung, siehe Kap. D 3.4.5). Die Beschreibung des Verkehrsablaufs am Knotenpunkt erfolgt in einem mathematischen Modell, welches eine quantitative Prognose der Zielgröße (z.B. Wartezeiten) bei unterschiedlichen Steuerungseingriffen ermöglicht.

In Deutschland werden für die ÖPNV-Bevorrechtigung bislang überwiegend logikbasierte Steuerungsverfahren auf der lokalen Steuerungsebene (Mikrosteuerung) eingesetzt. Der Begriff des „Steuerungsmodells“ wird jedoch auch bei komplexen Entscheidungslogiken verwandt, wenn diese die mit der ÖPNV-Bevorrechtigung zusammenhängenden Wirkungen bei der Bildung von Steuerungsentscheidungen einbeziehen. Insbesondere bei hohen Priorisierungsgraden ist die Online-Überwachung der Kenngrößen

- Wartezeiten von Konfliktströmen des allgemeinen Kraftfahrzeugverkehrs,
- Staulängenentwicklung in allgemeinen Kraftfahrzeugströmen mit begrenztem Stauraum,
- Wartezeiten und Sperrzeiten im Fußgänger- und Radverkehr

für eine integrative Steuerung des Gesamtverkehrs allgemeine Praxis.

Über Verfahren mit Optimierung wird bislang nur vereinzelt berichtet (z.B. Brenner, 1980; Busch u. Keller, 1997; Dürr, 2002; Friedrich, 1996; Mertz u. Weichenmeier, 2002). So wird von Brenner (1980) die Verwendung des Erwartungswerts der Wartezeiten der ÖPNV-Fahrzeuge als Zielgröße vorgeschlagen. Sie wird auf der Grundlage der Häufigkeitsverteilung der Abfahrbereitschaftszeitpunkte der ÖPNV-Fahrzeuge berechnet, die sekündlich entsprechend der aktuellen Situation neu erzeugt wird. Bei Haltestellen werden dabei die vorab empirisch ermittelten Verteilungen der Fahrgastwechselzeiten herangezogen. Bei Dürr (2002) werden für den Einsatzfall des gemischten Verkehrs Steuerungsmodelle vorgestellt, bei welchen der Verkehrsablauf mithilfe eines verkehrsmittelübergreifenden Simulationsmodells abgebildet und in einem Optimierungsmodell kontinuierlich die bestmögliche Anpassung der

Signalprogrammparameter auf der Grundlage eines Bewertungsindex berechnet wird. Das Steuerungsverfahren sichert den ÖPNV-Fahrzeugen eine „elektronisch gesteuerte Fahrstraße“. Eine Online-Implementierung ist bislang wegen zu langer Rechenzeiten allerdings nicht erfolgt. Mertz und Weichenmeier (2002) berichten über einen intermodalen Ansatz im Rahmen einer adaptiven Steuerung, der eine gemeinsame fahrzeuggenaue Betrachtung des ÖPNV mit dem allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr ermöglicht.

Die Bevorrechtigung an Lichtsignalanlagen erfordert eine selektive Erfassung der ÖPNV-Fahrzeuge. Bei den hierfür in Frage kommenden Technologien wird nach „passiven“ und „aktiven“ Erfassungssystemen unterschieden. Passive Systeme (i. Allg. Induktionsschleifen) erfassen lediglich die Anwesenheit eines Fahrzeugs und reichen aus, wenn keine weiteren Informationen, wie z.B. die Fahrtrichtung am Knotenpunkt, notwendig sind. Bei aktiven Systemen, eingesetzt werden überwiegend Meldesysteme mittels Datenfunk, sind fahrzeugbezogene oder betriebliche Informationen Bestandteil des an das Knotenpunktsteuergerät übertragenen Funktelegramms.

Der Steuerungsspielraum für die ÖPNV-Bevorrechtigung im Rahmen einer verkehrsabhängigen Steuerung ist naturgemäß an isoliert gesteuerten Einzelknotenpunkten am größten. Insbesondere bei Steuerungsverfahren mit hohem Freiheitsgrad, wie dem Verfahren der Signalprogrammbildung, bei welchem alle veränderbaren Steuerungsparameter situationsabhängig modifiziert werden können (siehe Kap. D 3.4), kann in vielen Fällen eine weitgehend uneingeschränkte Bevorzugung der ÖPNV-Fahrzeuge realisiert werden. Dagegen sind die Eingriffsmöglichkeiten für Knotenpunkte im Zuge Grüner Wellen eingeschränkt.

ÖPNV-Bevorrechtigung bei koordinierter Lichtsignalsteuerung

Aus Sicht des ÖPNV wird das Steuerungsverfahren der Grünen Welle insgesamt eher negativ beurteilt, da wegen der Haltestellenaufenthalte und der im Vergleich zum allgemeinen Kfz-Verkehr zurückhaltenderen Fahrweise ÖPNV-Fahrzeuge aus den Grünbändern „herausfallen“ können und dadurch hohe Zeitverluste gleichsam systematisch auftreten. Die RiLSA (FGSV, 1992) empfehlen, zunächst unter Berücksichtigung der vorgegebenen Netz- und Verkehrsstruktur zu prüfen, ob während bestimmter Tageszeiten auf eine koordinierte Lichtsignalsteuerung verzichtet werden kann oder die Koordinierungsgruppen verkleinert und gegebenenfalls mit unterschiedlichen Umlaufzeiten betrieben werden können. Hinter der letztgenannten Empfehlung steht die Überlegung, dass in Fällen, in denen der Vorteil der Grünen Welle, insbesondere bei langen Koordinierungen, durchgehend nur von einem kleinen Teil des Fahrzeugkollektivs tatsächlich genutzt wird, eine höhere Flexibilität bei der ÖPNV-Beschleunigung durch kürzere Koordinierungen erreicht werden kann.

Ein Verzicht auf eine koordinierte Lichtsignalsteuerung kommt in Betracht bei

- großen Knotenpunktabständen und deutlicher Pulkauflösung,
- Fehlen eindeutig richtungsbezogener Verkehrsströme,
- annähernd gleichen Stärken der Längs- und Einbiegeverkehrsströme,
- voneinander stark abweichenden Auslastungsgraden der Knotenpunkte,
- sehr geringen oder sehr hohen Auslastungsgraden oder
- großen Stauraumreserven zwischen den Knotenpunkten.

Für die ÖPNV-Bevorrechtigung bestehen im Zuge von Freigabekoordinierungen verschiedene Zwangspunkte, weil

– die einheitlichen Signalumlaufzeiten nicht wesentlich verändert werden können,
– Eingriffe in die Grünbandführungen den koordinierten Verkehrsfluss einschränken und
– die aus ÖPNV-Vorrangschaltungen resultierenden Auswirkungen auf das Freigabezeitangebot betroffener Verkehrsströme in Folgeumläufen im Allgemeinen nur begrenzt kompensiert werden können.

Die Planung der ÖPNV-Bevorrechtigungsmaßnahmen muss daher im Zeit-Weg-Zusammenhang erfolgen, auch um auszuschließen, dass Zeitverluste nicht lediglich an Nachbarknotenpunkte verlagert werden. Dabei sind deterministische Planungsmethoden, wie die Verwendung einer „mittleren Zeit-Weg-Linie", beim Entwurf der Grünbandführungen nicht geeignet, da sie die häufig großen Variationsbreiten der Fahrzeiten und Fahrgastwechselzeiten unberücksichtigt lassen.

Von Brenner (1980) wurde ein stochastisches, EDV-gestütztes Verfahren für die Zeit-Weg-Analyse entwickelt, welches die Wahrscheinlichkeit für die Ankunft und Abfahrbereitschaft eines ÖPNV-Fahrzeugs zu jeder Sekunde im Umlauf an beliebigen Bezugslinien unter Verwendung empirisch ermittelter Verteilungen der Fahrzeiten, Fahrgastwechselzeiten und der Fahrzeugankünfte am Eingangsquerschnitt durch Faltung der Häufigkeitsverteilungen berechnet und damit auf der Grundlage der signalbedingten Wartezeiten $E\{t_W\}$ eine Bewertung der erreichten Integration des öffentlichen Verkehrsmittels in eine vorgegebene Grüne Welle des allgemeinen Kraftfahrzeugverkehrs ermöglicht. Abbildung 3.18 verdeutlicht die Methodik.

Da für den allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr und den ÖPNV im Allgemeinen unterschiedliche günstige Wellenstrukturen bestehen, schlägt Brenner (1982) vor, zunächst mithilfe des Verfahrens der stochastischen Zeit-Weg-Analyse iterativ diejenige Wellenstruktur

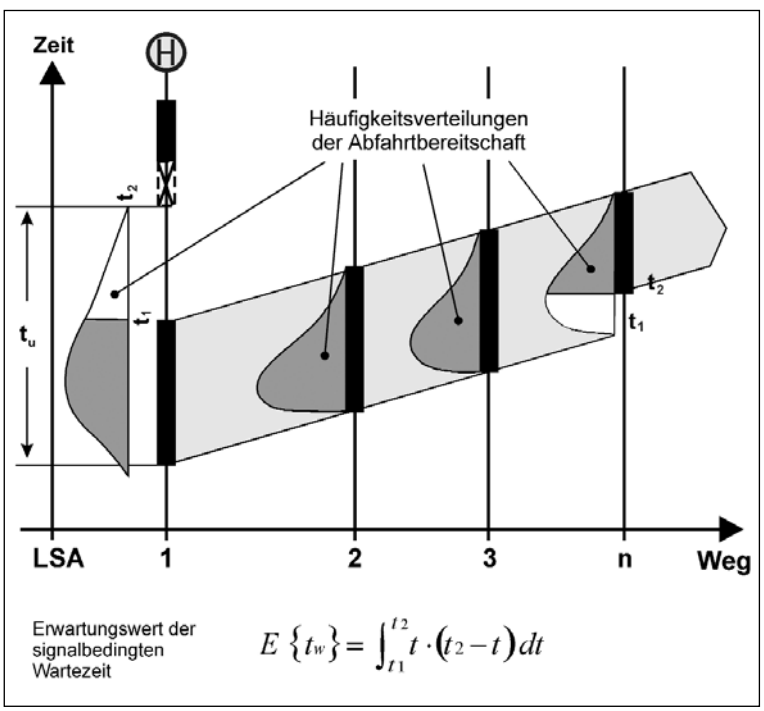


Abb. 3.18 Grundprinzip der stochastischen Zeit-Weg-Analyse. (Eigene Darstellung)

aus verschiedenen Kombinationen von Umlaufzeit und Progressionsgeschwindigkeit zu ermitteln, die bei Aufrechterhaltung eines koordinierten Verkehrsablaufs im allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr die geringste Summe signalbedingter Wartezeiten im ÖPNV aufweist („passive“ Bevorrechtigung“). Diese Koordinierung bildet anschließend die Basissteuerung für die „aktive“ ÖPNV-Präferenzierung. Auf diese Weise können Häufigkeit und Dauer von Vorrangeingriffen sowie die mit diesen verbundenen Restriktionen auf betroffene Verkehrsströme auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Abbildung 3.19 zeigt ein Beispiel für die Anwendung der stochastischen Zeit-Weg-Analyse in einem Stadtbahnbeschleunigungsprogramm, bei dem die Zeit-Weg-Planung so erfolgte, dass an drei Lichtsignalanlagen wegen querender Grüner Wellen keine aktiven ÖPNV-Vorrangeingriffe notwendig sind.

Flankierende Maßnahmen

Für die Wahl des Steuerungsverfahrens ist neben der Art des öffentlichen Personennahverkehrssystems (Bus oder Schienenverkehrsmittel) vor allem von Bedeutung, ob die ÖPNV-Fahrzeuge auf eigenem Fahrweg geführt werden oder den Verkehrsraum gemeinsam mit dem allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr nutzen (Mischverkehr). Während im erstgenannten Fall ÖPNV-Vorrangeingriffe weitgehend unabhängig von den parallel zum ÖPNV verlaufenden Längsverkehrsströmen geschaltet werden können, sind beim Mischverkehr Wechselwirkungen mit dem allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr zu berücksichtigen.

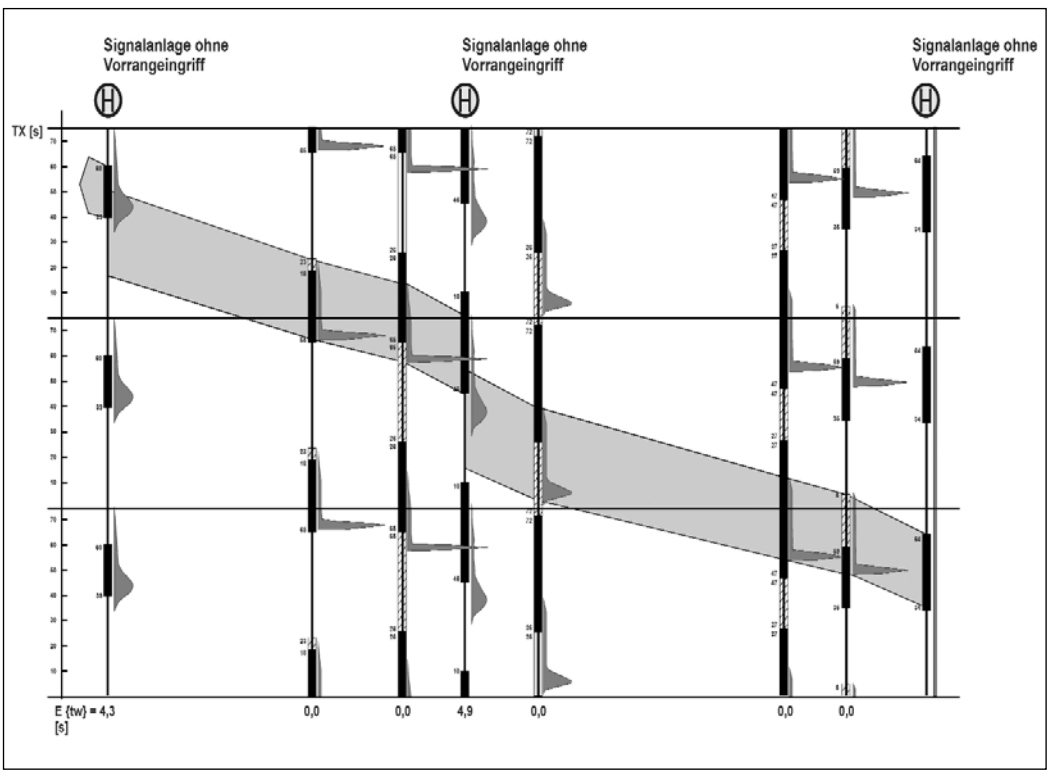


Abb. 3.19 Beispiel für die Anwendung der stochastischen Zeit-Weg-Analyse in einem Stadtbahnbeschleunigungsprogramm. (Eigene Darstellung)

Ein „Rezept“ für die Gestaltung der Lichtsignalsteuerung ist nicht verfügbar; vielmehr müssen in jedem Einzelfall im Rahmen einer detaillierten Analyse und Durcharbeitung der Linienwege die geeignetsten Maßnahmenkombinationen entwickelt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit im Zusammenspiel miteinander bewertet werden. Neben Sonderlösungen der Lichtsignalsteuerung, wie der dynamischen Straßenraumfreigabe (Schnüll 1997), sind insbesondere im Busverkehr häufig flankierende Maßnahmen erforderlich, die zu einer möglichst behinderungsfreien Annäherung der Busse an die Lichtsignalanlage beitragen, ohne die Kapazität des lichtsignalgesteuerten Knotenpunkts selbst zu vermindern. Häufig handelt es sich um vergleichsweise „einfache“ Maßnahmen, wie beispielsweise die Führung des Busverkehrs über Abbiegefahrstreifen unter Befreiung vom Richtungsfahrgebot am Knotenpunkt in Verbindung mit Vorrangeingriffen in den Steuerungsablauf. Abbildung 3.20 zeigt die Anlage einer Busspur in Kombination mit einer so genannten *„Busschleuse“*. Die Busspur endet vor dem Knotenpunkt im Abstand des erforderlichen Stauraums für den Rechtsabbiegeverkehr. Die Einsteuerung des Busses an der Bushaltestelle erfolgt auf Anforderung.

Der in Abbildung 3.21 dargestellte Knotenpunkt wurde so umgestaltet, dass geradeaus fahrende Busse den Rechtsabbiegefahrstreifen nutzen können und auf diese Weise häufigem Rückstau im danebenliegenden Fahrstreifen ausweichen. Aus einer „Bustasche“ in Form einer kurzen Aufstellspur kann eine fahrzeugselektive Freigabe im Rahmen der Präferenzsteuerung erfolgen. Gerade dieses Beispiel verdeutlicht, dass es bei der Planung von ÖPNV-Beschleunigungsprogrammen darauf ankommt, in jedem Einsatzfall die bestehenden Potenziale aufgrund der spezifischen örtlichen Gegebenheiten zu erkennen und für die Verbesserung des Verkehrsablaufs zu nutzen.

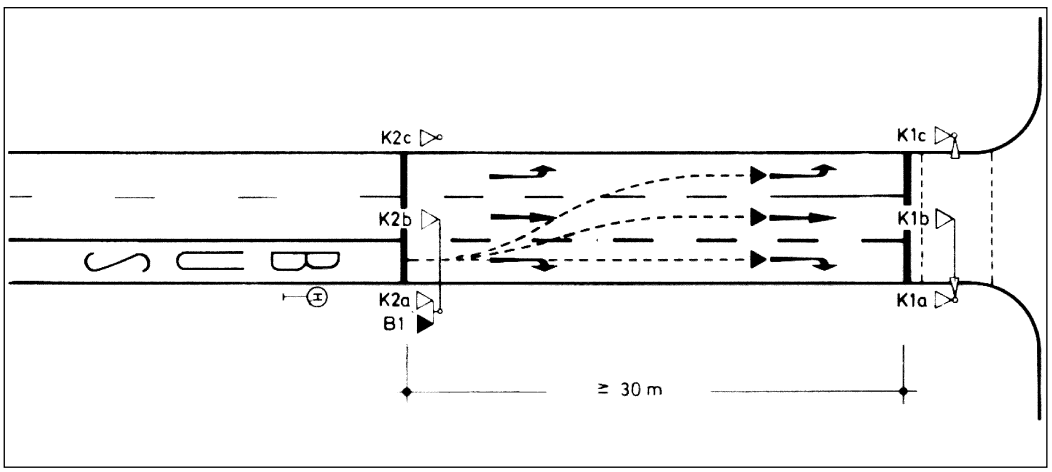


Abb. 3.20 Beispiel für eine vor dem Knotenpunkt endende Busspur in Kombination mit einer Busschleuse. (FGSV, 1992)

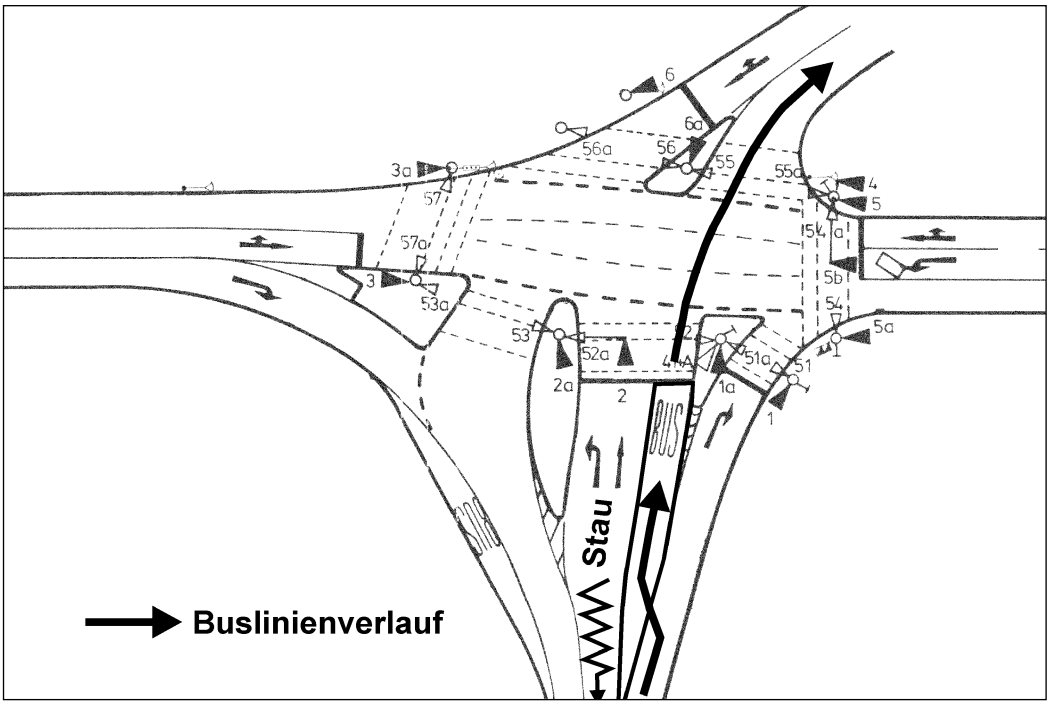


Abb. 3.21 Beispiel für die Führung einer geradeausfahrenden Buslinie über einen Rechtsabbiegestreifen in Verbindung mit einer „Bustasche". (Eigene Darstellung)

3.4 Verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerung

3.4.1 Übersicht und Begriffe

Im Gegensatz zur Festzeitsteuerung, bei der unabhängig von der aktuellen Verkehrssituation ein hinsichtlich aller Programmparameter festgelegtes, nicht veränderbares Lichtsignalprogramm eingesetzt wird, findet bei der verkehrsabhängigen Steuerung ein Informationsfluss zwischen dem Verkehrsablauf und dem Steuerungssystem statt, welcher dazu dient, die Parameter des Lichtsignalprogramms situationsabhängig anzupassen. Die verkehrsabhängige Steuerung kann dabei als Teil eines Regelkreises angesehen werden (siehe Abb. 3.22), durch den der Verkehrsablauf nach festgelegten Regeln und Kriterien im Sinne der Zielsetzungen der Lichtsignalsteuerung beeinflusst wird.

Bereits Steierwald et al. (1970) haben durch Feldversuche nachgewiesen, dass durch eine Dynamisierung der Lichtsignalsteuerung wesentliche Verbesserungen im Verkehrsablauf erreicht werden. Die positiven Wirkungen beziehen sich dabei nicht nur auf eine Erhöhung der Reisegeschwindigkeiten und eine Verminderung der Wartezeiten. Untersuchungen von Brenner et al. (1997) haben gezeigt, dass auch die Sicherheit des Verkehrsablaufs durch eine flexible Ausgestaltung verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren positiv beeinflusst werden kann.

Die Richtlinien für Lichtsignalanlagen un-

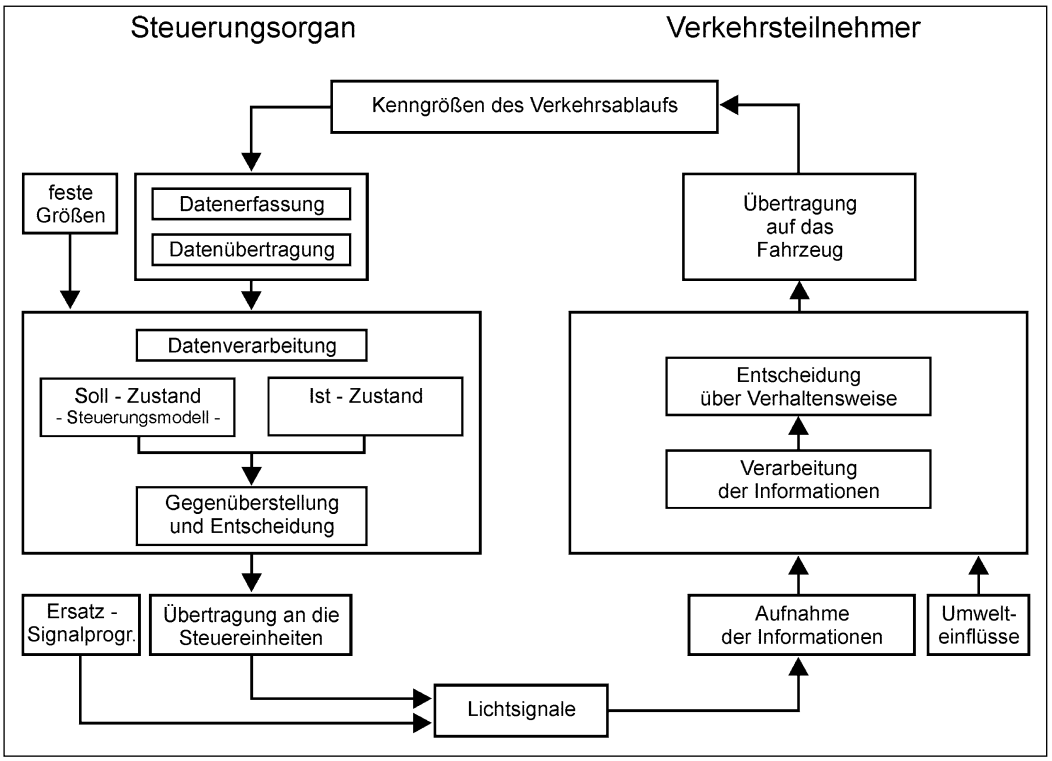


Abb. 3.22 Informationsfluss an einer Lichtsignalanlage. (FGSV, 1992)

terscheiden hinsichtlich der Wirkungsebenen nach *makroskopischen* und *mikroskopischen* Steuerungsverfahren. Verfahren der makroskopischen Steuerungsebene beziehen sich auf die Beeinflussung des Verkehrs im Gesamtnetz oder in größeren Netzbereichen und berücksichtigen längerfristige Veränderungen der Verkehrssituation. Mikroskopische Steuerungsverfahren haben dagegen die lokale Steuerung zum Inhalt und reagieren kurzfristig auf veränderte Verkehrszustände an Knotenpunkten. Die der makroskopischen Steuerungsebene zugeordneten Steuerungsverfahren werden in der Regel als *„strategische“*, die der mikroskopischen Entscheidungsebene als *„taktische“* Komponente des Lichtsignalsteuerungssystems bezeichnet (Lapierre u. Steierwald, 1988). Beide Begriffe sind allerdings fachterminologisch nicht festgelegt. Insbesondere im Zusammenhang mit der Integration der Lichtsignalsteuerung in das Verkehrsmanagement wird unter dem Begriff der „Strategie“ häufig die aktive Beeinflussung der Steuerung durch Vorgabe verkehrspolitischer oder sonstiger übergeordneter Ziele verstanden und die netz- und knotenpunktbezogene Steuerung als „taktische“ und „lokale“ Ebene bezeichnet.

Eine dynamische Steuerung des Verkehrs wird durch Einsatz zeit- und/oder verkehrsabhängiger Verfahren erreicht. Während bei der *zeitabhängigen* Steuerung eine Anpassung der Lichtsignalprogramme an zeitlich regelmäßig wiederkehrende Verkehrszustände über eine „Schaltuhr“ erfolgt, nutzen *verkehrsabhängige* Steuerungsverfahren online erfasste Verkehrskenngrößen für die Anpassung der Steuerungsparameter an die jeweils aktuelle Situation. Je

nach Art der Informationsverarbeitung wird nach *logikbasierten Steuerungsverfahren* mit offenem Wirkungskreislauf und *modellbasierten Steuerungsverfahren* mit geschlossenem Wirkungskreislauf unterschieden. Bei einem offenen Wirkungskreislauf wird die Regelgröße ohne unmittelbare Analyse der Auswirkungen z.B. durch einen Vergleich von Soll- und Ist-Werten beeinflusst. Bei einem geschlossenen Wirkungskreislauf kommen dagegen Wirkungsmodelle und Optimierungsalgorithmen zur Minimierung der Regelabweichung zum Einsatz. Modellbasierte Steuerungsverfahren werden daher auch als „adaptiv" bezeichnet.

Die Wahl des Steuerungsverfahrens für den jeweiligen Einsatzfall ist im Wesentlichen abhängig von den vorgegebenen Zielen der Verkehrssteuerung und dem möglichen technischen Aufwand.

3.4.2 Umsetzung verkehrsabhängiger Steuerungsverfahren

Innerhalb eines Lichtsignalsteuerungssystems sind die Aufgaben der makroskopischen Steuerung in der Regel der Verkehrsrechnerebene zugeordnet, während die Mikrosteuerung durch mikroprozessorgesteuerte Knotenpunktgeräte erfolgt. Diese Aufgabenverteilung innerhalb des Lichtsignalsteuerungssystems wird als *„teilzentrale" Systemstruktur* bezeichnet, bei welcher die Datenverarbeitungskapazität des Anlagensystems bestmöglich genutzt und eine hohe Betriebssicherheit erreicht wird. Die Kommunikation zwischen Verkehrsrechner und Knotenpunktsteuergeräten erfolgt in der Regel durch ein kabelgebundenes Übertragungssystem. In der Bundesrepublik Deutschland sind im Rahmen der OCIT-Initiative (*O*pen *C*ommunication *I*nterface for Road *T*raffic Control Systems) Bestrebungen zur Standardisierung der Schnittstellen im Gange.

Die Online-Erfassung von Verkehrskenngrößen erfolgt durch Detektoren. Im Kraftfahrzeugverkehr werden neben Induktionsschleifendetektoren zunehmend auch fortgeschrittene Technologien bis hin zur Videoerfassung eingesetzt. Im Übrigen wird auf einschlägige Regelwerke und Veröffentlichungen (z.B. FGSV, 1991) hingewiesen.

3.4.3 Zeitabhängige Steuerung

Der zeitabhängige Einsatz verschiedener, auf bestimmte Verkehrssituationen zugeschnittener Lichtsignalprogramme (*zeitplanabhängige Signalprogrammauswahl*) ist eine erste Stufe der Dynamisierung der Steuerung und stellt gleichsam eine „indirekte" Verkehrsabhängigkeit her.

Auf der Grundlage empirisch ermittelter Ganglinien des Verkehrsaufkommens in einem zu steuernden Straßennetz werden die Ein-, Aus- und Umschaltzeitpunkte der in einem Signalprogrammkatalog enthaltenen Lichtsignalprogramme ermittelt und in einer Zeitautomatik festgelegt. Das Verfahren der zeitplanabhängigen Signalprogrammauswahl stellt dabei eine übergeordnete Strategie dar, da ihm das Ziel zugrunde liegt, für ein als Einheit betrachtetes Straßennetz oder Straßennetzsegment für einen längeren Zeitraum geeignete Lichtsignalprogramme auszuwählen. Es wird in der Regel daher der makroskopischen Entscheidungsebene zugeordnet (siehe Abb. 3.23).

Voraussetzung für einen wirkungsvollen Einsatz der zeitplanabhängigen Signalprogrammauswahl sind periodisch wiederkehrende Verkehrszustände mit weitgehend konstantem Verkehrsablauf. Für deren Ermittlung sind im Allgemeinen aufwendige Verkehrszählungen durchzuführen, um die Ganglinienverläufe im Tages- und Wochenverlauf, in Sonderfällen auch saisonal differenziert, für die maßgebenden Knotenpunkte und Querschnitte im

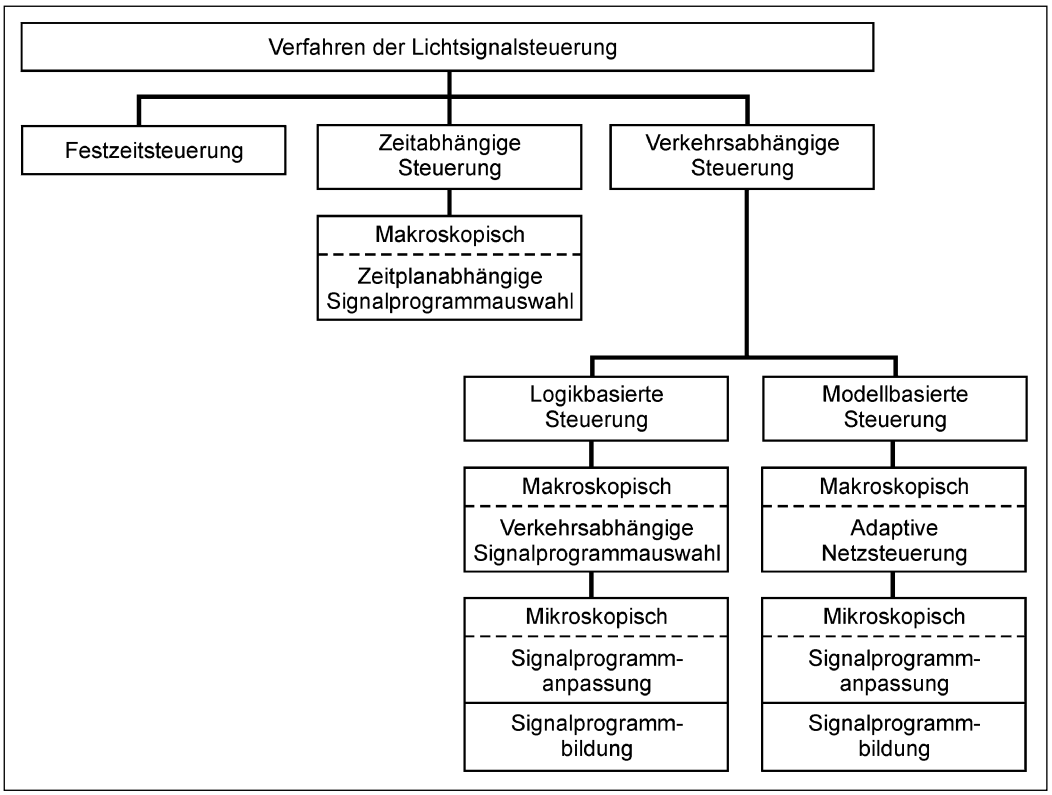


Abb. 3.23 Übersicht über die Verfahren der Lichtsignalsteuerung. (Eigene Darstellung)

Straßennetz zu erfassen. Aus den Zähldaten werden Tages- und Wochenganglinien abgeleitet; die absoluten Verkehrsstärken bilden die Grundlage für die Signalprogrammberechnungen. Aus der Analyse der Ganglinien sind die Zahl erforderlicher Signalprogramme und Zeitpläne sowie die Einsatzzeitpunkte der einzelnen Signalprogramme zu bestimmen. In städtischen Straßennetzen werden in vielen Fällen vier Signalprogramme eingesetzt, die neben den Berufsverkehrsspitzen auch die Normal- und Schwachverkehrszeiten abdecken.

Es ist vielfach üblich, das Verfahren der zeitplanabhängigen Signalprogrammauswahl mit einer verkehrsabhängigen Steuerung auf der lokalen Ebene zu kombinieren. So werden in Steuerungssystemen mit Mikroprozessor-Steuergeräten die ausgewählten Lichtsignalprogramme auf der lokalen Steuerungsebene als „Rahmensignalpläne“ aktiviert und im Rahmen der Mikrosteuerung an die aktuellen Verkehrsverhältnisse an den Knotenpunkten angepasst.

3.4.4 Logikbasierte Steuerungsverfahren

Logikbasierte Steuerungsverfahren (siehe auch Kap. D 3.2.7 und D 3.3.2) haben insbesondere in Deutschland einen hohen Entwicklungsstand erreicht (Zackor, 1991) und repräsentieren – im Unterschied zum Beispiel zu Großbritannien und den USA – die hierzulande am weitesten verbreitete Art der verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerung. Die bislang noch geringe Verbreitung modellgestützter

Verfahren (siehe Kap. D D 3.4.5) wird unter anderem auf die hohe Effizienz der derzeit eingesetzten Systeme zurückgeführt.

Logikbasierte Steuerungsverfahren werden sowohl auf der Ebene der makroskopischen als auch der mikroskopischen Steuerung eingesetzt (siehe Abb. 3.23). Sie treffen ihre Steuerungsentscheidungen auf der Grundlage einer Auswahl verfügbarer Verkehrskenngrößen und Handlungsalternativen durch Abfrage logischer und zeitlicher Bedingungen und Prüfung der Verkehrszustände für die einbezogenen Verkehrsströme. Eine Online-Optimierung von Zielgrößen findet dabei nicht statt, jedoch existieren für verschiedene verkehrstechnische Aufgabenstellungen Offline-Optimierungsverfahren. Der Entscheidungsablauf bei logikbasierten Steuerungsverfahren ist in Abbildung 3.24 schematisch dargestellt.

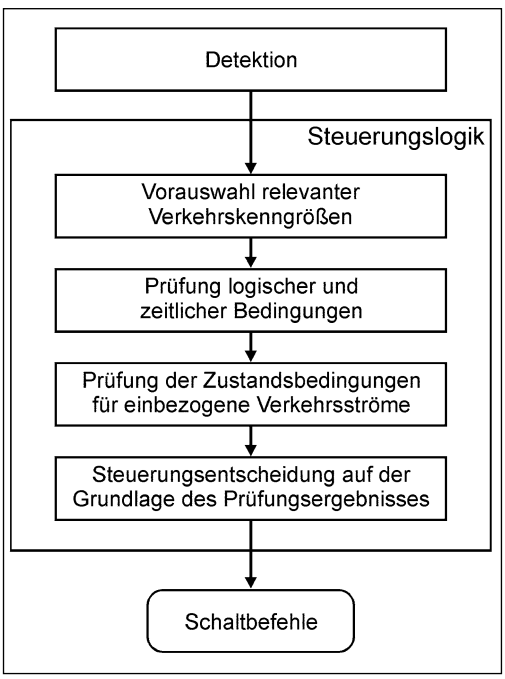


Abb. 3.24 Entscheidungsablauf bei logikbasierten Steuerungsverfahren. (Eigene Darstellung)

In den meisten Fällen werden die Steuerungslogiken individuell für den betreffenden Einsatzfall entwickelt, so dass die Qualität der Steuerung in hohem Maße vor der des eingebrachten Expertenwissens abhängig ist. Aufgrund der mit steigenden verkehrstechnischen Anforderungen zunehmenden Komplexität von Steuerungslogiken hat sich die Modularisierung der Steuerungssoftware mit dem Ziel einer deutlich verbesserten Nachvollziehbarkeit und Anwenderfreundlichkeit durchgesetzt. Nach Noll (1990) sind

– die Trennung organisatorischer und verkehrstechnischer Funktionen,
– die Trennung zeitlicher und logischer Bedingungen,
– die Eindeutigkeit der Logikparameter und
– die Steuerung des Modulverhaltens durch Parametrierung

die wichtigsten Kriterien für die Gestaltung von Steuerprogramm-Modulen. In Brenner et al., (1999) wurden die wesentlichen Anforderungen an die Festlegung von Funktionalität und Handhabung universell einsetzbarer Module definiert und ein einheitliches Beschreibungsmittel für ihre Spezifikation entwickelt.

Für verkehrsabhängige Steuerungsverfahren mit frei gestaltbaren Entscheidungslogiken sind zwischenzeitlich eine Reihe vorprogrammierter Steuerprogramm-Module für häufig vorkommende Steuerungsfunktionen und Unterprogramme, z.B. für die ÖPNV-Bevorrechtigung, verfügbar, welche nicht nur eine hohe Transparenz und Anpassungsfähigkeit sicherstellen, sondern auch die Aufgabe der Qualitätssicherung deutlich verbessern. Eine andere Entwicklungslinie führte zu „geschlossenen" Gesamtmodulen, die mittels vorgegebener Steuerungsalgorithmen ein in vielen Fällen ausreichendes Spektrum verkehrstechnischer Funktionen abdecken und lediglich durch Parametrierung an den jeweiligen Einsatzfall angepasst werden.

Makroskopische Steuerungsverfahren

Das logikbasierte Steuerungsverfahren auf der Entscheidungsebene der Makrosteuerung ist das Verfahren der *verkehrsabhängigen Signalprogrammauswahl*, bei welchem die Schaltung unterschiedlicher Signalprogramme auf der Grundlage online erfasster Verkehrskenngrößen erfolgt. Das Verfahren bietet sich vor allem dann an, wenn die Ganglinien keinen erkennbaren Gesetzmäßigkeiten folgen oder eine flexiblere Anpassung der Steuerung an sich verändernde Verkehrssituationen angestrebt wird. Die Planung einer verkehrsabhängigen Signalprogrammauswahl enthält folgende Schritte:

- Durch eine Analyse der Straßennetzstruktur ist festzulegen, welche Knotenpunkte in das Verfahren einbezogen und zu „Schaltgruppen“ zusammengefasst werden. Diese können flexibel, z.B. in Abhängigkeit von bestimmten Verkehrszuständen, veränderbar sein.
- Durch eine Verkehrsanalyse werden die Entscheidungsparameter, Schwellenwerte und Zielgrößen ermittelt. Häufig sind für die verkehrsabhängige Signalprogrammauswahl Verkehrskenngrößen an nur wenigen „Makromessstellen“ ausreichend, um die Verkehrssituation hinreichend genau zu erfassen. Die Messstellen müssen dabei so angeordnet werden, dass sie eine von der Lichtsignalsteuerung weitgehend unbeeinflusste Messung zulassen.
- Bei der Erstellung der Entscheidungslogik werden die Parameter und Auswahlkriterien formuliert und der Entscheidungsablauf festgelegt. Im Vergleich zur zeitplanabhängigen Signalprogrammauswahl ist häufig ein größerer Signalprogramm-Katalog erforderlich, um auch auf kurzfristigere Veränderungen im Verkehrsablauf (im Allgemeinen 15 bis 30 Minuten) reagieren zu können.

Die im Vergleich zur zeitplanabhängigen Signalprogrammauswahl häufigeren Signalprogrammwechsel erfordern schließlich geeignete Verfahren der Signalprogramm-Umschaltung, die sicherstellen, dass insbesondere im Zuge Grüner Wellen der Verkehrsablauf nicht unvertretbar stark beeinträchtigt wird (Lapierre u. Steierwald, 1988). Abbildung 3.25 zeigt den Ausschnitt einer Entscheidungslogik in Form eines Flussdiagramms, bei welchem das Auswahlverfahren auf Schwellenwertvergleichen beruht. Die Logik für die Situationsauswahl wird in festgelegten Zeitintervallen durchlaufen. Auf der Variablen TNE wird im dargestellten Beispiel die Zahl der für einen Situationswechsel relevanten Schwellenwertüberschreitungen entsprechend den Bedingungslisten aufsummiert. Bei Überschreitung eines festgelegten Grenzwerts für TNE wird eine Situationsanforderung ausgelöst. In der Entscheidungsmatrix (Situationswechselmatrix) wird ein Signalprogrammwechsel nur dann initiiert, wenn die erforderliche Mindestzahl von Situationsanforderungen und die Mindeststandzeit der laufenden Situation erreicht sind. Der jeweils definierten Situation ist ein bestimmtes Signalprogramm zugeordnet, in welches dann umgeschaltet wird. Um zu verhindern, dass defekte Detektoren zu unverträglichen Situationswechseln führen, werden diese überwacht. Bei Vorliegen einer festgelegten Zahl von Detektorausfällen dient die Jahreszeitautomatik (zeitplanabhängige Signalprogrammauswahl) als Rückfallebene.

Mikroskopische Steuerungsverfahren

In Abhängigkeit vom Freiheitsgrad hinsichtlich der Veränderbarkeit der Signalprogrammparameter Umlaufzeit, Phasenfolge, Phasenanzahl und Freigabezeiten unterscheiden die Richtlinien für Lichtsignalanlagen nach den Verfahren

- der Signalprogrammanpassung und
- der Signalprogrammbildung.

Bei den *Verfahren der Signalprogrammanpas-*

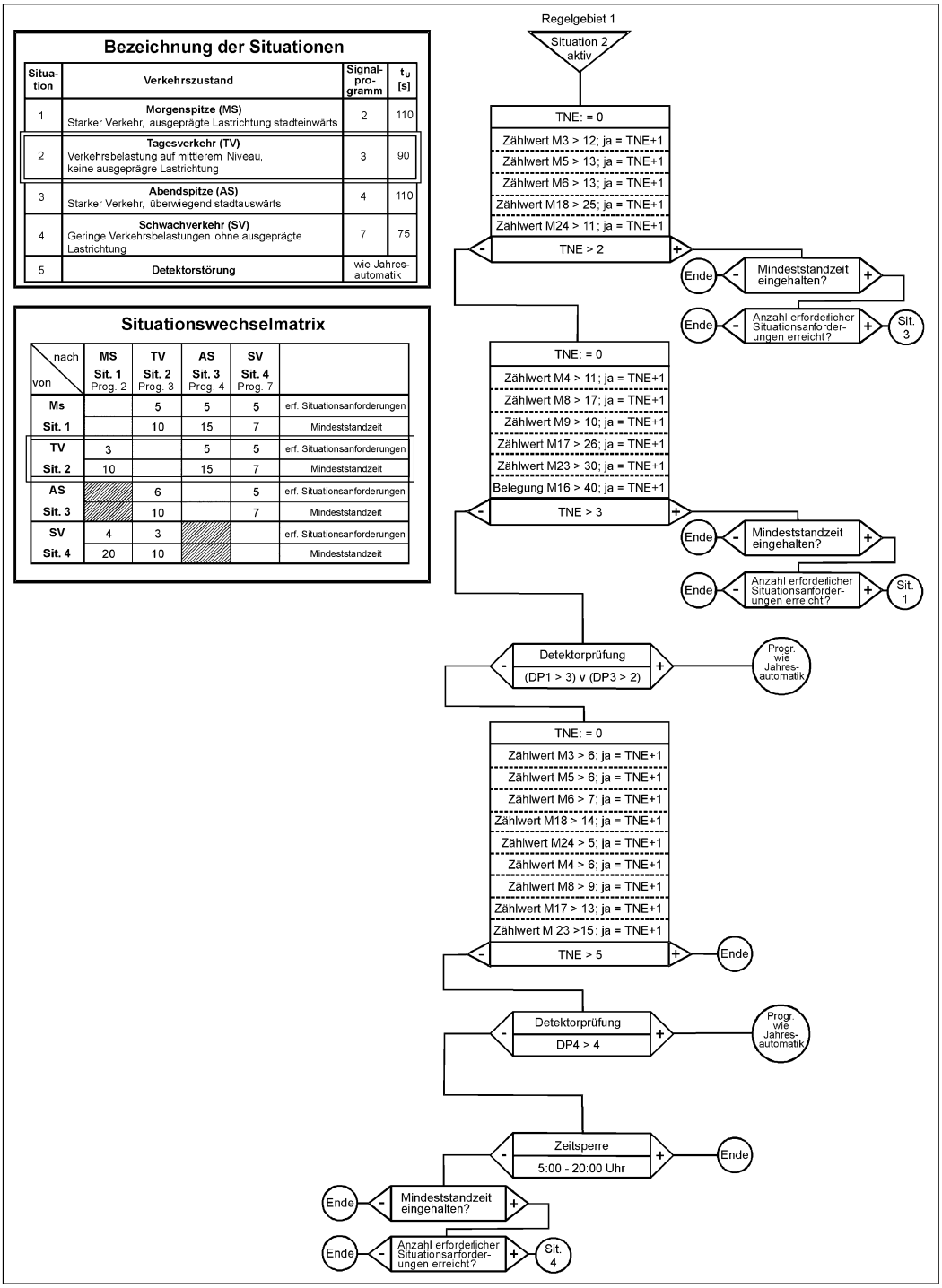


Abb. 3.25 Beispiel – Ausschnitt aus einer Entscheidungslogik für die verkehrsabhängige Signalprogrammauswahl. (Eigene Darstellung)

sung ist die Umlaufzeit generell nicht veränderbar, so dass sie sowohl an Einzelknotenpunkten, als auch im Zuge Grüner Wellen und im Rahmen der Netzsteuerung eingesetzt werden können. Wichtige Anwendungsfälle sind z.B.

- die bedarfsabhängige Bemessung von Freigabezeiten,
- die Schaltung von Freigabezeiten auf Anforderung,
- die Stauraumüberwachung, oder
- die Zuflussdosierung.

Die einfachste Form der verkehrsabhängigen Freigabezeitbemessung im allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr erfolgt auf der Basis einer *Zeitlückenmessung*, bei der die laufende Freigabezeit so lange verlängert wird, bis die gemessene Zeitlücke einen vorgegebenen Zeitlückenwert überschreitet oder die Maximalgrünzeit erreicht ist. Die Zeitlückensteuerung setzt frei abfließenden Verkehr voraus, eine Bedingung, die z.B. bei bedingt verträglichem Abbiegeverkehr grundsätzlich nicht erfüllt ist. In diesem Fall sind der Einsatz einer Langschleife und die Freigabezeitbemessung auf Basis der Belegung eine geeignete Alternative.

In der Praxis wird eine verkehrsabhängige Freigabezeitbemessung meist durch die Kombination von Zeitlücken- und *Belegungsgradmessung* realisiert, um einen frühen Freigabezeitabbruch beim Anfahren von Schwerverkehrsfahrzeugen zu vermeiden. Das Verfahren der Belegungsgradmessung bewertet den Verkehrsablauf unter Berücksichtigung von Verkehrsstärken, Geschwindigkeit und Fahrzeuglänge durch Ermittlung des Belegungsgrads eines Schleifendetektors.

Vereinzelt wird auch über Versuche mit Fuzzy-Logiken berichtet (Bell et al., 1996). Im Gegensatz zur digitalen, zweiwertigen Logik handelt es sich hier um eine wissensbasierte, mehrwertige Logik, die beliebige Zustände zwischen 0 und 1 annehmen kann. Die für die Steuerung verwendete Wissensbasis wird in Form umgangssprachlicher Regeln implementiert und ist dadurch leichter nachvollziehbar.

Beim *Verfahren der logikbasierten Signalprogrammbildung* erfolgt die Generierung eines Signalprogramms durch die Verkehrsteilnehmer bei voller Variabilität aller Signalprogrammparameter. Da streckenbezogene Kriterien nur bedingt berücksichtigt werden, eignet sich das Verfahren vorrangig für autonom gesteuerte Einzelknotenpunkte. Planerisch sind die minimale und maximale Dauer der Sperrzeiten, die Zwischenzeiten, die Phasenübergangspläne und eventuell die günstigste Phasenfolge bei Anforderung aller Phasen vorzugeben. In einer Steuerungslogik erfolgt die Verknüpfung von Messwertkonstellationen mit bestimmten Steuerungsmaßnahmen. Verfahren der Signalprogrammbildung erfordern einen vergleichsweise hohen Systemaufwand, da alle Verkehrsteilnehmer, die das Signalprogramm beeinflussen sollen, durch eine geeignete Sensorik erfasst werden müssen. Sonderformen der Signalprogrammbildung sind die Alles-Rot-/Sofort-Grün-Schaltung und die Hauptrichtung-Dauergrün-Schaltung.

Zusammenwirken der makroskopischen und mikroskopischen Steuerungsverfahren

Durch Kombination des Verfahrens der verkehrsabhängigen Signalprogrammauswahl auf der Ebene der Makrosteuerung (zentrale Entscheidungsebene) mit spezifisch auf die lokalen Bedingungen abgestimmten logikbasierten Verfahren der Mikrosteuerung (dezentrale Entscheidungsebene) kann nicht nur eine hohe Effizienz und Flexibilität der Lichtsignalsteuerung insgesamt, sondern auch eine klare hierarchische Struktur mit zwei funktional getrennten Entscheidungsebenen realisiert werden. Sie ermöglicht eine hohe Transparenz und gezielte Systempflege.

Das „Koordinierungsinstrument“ zwischen der Makro- und Mikrosteuerungsebene ist der durch die verkehrsabhängige Signalpro-

grammauswahl vorgegebene *Rahmensignalplan*, der situationsabhängig den von der Mikrosteuerungsebene nutzbaren Freiheitsgrad für kurzfristige Signalprogrammanpassungen an lokale Bedingungen definiert. Abbildung 3.26 zeigt für den Fall einer phasenorientierten Steuerung die Rahmensignalpläne mit unterschiedlichen Entscheidungsspielräumen für die knotenpunktbezogene Steuerung.

3.4.5 Modellbasierte Steuerungsverfahren

Entwicklungen der letzten Jahre auf dem Gebiet der Verkehrsmodellierung könnten die Möglichkeiten für die Lichtsignalsteuerung, z.B. durch eine umfassendere Analyse der aktuellen Verkehrssituation und zuverlässigere Prognose ihrer Veränderungen unter unterschiedlichen Steuerungsbedingungen, erweitern. Vor diesem Hintergrund rücken Möglichkeiten für den Einsatz modellbasierter Steue-

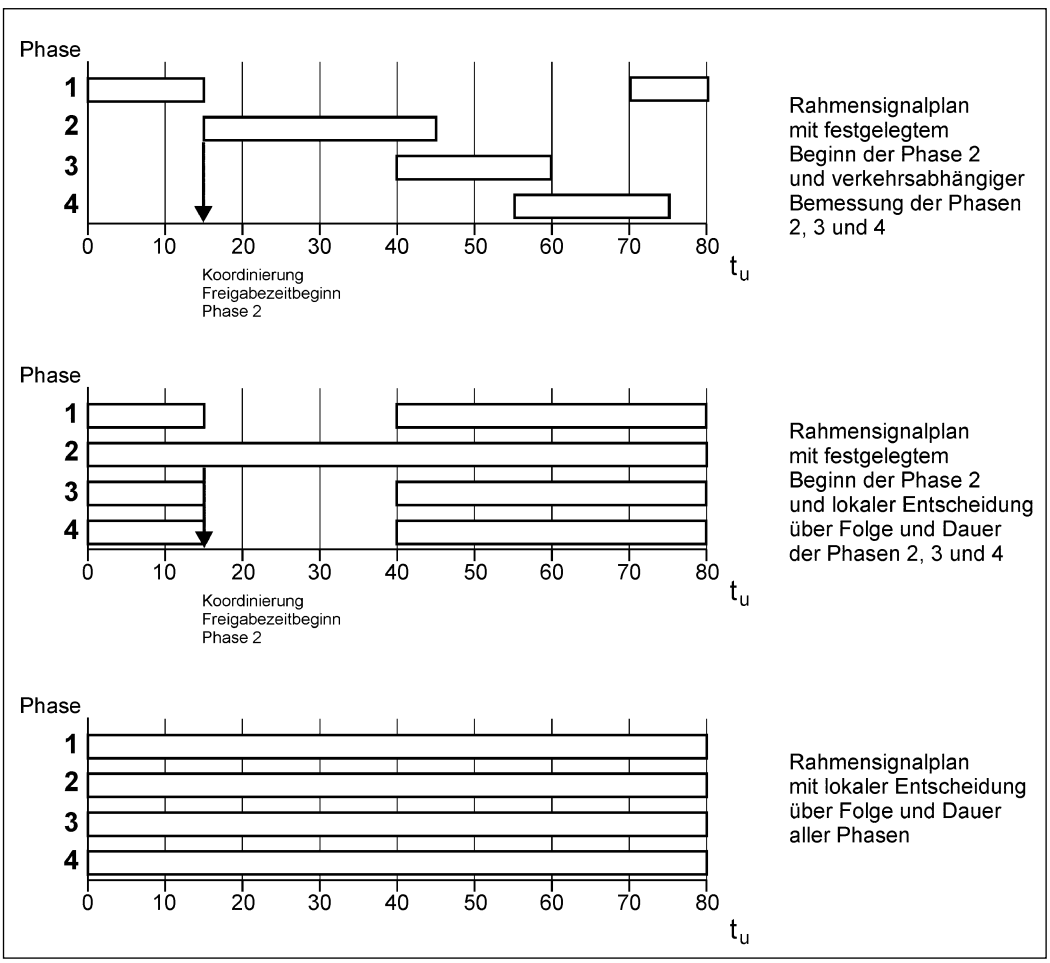


Abb. 3.26 Rahmensignalpläne mit vorgegebener Umlaufzeit und unterschiedlichen Entscheidungsspielräumen auf der Ebene der Mikrosteuerung. (Eigene Darstellung)

rungsverfahren, die hierzulande in der Vergangenheit eine eher untergeordnete Rolle spielten, stärker in den Mittelpunkt des Interesses. Eine stärkere Beachtung ist zukünftig vor allem dann zu erwarten, wenn durch verkehrsadaptive Steuerungen ein im Vergleich zu logikbasierten Steuerungsverfahren größerer Nutzen durch eine verbesserte Anpassung der Steuerungsparameter an die jeweils aktuellen Nachfragemuster, insbesondere im größeren räumlichen Zusammenhang und bei hohen Auslastungen, erreicht wird. Ein Schwerpunkt lag daher auf der Entwicklung adaptiver Netzsteuerungen (z.B. Busch u. Kruse, 1993; Keller et al., 2002; Mertz u. Weichenmeier, 2002); es wird allerdings auch über neue modellgestützte Ansätze für die Mikrosteuerung insbesondere im Zusammenhang mit der Integration öffentlicher Verkehrsmittel berichtet (z.B. Friedrich, 2000; Mertz u. Weichenmeier, 2002).

Da Erfahrungen mit modellbasierten Steuerungsverfahren in Deutschland nur in begrenztem Umfang vorliegen, können bislang gesicherte Aussagen u.a. darüber, ob zusätzlich erreichbare positive Wirkungen bei der Verbesserung des Verkehrsablaufs den erhöhten Systemaufwand rechtfertigen, auf den in Busch u. Keller (1997) besonders hingewiesen wird, noch nicht getroffen werden.

Bei modellbasierten Steuerungsverfahren werden die Steuerungsentscheidungen durch eine iterative Zielgrößenoptimierung im Sinne eines Regelkreises gebildet (siehe Abb. 3.27). Auf der Grundlage der über die Sensorik eingehenden Anforderungen und Messwerte wird in einem Verkehrsmodell ein räumlich und zeitlich aktuelles Bild der Gesamtverkehrssituation erzeugt. Das Wirkungsmodell ermöglicht die quantitative Ermittlung der Zielgröße (z.B. Wartezeiten) unter dem Einfluss alternativer Steuerungsmaßnahmen und deren Bewertung z.B. in Form eines Soll-Ist-Vergleichs. In Abhängigkeit von dessen Ergebnis werden im Steuerungsmodell die situationsangepassten Steuerungsalternativen gebildet und schrittweise optimiert.

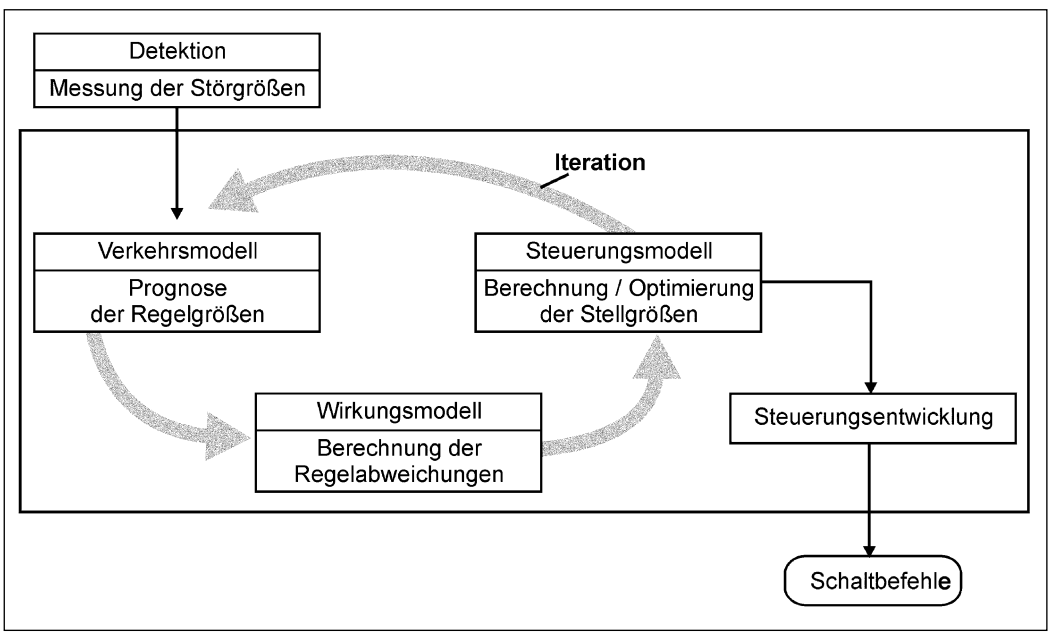


Abb. 3.27 Wirkungsweise modellbasierter Steuerungsverfahren. (Eigene Darstellung)

Dieser Ansatz unterscheidet sich gegenüber den logikbasierten Steuerungsverfahren auch dadurch, dass alle im Modell abgebildeten Anforderungen in die Optimierung einbezogen werden können und auf dieser Grundlage im Sinne einer festgelegten umfassenden Optimierungsstrategie online auf die aktuelle Verkehrssituation Einfluss genommen wird.

Zackor (1991) definiert die generellen Anforderungen an ein modellgestütztes Steuerungsverfahren. Danach stellt eine ausreichend realitätsgetreue Modellierung der Ankunfts- und Bedienungsprozesse im Verkehrsmodell das entscheidende Kriterium dar. Um die erforderlichen kurzen Rechenzeiten einzuhalten, wurden bislang allerdings vergleichsweise einfache Warteschlangen- und Progressionsmodelle eingesetzt. Die Modellierung des Bedienungsprozesses erfolgte im Allgemeinen unter Verwendung vorab festzulegender Sättigungsverkehrsstärken mit der Folge häufig systematischer Fehler. Neben der Kalibrierung der Modelle führte schließlich die Berücksichtigung mikroskopischer Ereignisse (z.B. ÖPNV-Anforderungen) in einigen Modellen zu beträchtlichen Schwierigkeiten. In (Friedrich, 2000) wird außerdem die Umsetzung in ein System mit verteilter Intelligenz als wichtiges Kriterium für eine geringe Störanfälligkeit und eine effiziente Struktur betrachtet, bei der kein Redesign des Systems bei räumlichen und aufgabenbezogenen Erweiterungen erforderlich. Diese Anforderung bedingt auch eine benutzerfreundliche Modularität des Steuerungsverfahrens. Schließlich wird gefordert, dass die Modelle auch für verkehrs- und umweltpolitische Vorgaben zugänglich sein sollten.

In den letzen Jahren sind in Deutschland vor allem die modellgestützten Verfahren MOTION (Busch u. Kruse, 1993) und BALANCE (Friedrich, 1996; Friedrich, 2000) bekannt geworden. Die Struktur des Verfahrens MOTION gliedert sich in

- die strategische Ebene, auf der in einem Zyklus von ca. 10 bis 15 Minuten Umlaufzeit und Netzkoordinierung gebildet werden,
- die taktische Ebene, auf der alle 60 s die aktuelle Phasenfolge beeinflusst wird, und
- die operative Ebene, auf der sekündlich die Reaktion auf einzelne Fahrzeuge und Ereignisse an allen Knotenpunkten erfolgt.

Der Funktionsablauf ist schematisch in Abbildung 3.28 dargestellt. Entsprechend dem Grundsatz, dass die Steuerungsentscheidungen dort getroffen werden, wo dies verkehrstechnisch am geeignetsten ist, besteht hinsichtlich der technischen und funktionalen Systemarchitektur eine konsequente Trennung in einen zentralen Bereich (Steuerungszentrale/Verkehrsrechner) und die lokale Steuerungsebene (Knotenpunktsteuergeräte). Die inhaltliche Verknüpfung zwischen beiden Bereichen erfolgt auch hier durch Übertragung von Rahmensignalplänen (siehe auch Kap. D 3.4.). Auf

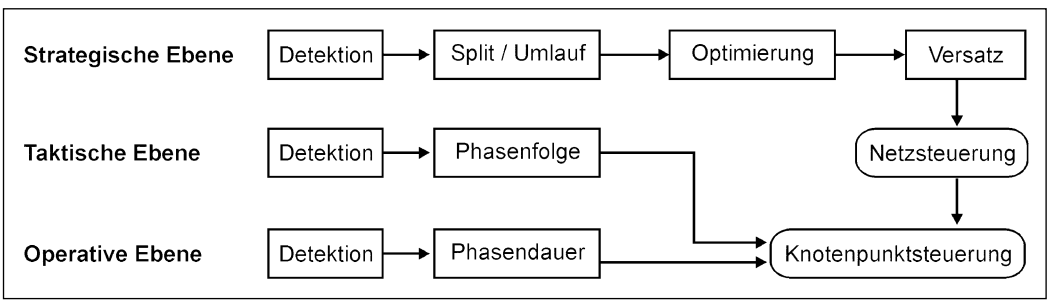


Abb. 3.28 Prinzipieller Ablauf von MOTION. (Busch u. Kruse, 1993)

der operativen Ebene bietet MOTION kein adaptives Steuerungsverfahren an, sondern lässt den Einsatz geeigneter logikbasierter Mikrosteuerungsverfahren zu. Im Rahmen der Netz-Optimierung werden die Steuerungsparameter Umlaufzeit, Freigabezeitaufteilung („Split"), Versatzzeiten und Phasenfolge beeinflusst. Im Verkehrsmodell werden aus zentral verarbeiteten Daten die wichtigsten Verkehrsbeziehungen im Netz berechnet und auf Routen umgelegt; die Verkehrsbeziehungen an den Knotenpunkten werden mithilfe eines Matrix-Schätzverfahrens ermittelt. Die Optimallösung wird durch die Bewertung verschiedener Kombinationen von Steuerungslösungen iterativ bestimmt, wobei ein Bewertungsindex verwendet wird, welcher auf einer gewichteten Verknüpfung von Reisezeiten und Halten beruht.

Beim Steuerungsverfahren BALANCE (siehe Abb. 3.29) wird als strategische Ebene eine von der eigentlichen Steuerung abgesetzte Verkehrsmanagementebene verstanden, über deren Schnittstelle zu BALANCE längerfristig geltende, übergeordnete Zielvorgaben für die Beeinflussung der Steuerung eingebracht werden. Die reaktive adaptive Netzsteuerung („Macro BALANCE") ist hier der taktischen Ebene zugeordnet. Auf der lokalen Ebene („Micro BALANCE") erfolgt die Anpassung der Steuerung an kurzfristige stochastische Ereignisse. Die taktischen Steuerungsverfahren detektieren die Verkehrsnachfrage in ihrem Umfeld und wählen im Fall „ohne strategische Beeinflussung" die der Situation am besten angepassten Maßnahmen aus. Die strategische Ebene kommt z.B. dann zum Tragen, wenn

- aus bestimmten Gründen nicht nach der Verkehrsnachfrage optimiert werden soll,
- vorbeugende Eingriffe in Erwartung ungewöhnlicher Umstände erforderlich werden, oder
- wenn Einschränkungen des Verkehrsangebots berücksichtigt werden müssen.

Ähnlich dem Verfahren MOTION werden bei

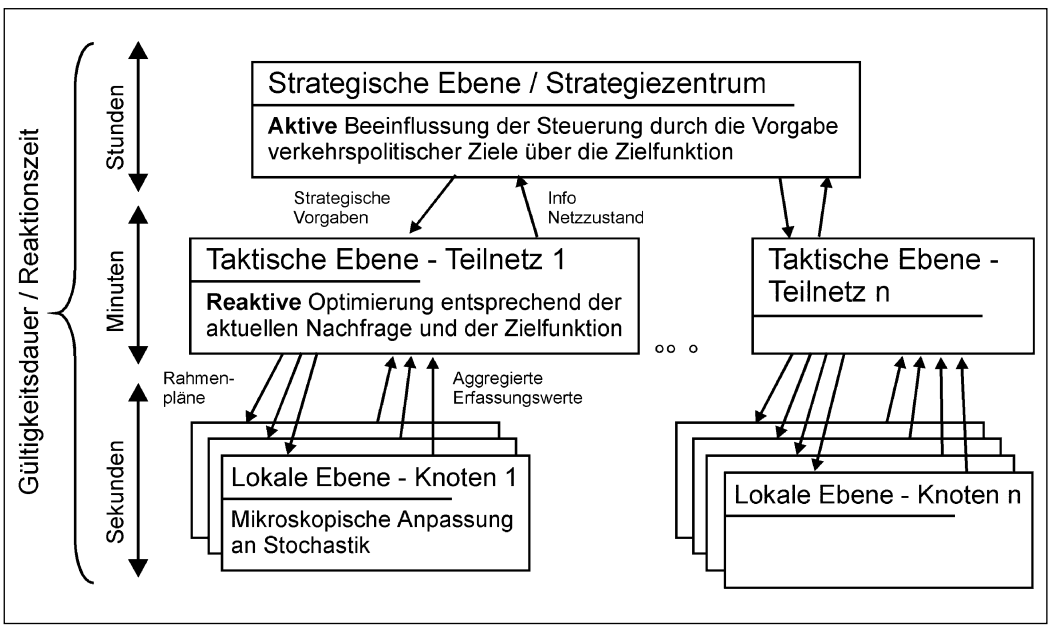


Abb. 3.29 Struktur des Verfahrens BALANCE. (Friedrich, 2000)

der Verkehrsmodellierung die lokal erfassten Messwerte zu Mittelwerten für geeignete Intervalllängen aggregiert. Die Berechnung der Verkehrsbeziehungen erfolgt für alle Knotenpunkte mithilfe eines Schätzverfahrens; auf der Netzebene werden die dynamisch ermittelten Knotenströme für die Berechnung der Verkehrsbeziehungen und der Routenverläufe genutzt. Die Wirkungsanalyse wird signalgruppenbezogen unter Verwendung zeitdiskreter Verfahren der Warteschlangentheorie durchgeführt.

Wie bei MOTION werden Rahmensignalpläne generiert und an die lokale Ebene übertragen, welche zuvor in einem iterativen Kreislauf unter Zugrundlegung der in der Zielfunktion festgelegten Bewertungskriterien durch Variation der Parameter

– Netzumlaufzeit,
– Versatzzeiten und
– Freigabezeiten an den Knotenpunkten

optimiert wurden. Die Rahmenpläne enthalten Spielräume für mikroskopische Anpassungen; auch BALANCE ermöglicht dabei den Einsatz beliebiger logikbasierter Steuerungsverfahren auf der lokalen Ebene.

Im Unterschied zu MOTION wird in „Steuerung von Lichtsignalen, BALANCE – ein neuer Ansatz“ (Friedrich, 2000) jedoch auch ein Ansatz für die adaptive Knotenpunktsteuerung (MicroBALANCE) beschrieben. Dieser verwendet ein einfaches Verkehrsmodell zur sekündlichen Berechnung der Länge der Warteschlangen und Wartezeiten. Die Prognose erfolgt auf der Basis gemessener und modellgenerierter Daten über einen „gleitenden Horizont“.

In „Modellbasierte multimodale LSA-Steuerung in Echtzeit“ weisen Mertz und Weichenmeier (2002) darauf hin, dass die bisher verfügbaren adaptiven Verfahren keine Vorteile für den ÖPNV bieten, da die für die ÖPNV-Bevorrechtigung notwendigen kurzen Reaktionszeiten nicht gewährleistet werden, und beschreiben einen Ansatz für die Einbeziehung des öffentlichen Personennahverkehrs in ein modellgestütztes Steuerungsverfahren im Sinne einer „multimodalen“ Steuerung. Um ein Anforderungsprofil entsprechend dem MIV-Modell zu erhalten und eine gemeinsame Optimierung beider Verkehrsarten durchführen zu können, wird für das Eintreffen eines ÖPNV-Fahrzeuges nach Anmeldung, ähnlich der von Brenner (1980) beschriebenen Vorgehensweise, eine Wahrscheinlichkeitsfunktion verwendet und online kontinuierlich aktualisiert.

Die Bewertung der Steuerungsalternativen erfolgt unter Verwendung einer Zielfunktion (Performance Index). Wegen des hohen Rechenaufwands kann eine integrierte Optimierung der Kenngrößen Phasenfolge, Split- und Versatzzeiten in Echtzeit allerdings nicht realisiert werden, so dass die Erzeugung „möglichst guter“ Lösungen in einem 2-stufigen Optimierungsverfahren erfolgt. Das Steuerungsverfahren wurde in einem ersten Feldversuch erprobt.

3.5 Sonderformen der Lichtsignalsteuerung

3.5.1 Nicht vollständige Signalisierung an Knotenpunkten

Zurzeit existieren keine Richtlinienfestlegungen für die Anwendung nicht vollständiger Signalisierungen an Kreuzungen und Einmündungen. Die bisherigen praktischen Erfahrungen deuten zwar darauf hin, dass die mit dieser Maßnahme verfolgten Ziele weitestgehend ohne Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit erreicht werden konnten, sie reichen bislang jedoch nicht aus, um verbindliche Empfehlungen zu formulieren.

Der hauptsächliche Einsatzfall für eine nicht vollständige Signalisierung sind ungesteuerte Knotenpunkte, an welchen vereinzelt lange Wartezeiten für einbiegende oder kreuzende Kraftfahrzeugströme entstehen oder an welchen Busse in den untergeordneten Richtungen bei geringer Fahrtenhäufigkeit zeitverlustfrei bedient werden sollen (sog. „Lückenampeln“).

In diesen Fällen können Haupt- und Nebenrichtungen mit zweifeldigen Signalgebern und der Signalfolge DUNKEL-GELB-ROT-DUNKEL signalisiert werden. Der Verkehr in den Hauptrichtungen wird beispielsweise nur bei Anforderung eines ÖPNV-Fahrzeugs oder bei Überschreitung eines Wartezeit- oder Staulängengrenzwerts in den Nebenrichtungen gesperrt.

Die Bedenken bei einer nicht vollständigen Signalisierung beziehen sich unter anderem darauf, dass einbiegende oder kreuzende Fahrzeuge nach Ende der Sperrzeit die Vorfahrt des wieder anfahrenden Kraftfahrzeugverkehrs der Hauptrichtungen nicht eindeutig wahrnehmen können. Um dies zu vermeiden, sollten die Haltelinien in den übergeordneten Richtungen in einem ausreichend großen Abstand vom Knotenpunkt angeordnet werden. Darüber hinaus ist die Sicherheit des Fußgänger- und Radverkehrs auch bei unvollständiger Signalisierung zu gewährleisten.

3.5.2 Lichtsignalsteuerung an Kreisverkehrsplätzen

Das Erfordernis für einen Einsatz von Lichtsignalanlagen stellt sich vor allem an bestehenden, großen Kreisverkehrsplätzen mit dem Ziel der Verbesserung ihrer Leistungsfähigkeit. Während vor allem in Großbritannien hierzu umfangreiche Veröffentlichungen vorliegen, existieren in Deutschland zum Einsatz von Lichtsignalanlagen an Kreisverkehrsplätzen weder Richtlinienempfehlungen noch sind ausreichende Erfahrungsberichte verfügbar.

In „Kreisverkehrsplätze mit Lichtsignalanlagen“ fasst Brilon (1995) die wichtigsten Entwurfsprinzipien zusammen. Dabei wird davon ausgegangen, dass Lichtsignalanlagen an stark belasteten Kreisverkehrsplätzen mit folgenden Merkmalen zum Einsatz kommen:

- Im Kreis sind mindestens zwei Fahrstreifen vorhanden, so dass der Kreisdurchmesser ca. 40 bis 50 m beträgt.
- Die Breite der Kreisfahrbahn beträgt 3,50 bis 3,75 m je Fahrstreifen. Bei höherem Schwerverkehrsanteil kommt eine Spurverbreiterung bis 4,00 m in Betracht; überbreite Fahrstreifen werden jedoch negativ beurteilt.
- An allen Einfahrquerschnitten und auf der Kreisfahrbahn oberhalb jeder Zufahrt werden Lichtsignalanlagen angeordnet.
- In den Knotenpunktarmen sind Trenninseln zwischen den Zu- und Ausfahrten vorhanden.
- Durch eine geeignete Wegweisung können unbeabsichtigte Spurwechsel im Kreis weitgehend ausgeschlossen werden .

Bei mehrstreifigen Kreisverkehrsplätzen können Radfahrer aus Sicherheitsgründen auf der Kreisfahrbahn nicht zugelassen werden. Vielmehr müssen, soweit planfreie Lösungen nicht realisierbar sind, separate Radwege angelegt werden, die getrennt von der Fahrbahn um die Anlage führen und die Knotenpunktarme neben den Fußgängerfurten kreuzen.

Unter diesen Voraussetzungen wird ein flüssiger Verkehrsablauf bei hoher Leistungsfähigkeit unter Beachtung folgender *Entwurfsprinzipien* erreicht:

- Zur Vermeidung von Überlastungen im Kreis sollen die Grünzeiten in den Zufahrten für einen Sättigungsgrad von 80 bis 85 Prozent, im Kreis für höchstens 80 Prozent bemessen werden.

- Die einzelnen Zufahrten sollen im Uhrzeigersinn nacheinander freigegeben werden. Dabei soll der Verkehr auf der Kreisfahrbahn von jeder Einfahrt aus möglichst weitgehend koordiniert werden. Dies ist bei vierarmigem Knotenpunkt im Allgemeinen bis in die jeweils gegenüberliegende Ausfahrt möglich. Bei mehr als vier Knotenpunktarmen ist dieses Prinzip allerdings meist nur bei geringer Auslastung realisierbar.
- Fußgänger- und Radverkehrsfurten können die Steuerung erheblich erschweren, da eine Koordinierung über beide Furten (insbesondere bei Radverkehr in der zugelassenen Fahrtrichtung) unverzichtbar ist. In der Regel muss die bestmögliche Lösung durch Untersuchung alternativer Signalprogramme mit unterschiedlichen Umlaufzeiten gefunden werden.
- Es soll eine möglichst kurze Umlaufzeit geschaltet werden.
- Von den Ausfahrten her darf sich kein Rückstau in den Kreisverkehr bilden.
- Für die maßgebenden Verkehrszustän- de des Tages sind auf diese angepasste Festzeitsignalprogramme zu entwickeln und durch eine zeit- oder verkehrsabhän-gige Signalprogrammauswahl einzusetzen.
- Eine verkehrsabhängige mikroskopische Steuerung von Kreisverkehrsplätzen wird in Brilon (1995) dagegen als nicht sinnvoll erachtet. Die Möglichkeiten für eine Bevorrechtigung des ÖPNV sind dadurch zwangsläufig eingeschränkt.
- In Spitzenstunden des Verkehrsaufkommens soll die Koordinierungsgeschwindigkeit zwischen den Einfahrtsignalen und dem folgenden Signal im Kreis so niedrig angesetzt werden, dass die einfahrenden Fahrzeuge fast zum Halten kommen.

Für die Bestimmung der Umlaufzeit gilt nach Hallworth (1992):

$$G = t_U - \sum_{i=1}^{e} t_{Zi} + T_f \qquad (3.13)$$

mit G = Summe aller Grünzeiten an den Einfahrten [s]
t_U = Umlaufzeit [s]
t_{Zi} = Zwischenzeit an der Zufahrt; für den Übergang von Grünende der Zufahrt auf Grünbeginn im Kreis [s]
e = Anzahl der Zufahrten [-]
T_f = Fahrzeit für eine vollständige Rundumfahrt des Kreises [s]

Als optimale Umlaufzeit wird von Hallworth (1992)

$$\text{opt.}t_U = \begin{cases} 2T_F \text{ für dreiarmige Knoten} \\ T_F \text{ für vierarmige Knoten} \end{cases}$$

angegeben. Dieser Vorschlag kann zu extrem kurzen Umlaufzeiten führen, bei welchen die Mindestfreigabezeiten min t_F unter Umständen nicht eingehalten werden. Außerdem ist für jede Zufahrt sicherzustellen, dass die aus Leistungsfähigkeitsgründen erforderliche Freigabezeit gewährleistet ist. Für jede Zufahrt erhöht sich deshalb die erforderliche Umlaufzeit um:

$$\Delta t_U = Max \left\{ \frac{^{0}q_i}{y} \cdot t_U - \min t_{Fi} \right. \qquad (3.14)$$

mit y = 1500 für Begrenzung der Leistungsfähigkeit der Zufahrt auf $1{,}2 \cdot q$
= 1570 für Begrenzung auf $1{,}15 \cdot q_i$ [Fz/h]
q_i = Verkehrsbelastung der Zufahrt je Fahrstreifen [Fz/h]
min t_{Fi} = Mindestgrünzeit der Zufahrt; (im Allgemeinen 10 s) [s]

Nach jedem Berechnungsschritt gilt

$$t_U = \min t_U + \Delta t_U \qquad (3.15)$$

Für die Überprüfung des Verkehrsablaufs bietet sich das Verfahren der mikroskopischen Simulation des Verkehrsablaufs an.

3.5.3 Engstellensignalisierung

Lichtsignalanlagen an Engstellen (vgl. RiLSA (FGSV, 1992)) dienen der wechselseitigen Freigabe des Fahrzeugverkehrs in jeweils einer Richtung in einstreifigen Engstellen. An baustellenbedingten Engstellen werden hierfür meist transportable Lichtsignalanlagen eingesetzt.

Eine Signalisierung ist in der Regel bei Engstellen mit einer Länge von mehr als ca. 50 m oder einer Verkehrsbelastung von mehr als ca. 500 Kfz/h in beiden Richtungen notwendig; außerdem auch in Fällen, in denen die Engstelle nicht auf ganzer Länge zu übersehen ist. Die Zwischenzeit wird ohne Berücksichtigung einer Einfahrzeit berechnet:

$$t_Z = t_{\ddot{U}} + \frac{l_E}{V_r} \cdot 3{,}6 \qquad (3.16)$$

mit t_Z = Zwischenzeit [s]
$t_{\ddot{U}}$ = Überfahrzeit (= 4 s)
l_E = Räumweg (Abstand zwischen den Standorten des Signalgebers [m]
V_r = mittlere Räumgeschwindigkeit [km/h]
= 50 km/h bei zul. V = 60 km/h
= 40 km/h bei zul. V = 50 km/h
= 30 km/h bei zul. V = 40 km/h

Radfahrer sind nur dann zu berücksichtigen, wenn sich Kraftfahrzeuge und Radfahrer nicht sicher begegnen können. In diesem Fall gilt eine Räumgeschwindigkeit von V_r = 18 km/h.

Die Umlaufzeit ergibt sich zu:

$$t_U = t_{F1} + t_{Z1} + t_{F2} + t_{Z2} \quad [s] \qquad (3.17)$$

Bei verkehrsabhängiger Bemessung der Freigabezeiten müssen deren minimale und maximale Dauer vorgegeben werden. Bei begrenztem Stauraum gilt bei einer Aufstelllänge eines Fahrzeugs von 6 m für die Umlaufzeit:

$$t_U \leq \frac{600 \cdot L_A}{maßg\ q} \qquad (3.18)$$

mit L_A = Aufstellstrecke [m]
maßg q = Dimensionierungsverkehrsstärke [Kfz/h]

Die Ermittlung der günstigsten Umlaufzeit kann mit dem Diagramm in Abbildung 3.30 erfolgen. Ist die danach ermittelte Umlaufzeit größer als nach Gleichung 3.18, so ist die Engstelle hinsichtlich einer möglichen Verkürzung oder Umleitung des Verkehrs zu überprüfen.

Als Steuerungsverfahren kommen die Festzeitsteuerung oder Steuerungsverfahren mit verkehrsabhängiger Freigabezeitbemessung in Betracht; in verkehrsschwachen Zeiten auch eine Alles-Rot-/Sofort-Grün-Schaltung.

3.5.4 Fahrstreifensignalisierung

Im Unterschied zur Lichtsignalsteuerung an Knotenpunkten stellt die Fahrstreifensignalisierung eine betriebliche Maßnahme zur Beeinflussung des Verkehrsablaufs auf Strecken mit dem Ziel der Erhöhung der Leistungsfähigkeit durch eine variable, situationsabhängige Nutzung des vorhandenen Fahrstreifenangebots dar (*„Richtungswechselbetrieb“*). Sie

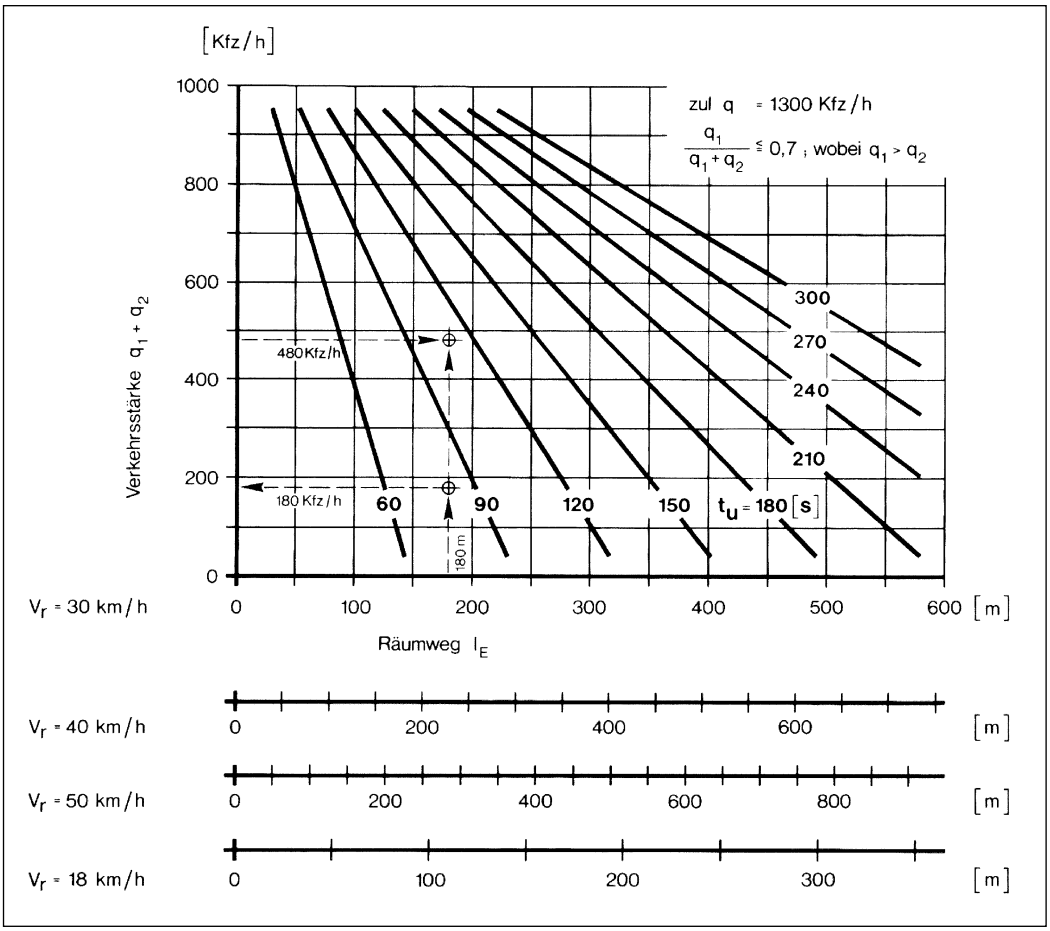


Abb. 3.30 Diagramm zur Ermittlung der günstigsten Umlaufzeit für eine Engstellensignalisierung. (FGSV, 1992)

wird zurzeit mit dieser Zielsetzung in Deutschland noch vergleichsweise selten eingesetzt, könnte in Zukunft im Rahmen eines umfassenden Verkehrsmanagements (siehe Kap. D 2) jedoch stärker an Bedeutung gewinnen. Fahrstreifensignale werden außerdem häufig zur Absicherung von Fahrstreifen bei Straßentunneln und Brücken verwendet.

Ein Richtungswechselbetrieb kommt insbesondere auf Radialstraßen in großstädtischen Verdichtungsräumen in Betracht, wenn z.B. während der Berufsverkehrszeiten regelmäßig stark ungleichmäßige Richtungsbelastungen auftreten und der Verkehrsablauf durch Zuteilung eines oder mehrerer zusätzlicher Fahrstreifen in der jeweils stärker belasteten Verkehrsrichtung spürbar verbessert werden kann. Auch bei Großveranstaltungen (Messen, u.Ä.) können richtungsbezogene Belastungsspitzen für die Einrichtung eines Richtungswechselbetriebs sprechen.

Für die Fahrstreifensignalisierung werden die in Abbildung 3.31 dargestellten Dauerlichtzeichen verwendet, wobei die Freigabe oder Sperrung von Fahrstreifen in Abhängigkeit von der Verkehrssituation im Verlauf

Abb. 3.31 Fahrstreifensignale. (FGSV, 1992)

eines Tages in größeren Zeitabständen erfolgt.

Da ein Richtungswechselbetrieb Restriktionen für den Ab- und Einbiegeverkehr zur Folge haben kann, sind bei der Planung i.Allg. Überlegungen zur Verkehrsführung in einem größeren räumlichen Zusammenhang anzustellen und die Knotenpunkte hinsichtlich Ausführung und Steuerung an die Anforderungen eines Richtungswechselbetriebs anzupassen. Die variable Aufteilung des Fahrbahnquerschnitts ist abhängig von der Anzahl der verfügbaren Fahrstreifen und den Verkehrsstärkerelationen. Nach den Richtlinien für Lichtsignalanlagen sollte das Verhältnis der Verkehrsstärken der durch die Fahrstreifensignalisierung zu beeinflussenden Verkehrsströme bei Querschnitten mit

3 Fahrstreifen mind. 2:1,
4 Fahrstreifen mind. 3:1, und
5 Fahrstreifen mind. 3:2

betragen.

Bei Einrichtung eines Richtungswechselbetriebs sind folgende generelle Gesichtspunkte zu beachten:

- Die Fahrstreifensignalisierung ist in der Regel zeitlich durchgehend zu betreiben.
- Die Strecke ist als Vorfahrtstraße auszuschildern.
- Auf Fahrstreifen mit Fahrstreifensignalen darf ruhender Verkehr nicht zugelassen werden.
- Verkehr von und zu anliegenden Grundstücken sollte gering sein.
- Behinderungen durch ein- und abbiegenden Verkehr muss weitgehend ausgeschlossen werden. Linksabbiegen sollte im Allgemeinen nur zugelassen werden, wenn den Linksabbiegern ein eigener Fahrstreifen zugeordnet werden kann. In den Hauptverkehrszeiten sollte Linksabbiegeverkehr unterbunden werden.
- Kreuzender und einbiegender Verkehr soll signalisiert werden.
- Fußgängerverkehr ist entweder signalisiert oder planfrei abzuwickeln.

Der Richtungswechselbetrieb eignet sich insbesondere für Strecken ohne bauliche Richtungstrennung. Soweit bauliche Richtungstrennungen vorhanden sind, müssen erforderliche Überleitungsstrecken entsprechend den fahrdynamischen Anforderungen ausgebildet werden. Strecken mit Straßenbahnen in Mittellage ohne besonderen Bahnkörper sind für den Richtungswechselbetrieb nicht geeignet.

Knotenpunkte lassen sich so lange gut in eine Fahrstreifensignalisierung integrieren, wie der Querschnitt der Strecke und die Richtungszuordnung der Fahrstreifen im Knotenpunktbereich unverändert beibehalten werden und die Übergänge von jedem Betriebszustand zum anderen sicher und leistungsfähig gestaltet werden können. Bei der Anordnung und Aufteilung der Fahrstreifen wird nach richtungsfesten und richtungsveränderlichen Fahrstreifen unterschieden, wobei letztere nicht mit Fahrtrichtungspfeilen markiert werden dürfen.

Hinsichtlich der Lage der Knotenpunkte im Verlauf der Strecke wird nach Anfangs-, End- und Zwischenknotenpunkten unterschieden.

An den *Endknotenpunkten* müssen entweder mindestens so viele Fahrstreifen aus der Strecke herausführen, wie maximal im letzten zurückliegenden Abschnitt in der entsprechen-

den Fahrtrichtung betrieben werden, oder es muss der Übergang in den verengten Querschnitt durch Fahrstreifensignale oder Verkehrslenkungstafeln geregelt werden. Die Folgestrecken müssen den Verkehr staufrei aufnehmen können.

An den *Anfangsknotenpunkten* sollte die Anzahl der in die Strecke hineinführenden Fahrstreifen nicht größer sein als die Anzahl der maximal in der Fahrtrichtung weitergeführten Fahrstreifen.

Die Gestaltung der *Zwischenknotenpunkte* hängt im Wesentlichen davon ab, ob auf Linksabbiegen verzichtet werden kann.

Die Anzeigequerschnitte sind so festzulegen, dass von jedem Punkt der Strecke aus der Betriebszustand eindeutig erkennbar ist. Auf gerader Strecke empfehlen die RiLSA einen Abstand von maximal 300 m zwischen Anzeigequerschnitten; in Tunneln, auf Brücken und in Überleitungsstrecken sind häufig kürzere Abstände zweckmäßig. Die ersten bzw. letzten Anzeigequerschnitte hinter bzw. vor dem Anfangs- bzw. Endknotenpunkt sind so festzulegen, dass der Betriebszustand möglichst früh erkennbar ist, andererseits jedoch eine Verwechslung mit den Knotenpunktsignalen vermieden wird. Als mittlerer Abstand kann eine Entfernung von ca. 70 m bis Knotenpunktmitte angesetzt werden; bei Zwischenknotenpunkten von ca. 50 m.

Standardlösungen für Steuerungsverfahren für den Richtungswechselbetrieb sind zurzeit nicht verfügbar. Die Wahl des Steuerungsverfahrens ist wesentlich vom zeitlichen Verlauf der Verkehrsbelastungen abhängig. Unterschieden werden kann nach zeitplanabhängiger Auswahl der Betriebszustände (insb. bei periodisch wiederkehrenden Verkehrssituationen), nach verkehrsabhängiger Auswahl und nach manueller Schaltung.

3.5.5 Rampenzuflusssteuerung

Erfahrungen insbesondere aus den USA lassen die Rampenzuflusssteuerung als einen wirksamen Ansatz für die Beeinflussung des Verkehrsablaufs an planfreien Anschlussstellen von Schnellstraßen und damit als eine interessante Komponente auch des städtischen Verkehrsmanagements erscheinen. Diese Sonderform der Lichtsignalsteuerung ist bislang nicht Bestandteil des geltenden technischen Regelwerks in Deutschland und widerspricht bestehenden gesetzlichen Regelungen, so dass ihre Realisierung in jedem Einzelfall eines besonderen Genehmigungsverfahrens bedarf.

Bei der Rampenzuflusssteuerung wird nach der Form der *Einzelfahrzeugsteuerung* und der *Pulksteuerung* unterschieden. Eine deutliche Verbesserung des Verkehrsflusses und der Verkehrssicherheit wird nach den bisherigen Erkenntnissen nur durch die Einzelfahrzeugsteuerung mit einer Einzelfahrzeugfreigabe erwartet. Die Steuerung erfolgt dabei durch Kraftfahrzeugsignale mit einer Mindestfreigabezeit von einer Sekunde und einer Mindestsperrzeit von zwei Sekunden, so dass eine begrenzte Zuflussrate entsteht. Als Einsatzkriterien gelten ein ausreichender Stauraum auf der Rampe, gute Sicht der einfahrenden Fahrzeuge auf den übergeordneten Verkehr, eine ausreichende Länge des Einfädelungsstreifens und geeignete Bedingungen im Übergangsbereich zum nachgeordneten Straßennetz, die unter Umständen eine Anpassung der Lichtsignalsteuerung an Knotenpunkten erfordern. Positive Wirkungen werden insbesondere erwartet bei einer Häufung von Unfällen beim Fahrstreifenwechsel und bei Störungen im Anschlussstellenbereich infolge pulkförmigen Zuflusses.

Literatur

Anderson, J.; Sayers, T.; Bell, M. (1998): The objectives of traffic signal control 39, Heft 3, S. 167-170

Bell, M.G.H.; Sayers, T.; Busch, F. (1996): Verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerung mit Fuzzy-Logik – ein modulares, praxisorientiertes Verfahren; Straßenverkehrstechnik 40, Heft 10, S. 485-489

Bielefeld, C.; Schmidt, M. (1987): Beurteilung verschiedener Ansätze zur Staubewältigung bei der Steuerung übersättigter Verkehrsflüsse in Straßennetzen; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 511

Brenner, M. (1980): Steuerung des Individualverkehrs und des öffentlichen Personenverkehrs unter Berücksichtigung der Gesamtwartezeiten; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 281

Brenner, M. (1982): Planungshinweise und praktische Erfahrungen zur Integration des ÖPNV in die Lichtsignalsteuerung; Städtetag Heft 35

Brenner, M.; Ziegler, H.; Seeling, H.; Kopperschläger, D. (1997): Sicherheitsrisiken an Lichtsignalanlagen, Untersuchungen zu Sicherheitsrisiken an LSA durch den zeit- und/oder verkehrsabhängigen Einsatz von mehr als einem Steuerungsverfahren; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 44

Brenner, M.; Genz, H.; Krause, S. (1999): Standardisierung und Modularisierung verkehrstechnischer Grundprobleme in der Lichtsignalsteuerung; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 769

Brilon, W. (1995): Kreisverkehrsplätze mit Lichtsignalanlagen; Straßenverkehrstechnik 39, Heft 8, S. 363-372

Busch, F.; Kruse, G. (1993): MOTION – Ein neues Verfahren für die städtische Lichtsignalsteuerung und seine Erprobung im Rahmen des EG-Programms ATT; Heureka `93 – Optimierung in Verkehr und Transport

Busch, F.; Keller, H. (1997): Lichtsignalsteuerung als integrale Komponente des Verkehrsmanagements; Straßenverkehrstechnik 41, Heft 2, S. 63-69

Dürr, P. (2002): Evolution adaptiver Steuerungsverfahren für den städtischen Mischverkehr; Straßenverkehrstechnik 46, Heft 4, S. 188-195

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), Köln:
- FGSV (1991): Merkblatt über Detektoren für den Straßenverkehr
- FGSV (1992): Richtlinie für Lichtsignalanlagen (RiLSA)
- FGSV (1993): Hinweise zur Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung
- FGSV (1997): Technische Lieferbedingungen für transportable Lichtsignalanlagen (TL Transportable Lichtsignalanlagen)
- FGSV (1998): Handbuch für die Bemessung von Straßen (HBS)
- FGSV (1999): Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen
- FGSV (2001a): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)
- FGSV (2001b): Hinweise zu Verkehrsrechnern als Bestandteil der innerörtlichen Lichtsignalsteuerung
- FGSV (2003): Richtlinien für Lichtsignalanlagen. Teilfortschreibung 2003

Friedrich, B. u. Fischer, N. (1992): Nahverkehrsbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nicht motorisierten Verkehrs, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V, Bergisch Gladbach

Friedrich, B. (1996): Methoden und Potenziale adaptiver Verfahren für die Lichtsignalsteuerung; Straßenverkehrstechnik 36, Heft 9, S. 431-442

Friedrich, B. (2000): Steuerung von Lichtsignalanlagen, BALANCE – ein neuer Ansatz; Straßenverkehrstechnik 40, Heft 7, S. 321-328

Hallworth, M.S. (1992): Signalling roundabouts – 1. Circular arguments; Traffic Engineering + Control 33, Heft 6, S. 354-363

Heinz, G. (1984): Untersuchungen zur Signalisierung städtischer Straßennetze unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Stauräume, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 419

Keller, H.; Friedrich, B.; Wulffins, H.; Mertz, J.; Wolters, W.; Schüler, T. (2002): Verkehrsadaptive Netzsteuerung von Lichtsignalanlagen; Straßenverkehrstechnik 46, Heft 7, S. 333-338

Krüger, J. (1986): Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen in Abhängigkeit von der Zahl der Phasen; Stra-

ßenverkehrstechnik 30, Heft 2, S. 59-64
Lapierre, R.; Steierwald G. (1988): Verkehrsleittechnik für den Straßenverkehr; Bände I und II; Springer-Verlag
Mertz, J.; Weichenmeier, F. (2002): Modellbasierte multimodale LSA-Steuerung in Echtzeit; Straßenverkehrstechnik 46, Heft 5, S. 245-250
Noll, B. (1990): Verkehrsabhängige Steuerung von Lichtsignalanlagen, Planungs- und Programmiermethodik zur vereinfachten Abwicklung; Straßenverkehrstechnik 34, Heft 5, S. 175-178
Quinn, D.Y. (1992): A review of queue management strategies, Traffic Engineering + Control 33, Heft 11, S. 600-605
Schnabel, W.; Lohse, D. (1997): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 1; Verlag für Bauwesen, Berlin
Schnüll, R. (1997): Beschleunigung von Nahverkehrsfahrzeugen; Der Nahverkehr 15, Heft 3, S. 35-45
Schuster, G. (1997): Grüne Wellen mit niedriger Progressionsgeschwindigkeit; Straßenverkehrstechnik 41, Heft 2, S. 70-77
Steierwald, G.; Boesefeldt, J.; Everts, K.; Kendel, W.; Schönharting, J. (1970): Untersuchungen zur verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerung; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 100
Welsh, P. (2001): Saturation flow at junctions – the variable design parameters; Traffic Engineering + Control 42, Heft 12, S. 381-385
Wu, N. (1992): Wartezeiten an festzeitgesteuerten Lichtsignalanlagen unter zeitlich veränderlichen (instationären) Verkehrsbedingungen; Straßenverkehrstechnik 36, Heft 3, S. 147-153
Zackor, H. (1991): Entwicklung eines Verfahrens zur adaptiven koordinierten Steuerung von Lichtsignalanlagen; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 607

4 Road Pricing in Städten

4.1 Idee und Geschichte des Road-Pricing-Konzepts

Viele Städte leiden unter dem Verkehrsstau mit seinen ökonomischen, umweltbezogenen und sozialen Folgen. Im ökonomischen Bereich sind es vor allem die Zeitverluste und zusätzlichen Betriebskosten, die negativ zu Buche schlagen. Je nach Schätzansatz erhält man Größenordnungen zwischen 0,5 und 2 Prozent des Bruttoinlandsprodukts, die durch ineffiziente Verwendung der Zeit und erhöhte Betriebskosten der Fahrzeuge jährlich verloren gehen[1]. INFRAS und IWW (2000) zeigen, dass die untere Marke der Schätzungen einen höheren Grad an Verlässlichkeit aufweist. Allerdings muss man berücksichtigen, dass die Schätzansätze aus Mangel an geeigneten Daten nicht die Pufferzeiten mit einschließen, welche im Berufs-, Geschäfts- und Wirtschaftsverkehr einkalkuliert werden müssen, damit Termine eingehalten werden können. Es ist offensichtlich, dass eine Ausweitung solcher Pufferzeiten die Produktivität von Arbeit und Kapital herabsetzt.

Die Ausweitung von Verkehrsstaus gibt auf der einen Seite Anlass, eine Erweiterung der Straßeninfrastruktur zu fordern, um mit Hilfe von mehr Kapazitätsangebot die Reisegeschwindigkeiten zu erhöhen und die Verkehrsabläufe zu stabilisieren. Allerdings steht außer Frage, dass eine Erhöhung der Straßenkapazitäten bis zum Zustand der Staufreiheit zu einer gigantischen Überinvestition führen würde. Denn es müssten Straßenflächen für die Aufnahme der Spitzenverkehre geschaffen werden, die außerhalb der Spitzenzeiten unausgelastet wären. Ein privater Anbieter käme nicht auf die Idee, einen solchen Idealzustand für die Nachfrager zu schaffen, es sei denn, die Spitzennachfrage wäre bereit, die Kosten der Spitzenkapazität zu tragen.

Auch in der volkswirtschaftlichen Betrachtung ist eine vollkommen staufreie Situation auf den Straßen nicht wohlfahrtsoptimal. Vielmehr gilt es, ein Gleichgewicht in der Weise zu schaffen, dass die letzte Einheit des Kapazitätsangebots genauso viel kostet, wie die mit ihrem Einsatz vermiedenen Staukosten. In einem System, in dem jeder Verkehrsteilnehmer für sich optimiert, ist es nicht möglich, ein solches Gleichgewicht als Ergebnis eines selbsttätigen Automatismus zu erwarten. Denn wie bereits Pigou (1920) gezeigt hat, bewirken Interaktionen unter den Verkehrsteilnehmern externe Effekte, d. h. ein hinzutretender Verkehrsteilnehmer muss nicht die Kosten tragen, die er anderen durch seine Aktivität zufügt. Daher ist es erforderlich, dass der Staat eingreift, entweder mit Hilfe von Preiskorrekturen oder mit Hilfe einer Organisationsreform, welche die Straßenkapazitäten durch private Unternehmen vermarktet. Knight (1924) hat nachgewiesen, dass beide Lösungen zu dem gleichen Ergebnis führen, wenn sie optimal ausgelegt werden. In jedem Falle führen sie zu Road-Pricing-Systemen und somit zu einer Zuteilung knapper Verkehrsflächen auf Grundlage von Preisen.

Die Umwelt ist durch die Verkehrsstaus in mehrfacher Weise betroffen. Durch den Stop-and-go-Verkehr bewegen sich die Fahrzeuge in ungünstigen Betriebsbereichen und emittieren mehr Schadstoffe und eventuell auch Lärm gegenüber stabileren Verkehrszuständen. Eine Ausweitung des Infastrukturangebots kann zu einer Entlastung im Umweltbereich führen,

wenn die Fahrleistungen unverändert bleiben. Allerdings ist bekannt, dass mit einer Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur auch Anreize zu mehr oder weiteren Fahrten einhergehen, so dass die Umwelteffekte einer Kapazitätsausweitung auch negativ ausfallen können. Road Pricing führt dagegen zu zwei Effekten: Sparsamere Nutzung der Straßeninfrastruktur und Anpassung des Straßenangebots an die – in der Regel verminderte – Nachfrage. Beides führt zu Entlastungen der Umwelt – es sei denn, es käme zu kontraproduktiven Ausweichreaktionen.

Die sozialen Aspekte des Staus liegen erstens in der Überrepräsentanz sozial schwacher Schichten bei den Betroffenheiten. Während besser gestellte Familien aus verlärmten und hohen Abgaskonzentrationen ausgesetzten Stadtvierteln ausweichen und Standorte in den grünen Speckgürteln der Städte suchen, haben die sozial schwachen Schichten weniger Möglichkeiten, den Unannehmlichkeiten des Verkehrs aus dem Wege zu gehen. Ein zweiter Aspekt betrifft die Betroffenheit durch Road Pricing. Intuitiv wird vermutet, dass Road Pricing die Ärmeren stärker trifft als die Reicheren, weil erstere über weniger Geld verfügen. Untersuchungen von Small (1992) haben aber gezeigt, dass dies keineswegs schlüssig ist. Denn die ärmeren Familien haben mehr Möglichkeiten, den Gebühren auszuweichen, indem sie bepreiste Straßen meiden, nicht zu vermeidende Fahrten auf Zeiten niedriger Gebühren verlagern, den öffentlichen Verkehr benutzen oder sich auf kurzen Distanzen nicht motorisiert bewegen. Die Pkw-Fahrleistungen steigen eindeutig mit wachsendem verfügbarem Einkommen der Haushalte, so dass konsequenterweise auch Haushalte mit höherem Einkommen mehr Mautgebühren entrichten.

Es sprechen somit alle Nachhaltigkeitsargumente dafür, Road Pricing auf den Straßen einzuführen. Allerdings gibt es auch Risiken, die abzuwägen sind. Zum Beispiel können bei partiell angelegten Preissystemen (bestimmte Straßentypen, Zonen oder Fahrzeugkategorien) Ausweichreaktionen folgen, die im Extremfall sogar zu einer Verschlechterung gegenüber der Ausgangsposition führen können. Bei Einführung einer Autobahnmaut für Lkw ab 12 t Gesamtgewicht, wie in Deutschland vorgesehen, ist damit zu rechnen, dass ein Teil des Schwerverkehrs auf nachgeordnete Straßen ausweicht und Gütertransporte auf kleinere Lkw unter 12 t verlagert werden. Ein weiteres Problem ist die Akzeptanz durch die Betroffenen, vor allem bei Einführung eines Preissystems. Diese hängt nicht zuletzt davon ab, inwieweit die Einnahmen auch wieder für das Straßennetz oder zumindest für das Verkehrssystem verwendet werden.

Tabelle 4.1 präsentiert eine kurze Geschichte des Road Pricing ab 1960 (vgl. dazu auch: Deloitte Research, 2003; Rothengatter, 2003). Neben städtischen Preissystemen sind hier auch netzbezogene Mauten für Fernstraßen mit aufgeführt. Man kann erwarten, dass städtische und außerstädtische Mauten nicht unabhängig voneinander sind und daher künftig koordiniert werden müssen.

4.2 Grundlagen der Preisbildung

Die Theorie des Road Pricing beginnt mit einer Abhandlung von Pigou (1920) zum Problem der optimalen Nutzung von Straßenkapazitäten. Pigou zeigt am Beispiel von zwei verfügbaren Routen für eine Quelle-Ziel-Beziehung, dass die Benutzer sich nach den individuellen Durchschnittskosten richten und so nicht das gesellschaftliche Optimum erreichen, das ein Verhalten entsprechend der Grenzkosten bedingen würde. Die Differenz zwischen den beiden Maßstäben kommt durch

Tabelle 4.1 Kurzer Abriss der Geschichte des Road Pricing. (Eigene Darstellung)

Jahr	Gebiet	Ereignis
1964	UK	„Smeed-Report“ über die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten des Road Pricing
1965	Europ. Gemeinschaft	„Allais-Report“ über die Möglichkeiten der Preisbildung im Verkehr, Musteruntersuchung
1974	UK	Ankündigung des „Greater London Council“ von Zufahrtgebühren; später zurückgezogen.
1975	Singapur	Einführung des ersten zonenbasierten Gebührensytems
1986	Norwegen	Einführung eines „Toll-ring“-Gebührensystems in Bergen
1990	Norwegen, Italien	Elektronische Gebührenerhebung in Oslo und entlang der A1 Mailand-Florenz-Rom
1991	Norwegen, USA	Elektronische Gebührenerhebung in Trondheim; fahrspurbezogene elektronische Gebühren in Denver (E 470)
1992	Frankreich	Nach Ballung gestaffelte Gebühren entlang der A1 Paris-Nantes
1997	Kanada	Elektronische Gebühren entlang der ETR 407 bei Toronto
1998	USA, Italien, Singapore	Elektronische variable Gebühren entlang der I-15 in San Diego; Zufahrtsgebühren zur historischen Altsstadt von Rom für Nicht-Anlieger; elektronisches Gebührensystem in Singapore als Ersatz für Vignetten
2000	UK, Australien	Ankündigung einer Zufahrtgebühr in London durch LM Livingstone; Einführung von Gebühren für leichte und schwere Lkw in Melbourne City
2001	Schweiz, USA	Einführung von Gebühren für Lkw ab 3,5 t in der Schweiz; variable Gebühren für die Brückenbenutzung New York/New Jersey
2003	UK, Deutschland	Einführung eines zonenbasierten Preissystems in London; Ankündigung eines elektronischen Gebührensystems für Lkw ab 12 t auf deutschen Autobahnen, wegen technischer Schwierigkeiten verschoben.

Anmerkung: Die in vielen Ländern mit der Eröffnung neuer Autobahnen zum Zwecke der Finanzierung eingeführten starren Gebührensystene sind nicht aufgeführt (so in Frankreich, Spanien, Portugal, Italien, Ungarn, Österreich, sowie die Euro-Vignette in den Benelux-Ländern, Schweden, Dänemark und Deutschland)

die externen Effekte zustande, also dadurch, dass ein hinzutretender Verkehrsteilnehmer nicht die zusätzlichen Kosten trägt, die er anderen hinzufügt. Führt man eine Gebühr genau in Höhe dieser Differenz zwischen privaten Durchschnittskosten und sozialen Grenzkosten ein, so wird das gesellschaftliche Optimum wieder hergestellt. Später hat Wardrop (1952) den aufgrund individueller Optimierung entstehenden Verkehrszustand als Benutzeroptimum und den gesellschaftlich optimalen Zustand als Systemoptimum bezeichnet, wobei er als Kostengröße den Zeitwiderstand der Fahrt definierte. Der spätere Nobelpreisträger John Nash hat das Phänomen, das letztlich aus der sozialen Interaktion von Individuen entsteht, in allgemeiner Weise beschrieben und mit den Instrumenten der Spieltheorie analysiert. So wird der Zustand, in dem alle Akteure in einem System den aus eigener Kraft erreichbaren Vorteil maximieren, als Nash-Gleichgewicht bezeichnet, während der gesellschaftlich optimale Zustand, der eine kollektive Kooperationsbereitschaft voraussetzt, Pareto-Gleichgewicht genannt wird.

Auch nach über acht Jahrzehnten der wissenschaftlichen Analyse dieses Problemtyps gilt die Preissetzung zu Grenzkosten bzw. unter Einschluss aller externen Effekte zu sozialen Grenzkosten als „erstbeste Lösung“ für ein Preissystem. Die Europäische Kommission hat bereits Mitte der sechziger Jahre in der sog. Musteruntersuchung Paris - Le Havre (Europäische Kommission, 1969) und im Allais-Report (Europäische Kommission, 1965) verschiedene Preissysteme testen lassen. Zwar wollte man nicht vom allgemeinen Prinzip der Grenzkostenanlastung abrücken, doch kam es zu signifikanten Modifikationen der Grenzkosten, primär aus Gründen der Gesamtkostendeckung. Die Tatsache, dass die Preiserhebung zu Grenzkosten bei Verkehrsinfrastrukturen zu Defiziten führt, hat die Europäische Kommission veranlasst, bei ihren Preisempfehlungen im Jahr 1971 ein differenziertes System vorzuschlagen, das aus zwei Komponenten besteht: Einmal den Grenzkosten der Benutzung und zum Zweiten aus einem Aufschlag zur Gesamtkostendeckung.

In dem 1998 veröffentlichten Weißbuch für faire und effiziente Preise für die Benutzung von Verkehrsinfrastrukturen hat die EU-Kommission das Grenzkostenprinzip wieder entdeckt und empfiehlt dies den Mitgliedsländern zur Einführung in Form eines Drei-Stufen-Planes (Europäische Kommission, 1998). In späteren Veröffentlichungen und in Richtlinien (zum Beispiel der Richtlinie 2001/14 für den Eisenbahnverkehr) gestattet die Kommission Ausnahmen von der Grenzkostenanlastung in Form von Aufschlägen („mark-ups“) auf die Grenzkosten. Werden die Aufschläge nach dem Theorem von Ramsey/Boiteux bemessen, so richten sie sich nach der inversen Elastizität der Nachfrage auf den Preis. Dies bedeutet, dass die besonders preisunelastischen Gruppen die höchsten Aufschläge zu entrichten haben.

Die Richtlinien und Empfehlungen der EU-Kommission beziehen sich auf die Transeuropäischen Netze, wie dies im Revisionsentwurf zu der Richtlinie 1999/62 (zu Gebühren des Lkw-Verkehrs) deutlich gemacht worden ist. Aber die Kommission stellt den Mitgliedstaaten anheim, in Anwendung des Subsidiaritätsprinzips die Gebühren auf weitere Fahrzeugkategorien und weitere Netzteile, insbesondere die Straßennetze in Ballungsräumen, auszudehnen. Dabei wird implizit unterstellt, dass das für den Außerortsbereich empfohlene Prinzip der Gebührenerhebung auch im Innerortsbereich anwendbar ist. Da die Theorie des Road Pricing die Lösung von Problemen der Kapazitätsüberlastung in Ballungsräumen in den Mittelpunkt stellt, ist der Grundansatz der Kommission durchaus konsistent.

4.3 Hindernisse für die Einführung ökonomischer Wunschpreise

Der Wissenschaftliche Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (WB-BMVBW, 2000) hat die grenzkostenbasierte Preisbildung deutlich kritisiert. Er verweist auf das realitätsfremde Prämissensystem, das unter anderem die folgenden Bedingungen unterstellt:

- Verkehrsleistungen werden als homogene Güter angesehen, wobei von unterschiedlichen Transportqualitäten und Verkehrswertigkeiten alternativer Verkehrsinfrastrukturen abstrahiert wird.
- Die Verkehrsinfrastruktur ist optimal ausgebaut und wird bei wachsender Verkehrsnachfrage kontinuierlich nach der Regel erweitert, dass die Grenzkosten der Infrastrukturerweiterung den hierdurch eingesparten Grenzkosten der Infrastrukturnutzung entsprechen.
- Die Infrastrukturkapazität ist beliebig teilbar und kann in kleinen Schritten angepasst werden.
- Alle Grenzkostenbestandteile steigen mit wachsender Verkehrsbelastung oder bleiben zumindest konstant.
- Auf den übrigen Märkten werden die Preise gleichfalls nach den sozialen Grenzkosten gebildet. Negative Auswirkungen auf andere Bereiche (etwa: Flächennutzung, Siedlungsstruktur) sind ausgeschlossen.

Der einzige Versuch, ein grenzkostenbasiertes Preissystem im Verkehr einzuführen, wurde in Hongkong durchgeführt (vgl. Hau, 1992). Allerdings blieb es bei der Vorbereitung, so dass die Hauptkritikpunkte, nämlich die hohe Komplexität, geringe Transparenz und die wenig intuitive Preisdifferenzierung nicht empirisch getestet werden konnten.

Aufgrund der großen Realitätsferne der Grenzkostenpreise rücken zwei andere Systeme in den Vordergrund: Die mehrstufigen Tarife und die Vollkostenumlagen. Wird eine Deckung der Gesamtkosten verlangt und die Differenzierung von Grund- und Leistungsgebühren nach dem Prinzip der Selbsteinstufung („self-selection“) zugelassen, so lässt sich zeigen, dass mehrstufige Tarife so zusammengesetzt werden können, dass sie den einstufigen Tarifen überlegen sind, also eine höhere Wohlfahrt stiften (der Beweis stammt von Willig, 1978). Allerdings enthalten mehrstufige Tarife auch ein hohes Diskriminierungspotential, das monopolistische Anbieter anwenden können, um den Zutritt von Wettbewerbern zu verhindern. Dies gilt zum Beispiel für das Preissystem der DB AG von 1998, das so in mehrstufiger Weise konstruiert war, dass überwiegend DB-eigene Gesellschaften in den Genuss der Vorteile kamen.

Vollkostenumlagen finden vor allem dort Anwendung, wo die Fairness von Kostenzuteilungen eine große Rolle spielt. Sie werden zum Beispiel bei der Verteilung von Kosten der Flugsicherung auf die Luftfahrtgesellschaften angewendet, wie auch bei der Zurechnung von Durchleitungskosten in Stromnetzen. Sie bilden derzeit auch die Grundlage für die Preisbildung bei schweren Lkw auf Autobahnen.

Entsprechend der EU-Richtlinie 1999/62 gilt, dass die Durchschnittskosten der Infrastruktur (ohne externe Kosten) die Richtgröße darstellen, die durch Engpassaufschläge (bis zu 100 Prozent zwischen niedrigster und höchster Kategorie) und Umweltaufschläge (bis zu 50 Prozent zwischen bester und schlechtester Kategorie) variiert werden können. Die Gebührenrechnung für schwere Lkw auf deutschen Autobahnen basiert auf einer Umlage der pro-gnostizierten anteiligen Vollkosten (Prognos und IWW, 2002). Doll (2003) begründet und erweitert die vorgenommenen

Kostenverteilungen auf Basis spieltheoretischer Ansätze. Letztere haben den Vorteil, dass sie von einem klaren Axiomensystem ausgehen und somit nicht dem Vorwurf der Willkürlichkeit von Kostenzuweisungen ausgesetzt sind.

4.4 Pragmatische Lösungen und ihre Einbindung in die Stadtverkehrspolitik

Bei der praktischen Implementierung von Preissystemen für städtische Verkehrsnetze spielen mehrere Zielaspekte eine Rolle:

- Lenkung, Optimierung der Kapazitätsauslastung
- Finanzierung, Rückgewinnung eingesetzten Kapitals oder Querfinanzierung für den ÖPNV
- Institutionelle Neuordnung des Verkehrs mit anderen Organisationsformen
- Umweltentlastung für sensible oder besonders belastete Gebiete
- Kompatibilität mit der Entwicklungspolitik für Stadt und Region
- Akzeptanz durch die Benutzer
- Einfachheit und Zuverlässigkeit in der Anwendung.

Wie in der Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats (WB-BMVBW, 2000) ausgeführt wurde, gibt es kein Preissystem, das alle Anforderungen gleichzeitig erfüllen kann. Dies kann einerseits zu der Konsequenz führen, dass man Zielaspekte ausgliedert und mit anderen Instrumenten behandelt, die geeigneter erscheinen. Der Wissenschaftliche Beirat empfiehlt, insbesondere im Hinblick auf eine institutionelle Reorganisation im Straßenwesen, Umweltziele (allgemein: die Internalisierung externer Effekte) aus Gebührensystemen im Verkehr auszuklammern. Denn angestrebte privat/öffentliche Partnerschaften und Stärkung des privaten Managements im Verkehr setzen voraus, dass das Management seine Ziele weitgehend selbst setzen und mit privatwirtschaftlichen Instrumenten umsetzen kann. Dies ist bei externen Effekten – bis auf Effekte des Staus – nicht möglich, so dass hier die üblichen staatlichen Instrumente, wie Standardsetzung, Regulierung oder Besteuerung, eingesetzt werden sollten.

Sobald Finanzierungsziele im Vordergrund stehen, werden Lenkungs- und Umweltaspekte eine geringere Bedeutung haben und nur als Nebenzwecke verfolgt werden können. Dagegen sind Finanzierungsziele mit einer institutionellen Neuordnung gut vereinbar. Die Schaffung von selbstfinanzierenden Einheiten mit privatwirtschaftlichem Management ist bei Dominanz des Finanzierungszieles ebenso gut vorstellbar wie die Organisation des städtischen Straßenverkehrs analog zum ÖPNV. Wie im Falle von Verkehrsverbünden für den städtischen und regionalen öffentlichen Verkehr lassen sich auch im Straßenverkehr Verbundorganisationen entwickeln, über welche die Aufgabenträgerschaft und das Management der Verkehrsaufgaben klar getrennt werden. Dies könnte zu einer koordinierten Planung von individuellem und öffentlichem Verkehr in Städten ebenso beitragen wie zu einer fairen Behandlung beider Verkehrszweige.

Das Ziel der Kompatibilität mit der Entwicklungspolitik für Stadt und Region ist insofern bedeutsam, als kurzfristig wirksame Lenkpreise langfristige Nebeneffekte haben können, die durch Ausweichreaktionen der betroffenen Verkehrsteilnehmer ausgelöst werden. Es ist bekannt, dass die kurzfristigen Preiselastizitäten der Nachfrage geringer sind als die langfristigen (Goodwin et al., 2003). Dies ist dadurch begründet, dass ein Teil der Nutzer seine Verhaltensweisen erst langfristig

ändern kann. Zum Beispiel betrifft dies die Wahl des Wohnstandorts für den Berufspendler oder die Wahl des Geschäftsstandorts für den Händler. Auch der Wirtschaftsverkehr reagiert zum Teil mit Zeitverzögerung, weil logistische Bedingungen, wie Lieferrhythmen oder Verteilzentren, zeit- und kostenintensive Umstellungen erfordern.

Einfachheit, Zuverlässigkeit und Akzeptanz sind praktische Voraussetzungen, die in theoretischen Anforderungsprofilen selten genannt werden, aber den Erfolg von Road-Pricing-Systemen maßgeblich bestimmen. Während in der Theorie ein hochdifferenziertes und möglichst börsenähnliches Preissystem anzustreben ist, wird der Nutzer in praxi durch den erforderlichen Informationsaufwand und die Flexibilität der Anpassung überfordert. Ein System mit wenigen Preisstufen und einfachen Regeln für das Inkasso wird daher vielfach vorgezogen.

Besonders wichtig für die Akzeptanz eines neu einzuführenden Preissystems ist zusätzlich, dass der Nutzer über die Verwendung der Einnahmen aus der Bepreisung informiert wird. In der Regel ist die Akzeptanz dann hoch, wenn sich die Gebühren an den Kosten des Infrastrukturangebotes orientieren und für dessen Finanzierung verwendet werden. Dabei werden offenbar direkte Zweckbindungen derart, dass die Mittel wieder in den Bereich hineinfließen, aus dem sie entstanden sind, gegenüber Verwendungen für nicht leistungsverwandte Bereiche bevorzugt. Die Erfahrungen mit der Öko-Steuer und deren Verwendung für die Senkung der Lohnnebenkosten („doppelte Dividende“) haben gezeigt, dass hohe Zahlungswiderstände zu erwarten sind, wenn Zahlung und Mittelverwendung nicht in einem erkennbaren Zusammenhang stehen.

4.5 Weltweite Anwendungen

4.5.1 Einige Beispiele

4.5.1.1 M 1 in Ungarn und Warnow-Querung in Rostock

Der 43 km lange Autobahnabschnitt der M 1 zwischen Wien und Budapest galt zeitweise als Musterbeispiel für ein gelungenes Public-Private-Partnership-Projekt. Ein privater Konzessionär baute das noch fehlende Autobahnteilstück innerhalb von nur 2 Jahren und eröffnete den Betrieb im Januar 1996. Auch andere Autobahnabschnitte, so die M 3, M 5 und M 7 (siehe Abb. 4.1) wurden nach einem ähnlichen Modell ausgeschrieben. Dabei sollte der Staat nur etwa 5 Prozent der Baukosten übernehmen, allerdings mit der Folge sehr hoher Benutzungsgebühren, die zum Beispiel für Pkw bei rund 15 cts je km lagen. Der Schwerverkehr zahlte das 3,5-fache dieser Gebühr.

Allerdings lagen die Einnahmen rund 45 Prozent niedriger als kalkuliert, weil die Benutzer in unerwartet starker Weise auf das Umgebungsnetz auswichen. Insbesondere galt dies für die schweren Lkw, die an der Grenze zwischen Österreich und Ungarn eine Wartezeit von 6 bis 10 Stunden hatten und für die folglich die zusätzliche Fahrtzeit auf den Umgehungsrouten keine starken prozentualen Erhöhungen der Gesamtfahrtzeiten ausmachte. Im Jahr 1999 musste der private Konzessionär bereits den Konkurs anmelden. Seither hat der Staat in Ungarn wieder die volle Verantwortlichkeit für die Autobahnen übernommen und versucht, die Kosten mit Hilfe einer Vignetten-Gebühr umzulegen. Eine Ausnahme für dieses Staatsmodell muss noch für die M5 gemacht werden, für die ein Konzessionsvertrag unterzeichnet, aber nicht umgesetzt wurde und die Verhandlungen für eine Re-Verstaatlichung noch nicht abgeschlossen sind.

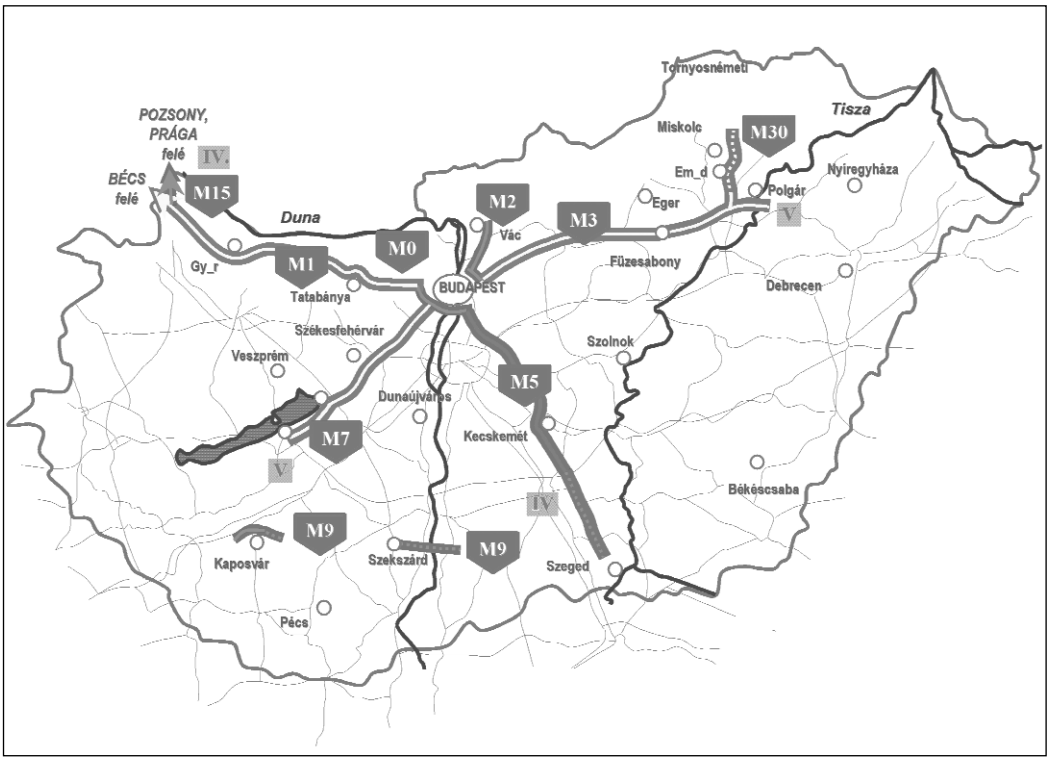


Abb. 4.1 Fernstraßen in Ungarn

Zur Entlastung der Innenstadt vom Durchgangsverkehr wurde in Rostock ein Tangentenkonzept mit einer nördlichen und südlichen Umfahrung entwickelt (siehe Abb. 4.2). Die nördliche Tangente schließt einen Straßentunnel zur Unterfahrung der Warnow ein, so dass auf Grund des hohen Aufwandes ein neues Finanzierungskonzept im Rahmen des Fernstraßenbauprivatfinanzierungsgesetzes entwickelt werden musste. Das Projekt wurde von einem Konsortium unter Federführung der französischen Firma Bouygues realisiert und am 12. September 2003 eröffnet. Die zunächst ohne Unterstellung von Gebühren durchgeführten Verkehrsprognosen kamen auf ca. 40.000 Fahrzeuge pro durchschnittlichen Werktag, mit Gebühren (2 Euro pro Pkw-Durchfahrt, 1,50 Euro im Abonnement) lag die Schätzung nur noch bei 25-30.000 Fahrzeugen. Die tatsächliche Verkehrsstärke liegt derzeit bei weniger als 50 Prozent der Prognose. Aufgrund des erwarteten Nachfrageausfalls bei einer Gebührenerhebung kam es zu schwierigen Nachverhandlungen, die mit einer öffentlichen Anschubfinanzierung im Umfang von etwa 20 Prozent der Investitionssumme endeten (EU-Zuschuss: 10 Prozent; Übernahme von Kosten für Anschlussknoten durch den Bund.)

Die beiden ausgewählten Projekte kennzeichnen die Probleme von projektbezogenen Finanzierungs-/Preis-Konzepten, wie sie die EU-Richtlinie und das o.g. Bundesgesetz für Brücken, Tunnel oder Gebirgspässe vorsehen. Das erwartete Verkehrsvolumen und damit die Erlöse aus der Maut sind hochgradig vom Ausweichverhalten der Nachfrager abhängig. Letzteres wird wiederum von der Qualität der Alternativen beeinflusst, die das öffentlich finanzierte Netz bietet. Damit können die Ver-

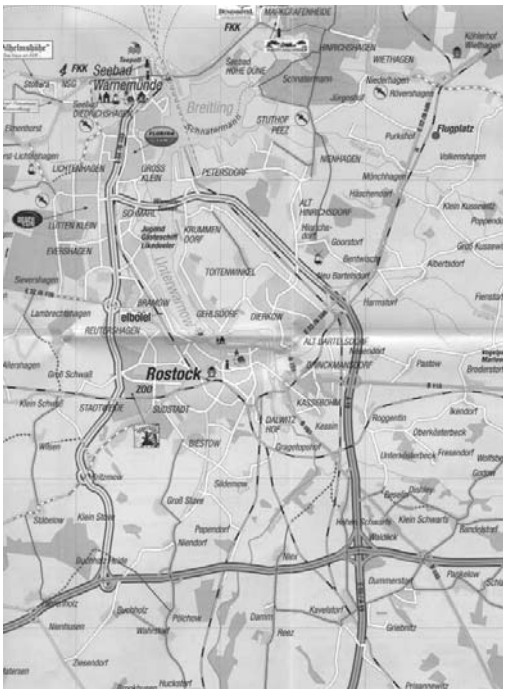


Abb. 4.2 Warnow-Querung

träge zwischen Staat und Konzessionären sehr kompliziert werden und hohe Transaktionskosten erfordern. In Großbritannien hat man versucht, dieses Problem durch Schattenmauten zu lösen, die der Staat anstelle der privaten Nutzer entrichtet, die ihrerseits primär über die Mineralölsteuer zur Refinanzierung herangezogen werden.

4.5.1.2. Singapur und London

Die Pionier-Lösung in Singapur, die im Jahr 1975 als „area licensing scheme" eingeführt wurde, bestand aus der Zahlung einer Zufahrtsgebühr zur Geschäftszone, die in Form einer Vignette bestätigt wurde (1 US-Dollar pro Tag). Im April 1998 wurde das manuelle System durch ein elektronisches System mit variablen Gebühren ersetzt. Tabelle 4.2 fasst die Eigenschaften und die Ergebnisse dieser flächenbezogenen Gebührenerhebung zusammen.

Das im Jahre 2003 in London eingeführte

Tabelle 4.2 Fakten und Ergebnisse zum Preissystem in Singapur. (Eigene Darstellung)

Design des Singapur-Preissystems	
Merkmale	
Preissystem	Fahrzeuge zahlen bei Einfahren in die Geschäftszone eine tageszeitabhängige Gebühr. Sehr hohe Spitzengebühr. Anpassung in relativ kurzen Zeitabständen (3-mal im Monat).
Zahlungsweise	On-board unit und Smart card. Die Karte muss vor der Fahrt aufgeladen sein.
Überwachung	Videokameras, Kennzeichenverfolgung.
Ergebnisse	
Durchschnittliche Geschwindigkeiten	Angestrebte Niveaus von min. 35 km/h auf Expressstraßen und 20 km/h auf Sammelstraßen erreicht.
Effekt auf die Nachfrage	Nach Übergang vom manuellen zum elektronischen System Nachfragerückgang im MIV um etwa 15 %.
Öffentlicher Verkehr	Etwa 65% der Pendler benutzen den ÖPNV, deutliche Steigerung nach Einführung der elektronischen Gebühr.
Geschäftstätigkeit	Keine Änderung der Geschäftsaktivitäten berichtet. Aber kaum Ausweichmöglichkeiten für die Geschäftswelt gegeben.

Preissystem sieht eine Zufahrtsgebühr in Höhe von 5 Pfund an Werktagen zwischen 7.00 und 18.30 Uhr vor. Etwa 200.000 Fahrzeuge fahren täglich in die 21 km^2 große Innenstadtzone ein (siehe Abb. 4.3). Gezahlt wird über verschiedene Medien wie Telefon, SMS, Internet-Zahlungsanweisung oder Automaten. Die Kontrolle geschieht über Video-Erfassung der Nummernschilder und Vergleich mit gespeicherten Einzahlungsdaten.

In Tabelle 4.3 sind einige Fakten und erste Ergebnisse zum Londoner Preissystem zusammengestellt.

Anders als in Singapur kann die Geschäftswelt in London teilweise auf die nicht bepreisten Stadtzonen ausweichen. Die vom London Chamber of Commerce und von der Business Association London durchgeführten Umfragen zu diesem Thema ergeben noch kein eindeutiges Bild. Daher ist es noch zu früh, eine Aussage zu den längerfristigen Auswirkungen auf die Stadtentwicklung zu wagen. Gleiches gilt für die Abschätzung des auf die nicht bepreisten Zonen verdrängten Verkehrs. In diesem Zusammenhang plant die Stadt London langfristig eine Ausweitung der Preiszonen und eine Staffelung der Preise nach dem Ballungsgrad.

Singapur und London gelten als Positivbeispiele für die Wirksamkeit von Preissystemen im Stadtverkehr. Die unerwartet hohe Akzeptanz des Gebührensystems in London wird vor allem auf folgende Eigenschaften zurückgeführt:

- Eindeutiger politischer Wille und erfolgreiche politische Überzeugungsarbeit.
- Preispolitik als Bestandteil einer Gesamtstrategie, insbesondere Zweckbindung der Einnahmen für die Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in der Stadt.

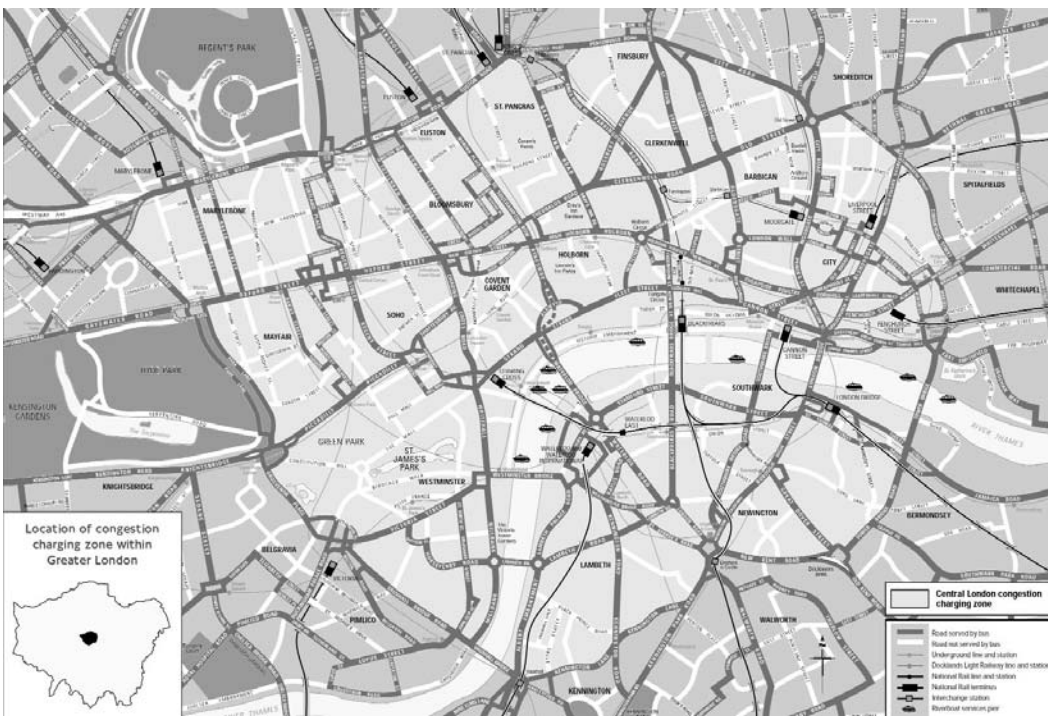


Abb. 4.3 Zonenpreissystem in London

Tabelle 4.3 Fakten und Ergebnisse zum Londoner Preissystem. (Eigene Darstellung)

Fakten und Ergebnisse zum Londoner Preissystem	
Durchschnittlliche Pkw-Geschwindigkeiten vor der Einführung	Unter 10 Meilen/h gesunken
Bürgermeinung	Über 90% der Bürger: „Zu viel Verkehr auf den Straßen im Großraum London“
Kosten der Einführung	Rund 100 Mill. Pfund
Ein- und Ausfahrten, Beschilderung	174 Ein-/Ausfahrten, „1000 signs“
Politische Strategien	
Straßenverkehr	Beschleunigung des MIV, Beschleunigung und mehr Verlässlichkeit im Busverkehr
Schienenverkehr	Verbesserung der U-Bahn; Neubau von Regionalbahnen; massive Quersubventionierung
Nicht-motorisierter Verkehr	Attraktivierung
Erste Ergebnisse	
Geschwindigkeiten, Straße	Erhöhung um 37 %
Stauerscheinungen	Verminderung um 40% während der bepreisten Tageszeiten
Verkehrsaufkommen im Zentrum	Verminderung um 16%
Reisezeiten im MIV	Verminderung um 13 %
Busbetrieb	Erhöhung der Geschwindigkeiten, Beschleunigung der Umläufe, Anpassung der Fahrpläne, Qualitätsverbesserung, z.B. Anschaffung von 300 neuen Bussen
Einnahmen	Aufgrund der hohen Wirksamkeit geringer als erwartet (um120 Mill. Pfund); daher Verzögerung der Ausbaupläne für den ÖPNV
Wirkung auf die Geschäftswelt	Gespaltenes Urteil; aus ersten Umfragen noch keine eindeutige Einschätzung möglich

– Konsultationsprozess mit dem Ziel der Festlegung von Ausnahmeregelungen und Sondergebühren für die Anlieger.

4.5.1.3 Lkw-Mauten in Europa

In der Schweiz wurde im Jahre 2001 eine Lkw-Maut auf allen Straßen eingeführt. Österreich plant die Einführung zu Beginn des Jahres 2004, Deutschland, sobald die technischen Probleme des Zahlungssystems behoben sind, und Großbritannien für das Jahr 2006 auf allen Straßen. Tabelle 4.4 zeigt Unterschiede und Gemeinsamkeiten:

Die in der Tabelle ausgewiesenen Mautsysteme beziehen sich auf Teilnetze (Autobahnen) oder gesamte Straßennetze. Während eine Beschränkung der Preissysteme auf Autobahnen zu merklichen Ausweichbewegungen der

Tabelle 4.4 Lkw-Mautsysteme in Europa. (Eigene Darstellung)

Land	Start	Lkw-Kategorie	Straßen	Typ	System
Österreich	2004	>= 3,5 t	Autobahnen	Pro km	Transponder
Schweiz	2001	>= 3,5 t	Alle Straßen	Pro km	Tachometer
Deutschland	2004	>= 12 t	Autobahnen	Pro km	GPS/GSM
UK	2006	>= 3,5 t	Alle Straßen	variabel	GPS/GSM

Nachfrage auf die nachgeordneten Netze führen kann, ist dies bei einer Einbeziehung aller Straßen nicht zu erwarten. Vor allem in Großbritannien wird ein System vorbereitet, das unterschiedliche Netzteile in unterschiedlicher Weise bepreist und somit die Lenkungswirkungen in die erwünschten Richtungen bewegen kann.

Vier Eigenschaften erscheinen bemerkenswert:

- Die für Einzelprojekte und flächenbezogenen Lösungen problematischen Ausweichbewegungen lassen sich bei netzbezogenen Systemen besser beherrschen.
- Die netzbezogenen Systeme sind aus Sicht der Betroffenen fairer.[2]
- Die netzbezogenen Lösungen lassen sich mit Konzessionsprojekten verknüpfen, ohne die Einheitlichkeit der Preise in Frage zu stellen.
- Netzbezogene Lösungen für die Fernstraßen können mit städtischen Lösungen (zonal oder netzbezogen) verbunden werden.

Selbstverständlich ist es denkbar, die Lkw-basierten Mautsysteme zu allgemeinen Mautsystemen zu erweitern. Hierzu wird entscheidend sein, inwieweit die technischen Probleme der elektronischen Mauterhebung in den nächsten Jahren gelöst werden können. Kämpfen die Hersteller des deutschen TollCollect-Systems für die Lkw-Maut heute noch ohne Erfolg mit der Komplexität des Problems der Gebührenerhebung für einige hunderttausend Lkw auf den deutschen Autobahnen, so kann man sich ausmalen, wie sich die Aufgabe im Falle von vielen Millionen Pkw stellen wird.

Das englische und das deutsche Mautsystem für Lkw bieten die Möglichkeit, städtische Preissysteme einzubeziehen und mit den Mauten auf den Fernstraßen zu verknüpfen. Sollten beide Systeme in den nächsten Jahren zunächst erfolgreich auf den Fernstraßen getestet sein, so liegt es nahe, städtische Netze (oder Zonen) in die Lkw-Bemautung einzubeziehen, um unerwünschte Ausweichreaktionen zu vermeiden. Dies kann der Ansatz zu einer späteren Ausdehnung auf weitere Fahrzeugkategorien sein, wenn die technischen Probleme gelöst sind und eine ausreichende Sicherheit in der Anwendung von GPS- bzw. ab 2008 Galileo-gestützten Zahlungssystemen gewährleistet werden kann.

4.6 Fazit: Chancen für die Einführung in Städten der Bundesrepublik

Wenngleich die Ballungsräume in Deutschland hohe Verkehrsbelastungen zu tragen haben, so sind die Verhältnisse noch weit von den Zuständen in London oder Singapur vor Einführung des Road Pricing entfernt. Insofern ist der Problemdruck geringer, der in London bekanntlich seine Spitze erreichte, als der Verkehr im Stadtkern auf das Geschwindig-

keitsniveau der Postkutsche abgefallen war. Ein Anstoß in Richtung auf die Einführung städtischer Road-Pricing-Systeme könnte in Deutschland auf die Einführung der Autobahnmaut für schwere Lkw folgen. In einigen Ballungsräumen ist mit spürbaren Verlagerungen von Lkw-Verkehren auf das nachgeordnete Netz zu rechnen. Dies ist dort der Fall, wo gut ausgebaute Bundesstraßen parallel zu den Autobahnen führen und dabei auch verdichtete Stadtbereiche durchqueren.

Für solche Fälle bietet die EU-Richtlinie 1999/62 – erweitert in ihrer Revisionsfassung – die Möglichkeit, auch Teile des Nicht-Autobahnnetzes in das Preissystem einzubeziehen. Verfolgt man die Kette der Ausweichbewegungen, so bleibt letztlich als konsequente Lösung die Verknüpfung des Preissystems für die überregionalen Netze mit städtischen – zonal oder netzförmig ausgelegten – Preissystemen. Dies kann mit der Lkw-Maut beginnen und entsprechend den technischen Möglichkeiten fortgesetzt werden.

Entscheidend sind jedoch, wie im Anschluss an das Londoner Beispiel angeführt, der klare politische Wille und die Einbettung in eine Gesamtstrategie. Da dies in der Regel nur in einer politischen Notlage entsteht und die Verkehrsverhältnisse allein diese Notlage nicht erzeugen werden, verbleibt die Aussicht auf andere Extremsituationen, welche den Mut zu politischen Kraftakten befördern. Besonders nahe liegend ist dabei der Gedanke, dass die finanzielle Lage der Städte bereits so bedrohlich ist, dass der notwendige Unterhalt des Verkehrsnetzes in den Städten nicht mehr aus Steuermitteln zu tragen ist. Darüber hinaus reduzieren Bund und Land ihre Zuwendungen, so dass die Finanznot die politischen Entscheidungsträger zwingt, ein neues Finanzierungsparadigma für die Verkehrsinfrastruktur zu avisieren, wie es die Pällmann-Kommission (2000) bereits gedanklich antizipiert hat.

Nur wenn der Druck der knappen Kassen stark genug ist, kann es dazu kommen, dass die Ausführungen von William S. Vickrey, Nobelpreisträger für Wirtschaftswissenschaften des Jahres 1996, gegenstandslos werden: „... in no other major area are pricing practices so irrational, so outdated, and so conducive to waste as in urban transportation.“[3]

Literatur

Deloitte-Research (2003): Combating Gridlock: How Pricing Road Use Can Ease Congestion. A Deloitte Research Public Sector Study. New York

Doll, C. (2003): Allokation gemeinsamer Kosten der Straßeninfrastruktur. Anwendbarkeit der Lösungskonzepte kooperativer Spiele in der Wegekostenrechnung. Diss. Univ. Karlsruhe

Europäische Kommission (1965): Possibilities of Pricing Policy in Transport (Allais-Report). Brüssel

Europäische Kommission (1969): Report on the Pilot Study Paris-LeHavre. Brüssel

Europäische Kommission (1971): Proposal for a Council Decisison on the Introduction of a Common System for Transport User Charges. Brüssel

Europäische Kommission (1998): White Paper on Fair Pricing for Transport Infrastructure Use. Brüssel

Hau, T. (1992): Economic Fundamentals of Road Pricing: A Diagrammatic Analysis. World Bank Research Working Paper Series. WPS 1070. The World Bank

Goodwin, P.; Dargay, J; Hanly, M. (2003): Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income: A Review. Transport Reviews, in press

INFRAS und IWW (2000): External Costs of Transport. Study for the UIC. Zürich and Karlsruhe

Knight, F. (1924): Some Fallacies in the Interpretation of Social Cost, Quarterly Journal of Economics, 37, 582-606

Pällmann-Kommission (2000): Bericht der Kommission zur Untersuchung alternativer Möglichkeiten der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung. Berlin

Pigou, A.C. (1920): The Economics of Welfare. London

Prognos AG und IWW (2002): Wegekostenrechnung für das Bundesfernstraßennetz. Studie für den Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Basel und Karlsruhe

Rothengatter, W. (2003): How Good is First Best? Marginal Cost and Other Pricing Principles for User Charging in Transport. Transport Policy. 10. S. 121-130

Small, K.A. (Hrsg.) (1992): (Guest Editor) Special Issue on Congestion Pricing. Transportation. 19.4

Wardrop, J.G. (1952): Some Theoretical Aspects of Road Traffic. Proceedings of the Institute of Civil Engineers. Part II. 1(2). S. 325-365

Willig, R. (1978): Pareto-superior Nonlinear Outlay Schedules. The Bell Journal of Economics. 9. S. 56-69

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (WB-BMVBW) (2000): Faire Preise für die Infrastrukturbenutzung. Ansätze für ein alternatives Konzept zum Weißbuch der Europäischen Kommission. Berlin

Fußnoten

1 In einem politischen Papier der BMW AG wird sogar ein jährlicher volkswirtschaftlicher Verlust in Höhe von 100 Mrd. Euro angegeben, was, bezogen auf das BIP im Jahr der Veröffentlichung eine Größenordnung von über 7 % ausmachen würde. Obwohl die dort vorgenommenen Schätzungen keinen Anspruch auf Wissenschaftlichkeit erheben, wird das Papier häufig zur Begründung der Forderung nach Erweiterung der Straßeninfrastruktur benutzt.

2 So wird mit Recht die Frage gestellt, warum Berufspendler in Rostock für die Querung der Warnow bezahlen müssen, die Hamburger Berufspendler aber nicht für die Querung der Elbe durch den Elbtunnel, der aus Steuermitteln finanziert wird, belastet werden.

3 Zitiert in: Deloitte Research, 2003

Teil E
Planungsrechtliche Verfahren

1 Planungsrechtliche Verfahren

1.1 Einführung, Schwerpunkte der Darstellung

Planungsrechtliche Verfahren betreffen ein zentrales Feld der Rechtsprobleme des Stadtverkehrs. Das Planungsrecht ist zwar die Rechtsgrundlage des Verkehrswegebaus, es regelt jedoch keineswegs alle damit verbundenen Rechtsfragen von der Enteignung zum Zwecke des Straßenbaus bis zur Preisgestaltung des öffentlichen Nahverkehrs.

Grundlagen der Stadtverkehrsplanung sind zunächst fachliche Fragestellungen und Erkenntnisse, die in „private" – besser: nichtstaatliche – Normierung eingehen können und dadurch einen abgestuften Grad der Verbindlichkeit erreichen wie die VDI- und DIN-„Normen". Um Rechtsnormen handelt es sich dabei nur bei entsprechender Einbindung. Ihr (nur) fachlicher Charakter wird zum Teil ausdrücklich durch die Bezeichnung als (bloße) Empfehlung hervorgehoben.[1] Solche Regelwerke können in dem Umfang rechtsverbindlich werden, in dem sie in Rechtsvorschriften übernommen oder in Bezug genommen werden. Sie können auch indirekt als abwägungsrelevante „anerkannte Regeln der Stadtbaukunst" für die Planung verbindlich werden, so wie es für die Projektrealisierung, „anerkannte Regeln der Baukunst" gibt.

Das Planungsrecht greift weit über diese fachliche Verknüpfung hinaus. So müssen die Einzelheiten des Verfahrens verbindlich geregelt werden, aus denen sich das Zusammenwirken der Institutionen von Bund, Ländern und Gemeinden ergibt. Auch wenn das Recht primär auf Konsens angelegt ist, so muss es doch auch und gerade Vorkehrungen für den Konfliktfall schaffen. Wenn Planungen gegenüber dem Bürger verbindlich werden sollen, muss Klarheit über seine Beteiligungs- und Abwehrmöglichkeiten bestehen.

Im Folgenden wird der Schwerpunkt auf eine vergleichende Darstellung der straßenrechtlichen Planfeststellung und der Bebauungsplanung von Straßen gelegt. Im Gegensatz zu überörtlichen Straßen werden Stadtstraßen – und von Stadtverkehr handelt dieser Sammelband – von den Kommunen wegen des Zusammenhangs mit der städtebaulichen Ordnung und der eigenen Verfahrenshoheit häufig in den Rechtsformen der Bebauungsplanung betrieben. In diesem Beitrag können nur rechtliche Grundlagen erläutert werden. Wegen weiterer Einzelheiten ist auf die umfangreiche Kommentarliteratur zu den zitierten Gesetzen zu verweisen. Auf Einzelnachweise – auch der einschlägigen Rechtsprechung – wurde weitgehend verzichtet, da sich der Beitrag primär an Nichtjuristen wendet und die Übersichtlichkeit der Grundlagendarstellung erhalten bleiben soll.[2] Ohnehin ist von laufenden Änderungen auch wichtiger Rechtsgrundlagen – häufig auf Grund europarechtlicher Richtlinien – auszugehen, so dass eine Detaildarstellung rasch veralten würde.[3] Das Manuskript dieses Beitrags wurde 2003 abgeschlossen.

Rechtsprobleme der Straßenbaulastträgerschaft werden nur gestreift, weil sie für den Stadtverkehr weniger relevant sind als für den überörtlichen Verkehr. Im Stadtverkehr sind zwar die Abgrenzungen der Ortsdurchfahrten der klassifizierten Straßen bedeutsam.

Es würde aber den Rahmen dieses Beitrags sprengen, die unterschiedlichen Rechtsverhältnisse der klassifizierten Straßen im Einzelnen darzustellen, also von Bundesfernstraßen (Autobahnen und Bundesstraßen), Landes- und

Kreisstraßen, z.B. die jeweiligen Anbaubeschränkungen. Innerhalb der (nicht klassifizierten) Gemeindestraßen sind wiederum die Gemeindeverbindungsstraßen hervorzuheben.

Die Straßenbaulast wirkt sich – wie schon der Name nahe legt – vor allem auf die Finanzierung des Baus und der Unterhaltung von Straßen aus. Bei Bundesstraßen ist der jeweils durch Gesetz festgestellte Ausbauplan maßgebend. In der Praxis werden auch Zwischenfinanzierungen der an einem früheren Ausbauzeitpunkt interessierten Gemeinden ausgehandelt. Auch wenn die Gemeinde die Straßenbaulast trägt – dies ist beim innerstädtischen Straßennetz der Normalfall – kommen Zuschüsse nach Maßgabe des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (GVFG[4]) auch für nicht klassifizierte „verkehrswichtige Zubringerstraßen zum überörtlichen Verkehrsnetz“ in Betracht. Einzelheiten ergeben sich aus den in den Bundesländern maßgebenden Zuschussrichtlinien. Auch wenn nach dem Beitritt der Länder der bisherigen DDR das Finanzierungssystem im Prinzip beibehalten blieb, war es unvermeidbar, dass die verfügbaren Mittel mit anderen Schwerpunkten verteilt werden müssen. Das GVFG wurde deshalb durch den Einigungsvertrag wesentlich umgestaltet.

Planfeststellungen nach dem Personenbeförderungsgesetz (PBefG[5]) werden nicht gesondert dargestellt, für sie gilt in gleicher Weise wie für diejenigen nach den Straßengesetzen, dass sie durch Bebauungspläne ersetzt werden können, wenn bestimmte verfahrensmäßige und inhaltliche Anforderungen erfüllt sind. Diese Ersetzungsmöglichkeit bezieht sich nur auf flächenrelevante Festsetzungen. Das PBefG bleibt die Rechtsgrundlage für den Betrieb der öffentlichen Nahverkehrssysteme, auch soweit diese nicht schienengebunden sind (Bus).

Planfeststellungen nach dem Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG[6]) haben zwar wegen der S-Bahnen einen Bezug zum Thema Stadtverkehr, müssen aber ebenfalls ausgeklammert werden. Das Bahnrecht hat als ältestes Fachplanungsrecht auch nach der Bahnneugliederung viele Besonderheiten – der Eisenbahnbau (und der Wasserstraßenbau) stehen am Anfang der modernen Verkehrswirtschaft, sie haben den Anstoß für das heutige Enteignungsrecht gegeben, ohne das die meisten Planungen Makulatur bleiben müssten. Das AEG enthält keine Ersetzungsvorschrift wie das Straßen- und Personenbeförderungsrecht, die den durch § 38 Baugesetzbuch (BauGB) begründeten Vorrang des Fachplanungsrechts unter bestimmten Voraussetzungen zugunsten der Bebauungsplanung wieder zurücknimmt.

1.2 Überblick über die Rechtsgrundlagen der Verkehrswegeplanung

Für die Stadtverkehrsplanung sind mit ergänzendem Nebenrecht maßgebend
- das Verkehrswegerecht,
- das Bauplanungsrecht,
- das Straßenverkehrsrecht.

Im Straßenrecht als Kernstück des Verkehrswegerechts (Bundesfernstraßengesetz FStrG[7] und Straßengesetze der Länder[8]) sind Planung, Bau, Unterhaltung und Nutzung der öffentlichen Straßen geregelt. Hinzu kommen neben dem schon erwähnten Personenbeförderungsrecht Sonderregelungen etwa für Seilbahnen. Die Planung wird durch einen Planfeststellungsbeschluss verbindlich. Dieser regelt rechtsgestaltend alle öffentlich-rechtlichen Beziehungen zwischen dem Träger des Vorhabens und den durch den Plan Betroffenen. Die gleichen Wirkungen können in einem vereinfachten Verfahren durch eine Plangenehmigung erreicht werden, wenn die Rechte anderer nicht

beeinträchtigt werden oder die Betroffenen einverstanden sind. Dieses neu eingeführte Instrument[9] hat sich in der Praxis bewährt

Nach dem Bauplanungsrecht (Baugesetzbuch = BauGB[10] mit Nebenrecht) richtet sich die Zulässigkeit der Bodennutzung sowie die Zuordnung der Flächen und dadurch auch der Stellenwert der Verkehrsflächen in der städtebaulichen Ordnung.

Das Straßenrecht und das Bauplanungsrecht überschneiden sich, als Planungsrecht betreffen beide die Planungshoheit der Gemeinden und das Zusammenwirken mit dem Staat. Planfeststellungsbeschlüsse können wie schon erwähnt nach Maßgabe des Fachplanungsrechts durch Bebauungspläne ersetzt werden. Örtliche Straßen, die keiner Planfeststellung bedürfen, finden im Bauplanungsrecht ohnehin eine ausreichende Rechtsgrundlage. Dies kann auch ohne Bebauungsplan direkt das BauGB sein. Wie sich aus § 125 BauGB ergibt, muss selbst bei erschließungsbeitragfähigen Verkehrsanlagen nicht unbedingt ein Bebauungsplan vorliegen, der den Ausbau ausdrücklich regelt.

Das Straßenverkehrsrecht (Straßenverkehrsgesetz StVG mit der darauf beruhenden Straßenverkehrsordnung StVO[11]) ist die Grundlage der Verkehrsregelung. Es handelt sich um Ordnungsrecht als Polizeirecht im materiellen (= inhaltlichen) Sinn, das im Vollzug staatlicher „Pflichtaufgaben nach Weisung“ zu beachten ist. Damit steht es im Gegensatz zu den weisungsfreien Selbstverwaltungsaufgaben der Gemeinde, als deren Kernstück die Planungshoheit zu nennen ist.

1.2.1 Die Widmung

Zwischen den planungs- und ordnungsrechtlichen Rechtsgrundlagen besteht eine wechselseitige Abhängigkeit. So müssen einerseits bei der Planung die ordnungsrechtlichen Sicherheitsanforderungen beachtet werden, andererseits kann der Verkehr nur im Rahmen der Vorgaben des Planungsrechts geordnet werden. Dass dies über die bloße Gefahrenabwehr hinausgreift, ist deutlicher geworden, seit das überkommene Begriffspaar „Sicherheit und Leichtigkeit“ des Verkehrs durch das der „Ordnung und Sicherheit“ ersetzt worden ist (§ 6 Abs. 1 Nr. 3 StVG).

Die Widmung ist die Nahtstelle zwischen Straßenrecht (eingebettet bzw. in Überschneidung mit dem Bauplanungsrecht) einerseits und Straßenverkehrsrecht andererseits. Durch die straßenrechtliche Widmung, die ihrerseits den Bebauungsplan oder den Planfeststellungsbeschluss vollzieht, wenn ein solcher vorliegt, werden Straßen zu „öffentlichen Sachen“. Es handelt sich um einen Verwaltungsakt, der den Gemeingebrauch eröffnet. Der Gemeingebrauch ist zwar vor allem durch Verkehrszwecke bestimmt, jedoch nicht ausschließlich. Sicherlich werden Straßen gebaut, um Verbindungen zu schaffen, also um Verkehr einschließlich des ruhenden Verkehrs zu ermöglichen. Vor allem Erschließungsstraßen dienen jedoch auch anderen Zwecken: Aufenthalt, Spiel, Kommunikation, Werbung u. a., nicht zuletzt prägen sie die Stadtgestalt. Wenn der Gemeingebrauch gewahrt bleibt, können Sondernutzungen zugelassen werden, insbesondere für gewerbliche Nutzungen.

1.2.2 Bauleitplanung und Fachplanung

Das Verhältnis von Bau(leit)planung und Fachplanung kann wie folgt zusammengefasst werden: Die Bauleitplanung (mit den Instrumenten Flächennutzungs- und Bebauungsplan) regelt die Bodennutzung im Geltungsbereich mit einem umfassenden Anspruch. Der Flächennutzungsplan stellt als Grundlage der zweistufigen Planung die Nutzung in ihren

Grundzügen für das ganze Gemeindegebiet dar, aus der dann für einen Teilbereich der Bebauungsplan zu entwickeln ist, der für alle flächenrelevanten Belange – die in § 1 BauGB aufgezählt werden – eine verbindliche Ordnung festsetzt. Die vom BauGB geforderte „städtebauliche Ordnung“ reicht als Bodennutzungsordnung weit über den in der Architektur an der Stadtgestalt orientierten Begriff des Städtebaus hinaus. Bauleitplanung ist deshalb eine „Querschnittsplanung“, die zumindest potenziell alle bodenrelevanten Fachplanungen durchdringt. Konsequenterweise sind nach § 7 BauGB Fachplanungsträger an einen Flächennutzungsplan gebunden, der unter ihrer Mitwirkung zustande gekommen ist, wenn sie ihm nicht förmlich widersprochen haben.

Es ist Vor- und Nachteil der Planfeststellung, dass sie durch Beschränkung auf einen Fachaspekt spezieller als die Bebauungsplanung sein kann. Nur durch Bebauungsplanung ist eine umfassende verbindliche Regelung auch der Umgebungsbezüge möglich, für die Gründe der Zweckmäßigkeit und solche der gerechten Abwägung sprechen können. Nur die Planfeststellung kann jedoch so detailliert sein, dass sie ohne weitere Ausführungsplanung realisiert werden kann. Daraus sind einerseits die prinzipielle Austauschbarkeit – die Ersetzungsmöglichkeit – abzuleiten, wie sie etwa § 17 Abs. 2 FStrG oder die (Landes)Straßengesetze vorsehen, z. B. § 37 Abs. 3 bad.-württ. StrG, andererseits der Vorrang der überörtlichen Fachplanung nach § 38 BauGB, falls diese als speziellere Regelung gewählt wird. Voraussetzung der Ersetzung durch einen Bebauungsplan sind formell ein Abstimmungsvorgang der Beteiligung des Trägers der Fachplanung und materiell (= inhaltlich) die Abgestimmtheit der Planung durch Beachtung des Abwägungsgebots. Eine Folge der prinzipiellen Ersetzungsmöglichkeit ist auch die Möglichkeit, beide Verfahrensarten zu kombinieren. Dies kann aufeinanderfolgend geschehen: Dass ein Bebauungsplan durch einen Planfeststellungsbeschluss oder eine Plangenehmigung geändert werden kann, ist bereits eine Folge von dessen Konzentrationswirkung (§ 75 VwVfG) – im umgekehrten Fall ergibt sich dies daraus, dass ein früherer Planfeststellungsbeschluss durch einen späteren geändert und dieser wiederum durch einen Bebauungsplan ersetzt werden kann.[12] Es ist jedoch genauso möglich, beide Verfahren parallel zu kombinieren: so kann es z.B. zweckmäßig sein, den räumlich umfassenderen Bebauungsplan durch eine Regelung von Zwischenzuständen (Baustufen) mit einer nur vorübergehend erforderlichen Inanspruchnahme privater Grundstücke zu ergänzen. Dies ist bisher nur durch Planfeststellung möglich, da der Bebauungsplan nach § 9 BauGB nur die endgültig gewollte Nutzung festsetzen kann.[13] – Ebenso ist es wegen des unterschiedlichen Zeithorizonts (der Planfeststellungsbeschluss ist befristet, der Bebauungsplan nicht) denkbar, die Abwägung dadurch abzusichern, dass eine spätere Ergänzung vorbehalten bleibt. Wenn z.B. ein „Vorrats“-Bebauungsplan für ein Tunnelbauwerk sinnvoll ist, der Zeitpunkt seiner Realisierung gleichwohl noch weiter entfernt ist, kann über die Erforderlichkeit und Dimensionierung von Lüfterbauwerken zur Bewältigung der Abgasbelastung dann entschieden werden, wenn die zu erwartenden Verkehrsmengen und die so genannte „Zusammensetzung der Flotte“ (Lkw-Anteil, Beschleunigungsverhalten, Katalysatorausstattung usw.) besser abgeschätzt werden können. Zugleich kann zwischenzeitlich geänderten Standards Rechnung getragen werden.

1.3 Inhaltliche Vorgaben

1.3.1 Planrechtfertigung, Abwägung der Belange

Planung begründet neben Rechten vor allem auch Pflichten, hat Auswirkungen auf grundrechtsgeschützte Positionen und schneidet Abwehransprüche gegen eine plangemäß errichtete Verkehrsanlage weitgehend ab. Sie bedarf deshalb im Rechtsstaat einer besonderen Planrechtfertigung.

Bei Stadtverkehrsstraßen wirft die verkehrliche Begründung nur in Sonderfällen Probleme auf. Der Korridor der Möglichkeiten ist für Erschließungsstraßen durch die Einbettung in den Baubestand bzw. den städtebaulichen Entwurf sowie die einschlägigen Standards in der Regel ausreichend vorgezeichnet. Bei besonderen Zweckbestimmungen wie Fußgängerzonen oder verkehrsberuhigten Bereichen, bei aufgedrängter Mehrfacherschließung oder bei Veränderungen der Anschlüsse bestehender Baugrundstücke kann allerdings eine detailliertere Begründung erforderlich werden, die den Netzzusammenhang und flankierende (Rückbau)-Maßnahmen einbezieht. Das Gebot der Alternativenprüfung unter Einbeziehung der Nullalternative ist stets im Blick zu behalten, wobei die Rechtsprechung bei schonenderen Alternativen Abstriche am Grad der Zielvollkommenheit verlangt.[14] Bei der Alternativenprüfung können detaillierte Verkehrsprognosen erforderlich werden. Solche Alternativen sind dann wiederum auch unter Gesichtspunkten zu bewerten, die nicht verkehrlich im eigentlichen Sinne sind. So muss bei einer Straßenverbreiterung im Bestand eine situationsbezogene Optimierung erfolgen (eine einseitige Verbreiterung kann zwar den Gesamteingriff reduzieren, verstößt aber ggf. gegen den Grundsatz der Lastengleichheit). Die Verkehrsimmissionen werden stets als verkehrlicher Belang mitbedacht,[15] betreffen aber den im Folgenden besonders behandelten Aspekt der Umweltbelange.

Die Fachplanungsgesetze fordern mittlerweile über die spezifischen Belange der Fachplanung hinaus ausdrücklich die Abwägung der Belange, wie dies bei der Bauleitplanung seit dem Bundesbaugesetz (BBauG) 1960[16] der Fall ist. Die Standardformulierung lautet:

„Die von dem Vorhaben berührten öffentlichen und privaten Belange einschließlich des Ergebnisses einer Umweltverträglichkeitsprüfung sind im Rahmen der Abwägung zu berücksichtigen."[17]

Wenn ein Belang (nur) zu „berücksichtigen" ist, kann es als Ergebnis einer Abwägung vertretbar oder gar geboten sein, ihn wegen als gewichtiger eingeschätzter anderer Belange zurücktreten zu lassen. Belange, die eine Sperrwirkung entfalten, wie solche Grenzwerte, die Sicherheits- und elementare Gesundheitsbelange betreffen und keine Überschreitung im Einzelfall oder bei besonderen Vorkehrungen zulassen, unterliegen nicht der Abwägung, sie werden in der Rechtssprache als „beachtliche" bezeichnet. Hierzu zählen elementare Sicherheitsanforderungen. Dass dem veränderliche Wertungen zugrunde liegen, wird durch die auf spektakuläre Tunnelkatastrophen regelmäßig folgende Verschärfung der Anforderungen deutlich. Als weiterer Hauptfall in diesem Sinn beachtlicher Vorgaben sind diejenigen der Raumordnung und Landesplanung zu nennen, wenn nämlich deren ausdrücklich so bezeichneten Ziele (und nicht nur deren Grundsätze) berührt sind. Dies können z.B. regionale Grünzüge sein, die in der Raumnutzungskarte eines für verbindlich erklärten Regionalplans festgelegt sind. Um diese zu überwinden, ist entweder eine vorangehende Änderung oder eine Ausnahmeentscheidung in einem förmlichen Abweichungsverfahren erforderlich.[18]

Der Begriff „Grenzwert" mit seinem Ge-

genpol eines bloßen „Orientierungswerts“ (DIN 18005) markiert nicht stets eine zwingende Vorgabe, die durch Abwägung nicht überwunden werden kann. Dies wird in der 22. BImSchV durch die zugeordneten „Toleranzmargen“ verdeutlicht. Grenzwerte dürfen andererseits nicht als „Ausschöpfungswerte“ missverstanden werden, wie § 11 Abs. 7 der 22. BImSchV in verallgemeinerungsfähiger Weise hervorhebt: „Die zuständigen Behörden bemühen sich, dass ... die bestmögliche Luftqualität ... unterhalb der Immissionsgrenzwerte erhalten bleibt und berücksichtigen dies bei allen relevanten Planungen.“[19]

In die Abwägung ist einzustellen, was entweder im Beteiligungsverfahren von Bürgern oder Behörden vorgebracht wurde oder sich der abwägenden Stelle als erheblich aufdrängt. Die Erhebungstiefe wird durch das Gebot der Konfliktbewältigung strukturiert. Alle durch die Planung ausgelösten oder in einer Gemengelage mit ihr zu klärenden Konflikte sind durch die Planung zu bewältigen, wobei ein Konflikttransfer möglich ist, wenn vorgezeichnet ist, dass weitere Maßnahmen oder Entscheidungen eine Konfliktlösung sicherstellen. Dies kann z.B. durch Verkehrsregelungen auf der Grundlage der StVO erfolgen. Es kann sich auch um Vorkehrungen zum Wildschutz oder zur Ableitung von Oberflächenwasser handeln, eine abschließende Aufzählung ist nicht möglich. Das Gebot der Konfliktbewältigung findet seine spiegelbildliche Ergänzung in dem Grundsatz (nicht Gebot) der planerischen Zurückhaltung, wonach es einen Bereich möglicher, aber nicht erforderlicher Konkretisierung gibt, in dem sich die Planung zurückhalten kann. Dies gilt z.B. für Einzelheiten der Verkehrsflächenaufteilung. Dass auch Bebauungspläne – wie Planfeststellungen – als isolierte Verkehrsflächenplanungen ohne Festsetzungen der Umgebungsnutzungen zulässig sein können, ist eine Folge dieses Grundsatzes.

Einer besonderen Begründung bedarf eine Abschnittsbildung bei der Planung. Während eine solche bei der Planrealisierung nahe liegend und oft unvermeidlich ist, stellt bei der Planung die Gefahr eines Torsos die Planrechtfertigung in Frage, wenn dem zunächst geplanten Teilstück keine ausreichende eigene Verkehrsbedeutung zukommt. Eine sinnvolle Gesamtplanung muss hinreichend gesichert sein.

Im Verhältnis mehrerer konkurrierender Planungen geht die Rechtsprechung zwar grundsätzlich vom Prioritätsgrundsatz aus.[20] Dieser Grundsatz ist aber zu relativieren. So wie es gute Gründe geben kann, Änderungen zu Lasten des Bau- und Planbestands vorzunehmen, so kann erst recht die Änderung vorangehender konkurrierender Planentwürfe sachgerecht sein.

1.3.2 Richtlinien der EU, Umweltverträglichkeitsprüfung, Naturschutz

Das Europarecht überformt das Planungsrecht und die dabei zu beachtenden Standards. Die schon erwähnten immissionschutzrechtlichen Regelungen folgen solchen Vorgaben. Die Einzelheiten können in diesem Überblick nicht dargestellt werden, zumal die Rechtsmaterie „in Bewegung“ ist, so dass eine laufende Aktualisierung erforderlich wird. Besondere Hervorhebung verdient jedoch der Paradigmenwechsel durch neue Luftqualitätsrichtlinien der EU und die daran anknüpfende Umgestaltung des Immissionsschutzrechts. Der bisherige quellen- bzw. anlagenbezogene Ansatz wird zu einem qualitätsbezogenen umgebaut, durch den Summeneffekte wirksamer erfasst werden können. Bisher wurden dem anlagenbezogenen Luftreinhalterecht des gewerblichen Immissionsschutzrechts verkehrsbezogene Defizite aufgelastet. Das Instrument der

Luftreinhaltepläne wird künftig nach Maßgabe des § 11 der 22. BImSchV eine verstärkte Bedeutung erhalten. Dies kann nach § 47 in Verbindung mit §§ 41, 45 BImSchG zu Einschränkungen des Kfz-Verkehrs führen bzw. nach § 75 Abs. 2 VwVfG zu nachträglichen Schutzauflagen. Es ist absehbar, dass auch der Lärmschutz künftig auf Grund der neuen EU-Richtlinie über den Umgebungslärm[21] in vergleichbarer Weise von seinem bisherigen Anlagebezug gelöst werden wird. Nach geltendem Recht knüpft die 16. BImSchV mit gebietsbezogenen Immissionsgrenzwerten an den Bau oder die wesentliche Änderung von Straßen und Schienenwegen an.[22]

Europarechtliche Vorgaben für das Planungsrecht enthält bereits das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG[23]). Speziell für die Bauleitplanung erfolgen derzeit Änderungen zur Umsetzung der weiter gehenden Richtlinie über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme (Plan-UP[24]).

Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist ein formalisiertes Verfahren zur Gewinnung umweltrelevanter Informationen und Unterlagen, wobei ein weiter Umweltbegriff zugrunde gelegt wird: Über die Schutzgüter des Naturschutzes hinaus zählen Auswirkungen auf Menschen und Kulturgüter dazu. Zweck ist die umfassende Berücksichtigung dieser Belange bei allen behördlichen Entscheidungen unter Beteiligung der Öffentlichkeit. Eine UVP hat also, anders als ihre Bezeichnung nahe legt, kein Ergebnis (der Umweltverträglichkeit), sondern bereitet nur die Abwägung unter Berücksichtigung dieser Belange vor mit den Stationen „screening“ (Vorprüfung) und „scoping“ (Festlegung des Untersuchungsumfangs). Im Rahmen der UVP kann die vertiefende gutachterliche Untersuchung einzelner Aspekte, z. B. avifaunistische Untersuchungen bei Eingriffen in Obstbaumwiesen, erforderlich werden. Dabei können Überschneidungen mit ebenfalls formalisierten Aspekten des Naturschutzes auftreten, die im Folgenden behandelt werden.

Die Anlage zum UVPG unterscheidet bisher Vorhaben, für die stets eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich ist (Bundesautobahnen und gleichgestellte Schnellstraßen sowie vier- oder mehrstreifige Bundesstraßen mit einer durchgehenden Länge bei Neubau ab 5 km oder bei Verlegung oder Ausbau ab 10 km) und Vorhaben, deren UVP-Relevanz zunächst in einem Vorprüfungsverfahren zu klären ist (sonstige Bundesstraßen und Straßenbahnen oder sonstige Bahnen nach dem PBefG).

Die neue Begrifflichkeit „UP“ als Kürzel für die Prüfung der Umweltauswirkungen anstelle von „UVP“ vermeidet einerseits das Missverständnis eines formalisierten Ergebnisses nach Art des „TÜV“ und macht andererseits auch den erweiterten Prüfhorizont verständlicher. Die Umweltprüfung wird als Normalanforderung aller Planungsstufen integriert, so dass die Station des „screening“ in der Bauleitplanung entfällt. Hinzu kommt die Station des „monitoring“ als Überwachungsaufgabe, die den Gemeinden obliegen soll.

Die Naturschutzbelange werden zwar in die UVP bzw. UP integriert, haben aber einen eigenen hervorgehobenen Stellenwert. Befreiungen von Natur- oder Landschaftsschutzverordnungen werden – wenn die Voraussetzungen hierfür vorliegen – bei Planfeststellungen in deren Konzentrationswirkung einbezogen. Bei der Bebauungsplanung verlangt die Rechtsprechung, dass eine zutreffende positive Befreiungsprognose für das so genannte „Hineinplanen in eine Befreiungslage“ für den späteren Planvollzug erfolgt. Schutzgebiete von europarechtlicher Bedeutung (Fauna-Flora-Habitat- und Vogelschutzgebiete) lösen besondere Verfahrensanforderungen aus, spielen beim Stadtverkehr jedoch nur selten eine Rolle und können hier ausgeklammert bleiben.

Einen besonderen Stellenwert hat die Eingriffs-/Ausgleichsregelung der §§ 18ff Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG[25]) für flächenrelevante Veränderungen[26] von Natur und Landschaft. Dies gilt nicht nur im Außenbereich – zusätzliche Versiegelungen usw. betreffen diese Schutzgüter auch im Innenbereich. Bei der Planfeststellung sind die zur Vermeidung, zum Ausgleich und zur Kompensation erforderlichen Maßnahmen in einem landschaftspflegerischen Begleitplan in Text und Karte darzustellen. Grundsätzlich ist vom Vollausgleich auszugehen. Bei der Bebauungsplanung unterliegt der Ausgleichsumfang nach § 1a BauGB jedoch anders als bei der Planfeststellung der planungsrechtlichen Abwägung, so dass beim Vorliegen besonderer Gründe ein bloßer Teilausgleich hingenommen werden kann. Nach der unübersichtlichen Regelung des § 21 Abs. 2 BNatSchG gilt dieser größere Planungsspielraum wiederum nicht bei planfeststellungsersetzenden Bebauungsplänen. Dies führt zu unterschiedlichen Maßstäben innerhalb eines Bebauungsplans, wenn dieser zwar eine klassifizierte Straße enthält, jedoch auch weitergehende Festsetzungen trifft.

1.4 Die Rechtsverfahren in ihren Grundzügen

1.4.1 Die Planfeststellung nach den Fachgesetzen

Die Planfeststellung ist ein projektbezogenes Verfahren, in dem die Fachplanung für ein Straßen(bau)vorhaben konkretisiert wird. Ihre schon erwähnte rechtsgestaltende Wirkung beruht darauf, dass die Zulässigkeit des Vorhabens einschließlich der notwendigen Folgemaßnahmen an anderen Anlagen im Hinblick auf alle von ihm berührten öffentlichen Belange festgestellt wird.

Anhörungs- und Planfeststellungsbehörde ist in Baden-Württemberg das Regierungspräsidium. In anderen Bundesländern weicht der Verwaltungsaufbau zum Teil ab. So heißt die für die Planfeststellung zuständige staatliche Mittelbehörde in Bayern Regierung. Weitere Besonderheiten sind vor allem in den Stadtstaaten zu beachten.

Das Verfahren ist im Einzelnen einheitlich in den (insoweit gleichen) Verwaltungsverfahrensgesetzen des Bundes und der Länder geregelt. Maßgebend sind die §§ 72ff VwVfG. Besonderheiten für die fünf neuen Länder können hier nicht dargestellt werden. Zusätzlich sind die zu den Straßengesetzen jeweils als Verwaltungsvorschriften (verwaltungsintern bindende Erlasse) ergangenen Planfeststellungsrichtlinien zu beachten. Die Konzentrationswirkung des Planfeststellungsbeschlusses wird in § 75 Abs. 1 VwVfG dadurch geregelt, dass neben der Planfeststellung andere behördliche Entscheidungen, insbesondere öffentlich-rechtliche Genehmigungen, Verleihungen, Erlaubnisse, Bewilligungen, Zustimmungen usw. nicht erforderlich sind. In den Planfeststellungsbeschluss können allerdings auch entsprechende Vorbehalte aufgenommen werden.

Der Planfeststellungsbeschluss ist wegen seiner rechtsgestaltenden Wirkung ein Verwaltungsakt in der Form der Allgemeinverfügung, der durch Widerspruch und Anfechtungsklage überprüft werden kann. Klagebefugt ist nur, wer in seinen Rechten betroffen ist. Wer sich nicht auf einen besonderen privatrechtlichen Titel berufen kann, ist nach § 73 Abs. 4 Satz 3 VwVfG mit allen Einwendungen ausgeschlossen, die er nicht fristgemäß im Anhörungsverfahren vorgebracht hat (Präklusion). Wenn kein zulässiges Rechtsmittel eingelegt wird, hat der Planfeststellungsbeschluss nach Fristablauf Bestandskraft. Ausnahmen hiervon bil-

den nur seltene Fälle, in denen wegen schwerer und offenkundiger Mängel im Sinne des § 44 VwVfG Nichtigkeit eintritt.

1.4.2 Bebauungsplanung nach dem Baugesetzbuch

Der Bebauungsplan wird als Satzung beschlossen (§ 10 BauGB). Das Aufstellungsverfahren ist ein Sonderverfahren der kommunalen Rechtsetzung. Die Satzung regelt zwar verbindlich die Zulässigkeit der baulichen und sonstigen Nutzung im Geltungsbereich, dies geschieht jedoch selbst bei so genannten vorhabenbezogenen Bebauungsplänen nur derart in generalisierter Weise, dass für die Anlagenzulassung des in der Projektplanung weiter zu konkretisierenden Vorhabens zusätzliche Genehmigungen erforderlich sein können. Erst diese Genehmigungen können dann als Verwaltungsakte in Bestandskraft erwachsen.

Nach den Bauordnungen der Länder bedarf der Bau einer öffentlichen Straße als solcher keiner besonderen Baugenehmigung, wohl aber die Errichtung bestimmter Bauwerke.[27] Erforderlich können neben dem Bebauungsplan jedoch wasserrechtliche, natur- und landschaftsschutzrechtliche u. a. Genehmigungen, Befreiungen usw. sein. Dies verdeutlicht, dass dem Bebauungsplan keine Konzentrationswirkung zukommt.

Der Bebauungsplan nimmt trotz seiner Qualifizierung als Satzung nach § 10 BauGB in Wirklichkeit eine Stellung zwischen einem abstrakt-generellen Rechtssatz und einem konkret-individuellen Verwaltungsakt ein. Weil er – oft aus Anlass eines konkreten Vorhabens – die Nutzung für konkrete Grundstücke regelt, sind Verkehrsflächenfestsetzungen den Regelungen einer Planfeststellung so angenähert, dass deren Ersetzung und der Wegfall einer einzelfallbezogenen Anlagenzulassung überhaupt sinnvoll sein können. Umgekehrt enthält auch die Planfeststellung Elemente der originären Schaffung einer planungsrechtlichen Grundlage, die über einen Verwaltungsakt hinausreichen.

Der Verfahrensablauf der Bebauungsplanung ist komplexer als derjenige der Planfeststellung. Bei der Bebauungsplanung kommt der Verfahrensabschnitt der frühzeitigen Bürgerbeteiligung hinzu, ebenso die ggf. erforderliche Genehmigung durch die Rechtsaufsichtsbehörde, wenn Bebauungspläne nicht aus dem Flächennutzungsplan entwickelt sind.

Der Bebauungsplan wird nicht wie bei der Planfeststellung durch eine staatliche Behörde, sondern durch die Gemeinde – den Gemeinderat – beschlossen. Deshalb wird das Verfahren durch nach der Gemeindeordnung, der Hauptsatzung und Geschäftsordnungen gebotene Vorberatungen und Beteiligungen weiter kompliziert. Dadurch können zusätzliche Rückkopplungen ausgelöst werden: durchschnittlich kommen auf einen Satzungsbeschluss zwei Auslegungen bzw. Entwurfsänderungsverfahren. Unberührt bleibt, dass auch Planfeststellungen aus verwandten Gründen vielfach Gegenstand gemeindlicher Beratungen und Beschlüsse nicht nur sein können, sondern aus Rechtsgründen ggf. sein müssen.

1.4.3 Planungserfordernis/ Verbindlichkeit der Planung

1.4.3.1 Das Planungserfordernis

Ebenso wenig wie es einen allgemeinen Genehmigungsvorbehalt des Bauordnungsrechts für den Bau oder die Änderung von öffentlichen Straßen gibt, existiert ein allgemeiner Planungsvorbehalt im Sinne eines rechtsförmlichen „Planungserfordernisses“. Im Ergebnis ist der Neubau anders als der Umbau einer Straße jedoch nur selten ohne besondere Rechtsgrundlage möglich, nämlich nur dann, wenn keine Konflikte zu bewältigen sind.

Zunächst ist ein Rechtsverfahren dann erforderlich, wenn die Verfügbarkeit über die für das Vorhaben benötigten Grundstücke erst noch begründet werden muss. Die Planung schafft die etwa erforderliche Enteignungsgrundlage. Entsprechendes gilt, wenn Nachbargrundstücke durch die Flächenzuordnung und Immissionsbelastung in abwägungserheblicher Weise beeinträchtigt und insoweit indirekt „beansprucht“ werden. Ein Planungserfordernis ist darüber hinaus bei allen bedeutsamen Vorhaben anzunehmen. Dies entspricht dem aus allgemeinen Grundsätzen der Verfassung hergeleiteten „Vorbehalt des Gesetzes“. Dies gilt ausdrücklich für Bundesstraßen (§ 17 Abs. 1 FStrG) und Landesstraßen (§ 37 Abs. 1 bad.-württ. StrG). Wegen der verschiedenen beteiligten Rechtsträger ist eine verfahrensabschließende Abwägung erforderlich, die die Rechtsverhältnisse verbindlich regelt. Bei anderen Straßen (und Wegen) ist die Entscheidung über die Erforderlichkeit einer Planfeststellung im Einzelfall zu treffen.

Eine Widmung ist demnach im Grundsatz auch ohne vorangehendes förmliches Verfahren möglich, wenn die Verfügbarkeit gegeben ist (§ *5* Abs. 1 bad.-württ. StrG).

Außer bei Umbauten kommt dies dann in Betracht, wenn bei einem untergeordneten Neubau die Straßenführung durch die Umgebungsbebauung vorgezeichnet ist.

Einen Sonderfall stellt das erschließungsbeitragsrechtliche Planungsfordernis des § 125 BauGB dar. Es greift nur bei der Bebauungsplanung ein, weil Planfeststellungen ohnedies keine Beitragserhebung eröffnen. Dass nach § 125 Abs. 2 BauGB im nichtbeplanten Innenbereich des § 34 BauGB das Planungserfordernis entfällt, deckt sich zwar in etwa mit der oben gefundenen Abgrenzung, ermöglicht jedoch wegen des besonderen Schutzzwecks dieser Rechtsfigur keinen Erstrechtschluss für das Planfeststellungsrecht. Bei „größeren“ Vorhaben kann wegen Überörtlichkeit einerseits die Beitragsfähigkeit und damit zugleich der Vorbehalt des § 125 BauGB entfallen, andererseits gerade deshalb ein planungsrechtliches und damit auch straßenrechtliches Planungserfordernis begründet sein.

1.4.3.2 Die Verbindlichkeit der Planung

So wie bei Rechtssätzen ganz allgemein der „Vorbehalt“ und der „Vorrang“ des Gesetzes zu unterscheiden sind, stellt sich die gleiche Frage nach dem Vorbehalt und dem Vorrang der Planung. Für den Vorbehalt hat sich der zuvor wiedergegebene Begriff des Planungserfordernisses eingebürgert. Beim korrespondierenden Begriff des Vorrangs geht es um den Umfang der „Verbindlichkeit“ der Planung.

Bei der Bauleitplanung ist der Flächennutzungsplan als vorbereitende Planung nach § 7 BauGB „behördenverbindlich“, jedoch nicht „bürgerverbindlich“. Da der Bebauungsplan nach § 10 BauGB als Satzung beschlossen wird, folgt seine Verbindlichkeit als Vorgabe für die anschließende Widmung und spätere verkehrsregelnde Anordnungen aus seinem Rechtssatzcharakter. Für die Planfeststellung folgt auf rechtsdogmatisch anderem Weg das Gleiche aus der rechtsgestaltenden Wirkung für alle öffentlich-rechtlichen Beziehungen.

So leicht das „Ob“ der Verbindlichkeit bejaht werden kann, so schwierig ist im Einzelfall die Abgrenzung seines Umfangs, des „Wie“. Dazu muss jeweils geklärt werden, wieweit der Regelungsgehalt der Planung überhaupt reicht. Auszulegen ist oft, ob eine Nichtregelung „beredt“ ist, also als Sperre zu verstehen ist. Dies ist z. B. selbstverständlich für die Ausdehnung der Verkehrsfläche, keineswegs jedoch für deren „Möblierung“, etwa mit Schallschutzeinrichtungen. Die Festsetzung eines Lärmschutzwalls kann als Mindestausstattung zu verstehen sein, die durch eine aufgesetzte Wand weiter verstärkt werden darf. Dies ist mit dem Abwägungsvorgang – eben durch Auslegung – nachzuvollziehen,

weil die Höhe auch als Obergrenze gemeint sein kann, etwa in einem Zielkonflikt mit Anforderungen des Luftaustauschs (Klimaschneise), der Gestaltung oder der Erhaltung der Aussicht.

Auch der positive Planinhalt ist nicht stets verbindlich gewollt, er kann als bloße nachrichtliche Übernahme von Bestandselementen oder von Fremdplanungen zu verstehen sein oder lediglich Richtliniencharakter haben. Letzteres ist typischerweise der Fall bei Verkehrsflächenaufteilungen oder verkehrslenkenden Fahrbahnmarkierungen. Es empfiehlt sich, dies durch entsprechenden Einschrieb klarzustellen. Eine Auslegungshilfe ist, welcher Regelungsgehalt zur Konfliktbewältigung zweckmäßig oder gar geboten ist. Insoweit stehen das Erfordernis und die Verbindlichkeit der Planung in einem engen Wechselverhältnis.

Die von den Straßenbaubehörden vor der endgültigen Projektzustimmung (und Zuschussgewährung) geforderte Ausführungsreife des so genannten RE-Entwurfs[28] kann beim Abschluss des Bebauungsplanverfahrens in der Regel nicht erreicht werden. Anders als die Planfeststellung enthält der Bebauungsplan ja auch noch keine abschließende Projektentscheidung. Aber auch die Planfeststellung kann der Ausführung einen Spielraum belassen, nicht anders als die Baugenehmigung eines (Hochbau) Vorhabens. Dies ist eine Auslegungshilfe dafür, dass nicht jedes bloß ausführungs-, jedoch nicht abwägungsrelevante Detail an der Verbindlichkeit der Planfeststellung teilnimmt, also ggf. auch ohne (vereinfachte) ausdrückliche Änderung bei der Realisierung abgewandelt werden kann. Dies entspricht der Praxis.

1.5 Vergleichende Übersicht einzelner Aspekte der Planung

	Bebauungsplanung nach BauGB	**Planfeststellung nach den Straßengesetzen**
Verfahrensträgerschaft	Die Gemeinde bestimmt die Verfahrensprioritäten, kann aber anderen Straßenbaulastträgern keine Planung aufdrängen.	Die Planfeststellungsbehörde (das Regierungspräsidium) führt das Verfahren auf Antrag durch.
Verfahrensdauer	Ca. 1,5 bis 3 Jahre – zusätzliche Konkretisierung vor der Ausführung (RE-Entwurf).	Die Planreife tritt in der Regel später ein, die gesamte Laufzeit bis zur Ausführung ist jedoch vergleichbar.
Bürgerbeteiligung	Gemeinsam: öffentliche Auslegung des Planentwurfs	
	Zuvor: frühzeitige Bürgerbeteiligung	Anschließend: Erörterungstermin

	Bebauungsplanung nach BauGB	**Planfeststellung nach den Straßengesetzen**
Bürgerbeteiligung ff	Bei geringfügigen Änderungen ist nur ein eingeschränktes Beteiligungsverfahren erforderlich. Belange, deren Relevanz sich aufdrängen musste, sind „ungefragt“ in die Abwägung einzustellen. Dies gilt – soweit möglich – auch für verspätetes Vorbringen (das nach Art 17 Grundgesetz beschieden werden muss).	
Beteiligung der Träger öffentlicher Belange	Eine umfassende Beteiligung ist notwendig. Bei unerkanntem Beteiligungsdefizit entscheidet die Erheblichkeit. Ggf. reicht eine Korrektur durch Planänderung aus. Keinem Träger steht eine echte Vetoposition zu. Je nach Planinhalt kann es „Schlüsselträger“ geben, wie z.B. oft die Straßenbaubehörden.	
		Nach § 58 BNatSchG anerkannte Naturschutzvereine müssen beteiligt werden.
Abwägung der Belange	Es handelt sich um das – gerichtlich überprüfbare – Kernstück jeder Planung.	
	§ 1 Abs. 5, 6 BauGB	§17 Abs. 1 FStrG, § 37 Abs. 4 bad.-württ. StrG
	Auch ein reiner Verkehrsplan kann der städtebaulichen Ordnung dienen.	Falls die Abwägung eine Klärung der Nutzungsmöglichkeiten angrenzender Grundstücke erfordert, ist eine ergänzende Bebauungsplanung möglich.
	Besondere Schallschutz- oder Abgasgutachten können erforderlich sein. Grenzwerte machen eine Abwägung nicht überflüssig. Auch eine Unterschreitung kann geboten sein („so weit wie möglich“ – § 50 BImSchG). Aus § 42 BImSchG folgt, dass bei besonderen Umständen auch eine – entschädigungspflichtige – Grenzwertüberschreitung zulässig sein kann.	
	Orientierungswerte der DIN 18005 (Neufassung Juli 2002) mit Anwendungsspielraum.	Grenzwerte der 16. BImSchV.
	Eine „plangegebene Vorbelastung“ kann die Schutzwürdigkeit gegenüber einer Immissionsbelastung herabsetzen.	
Umweltverträglichkeitsprüfung – UVP/UP	Bebauungspläne sind nach Umsetzung der Richtlinie zur Plan-UP in erweitertem Umfang UP-pflichtig.	Beim Bau oder Änderung einer Bundesfernstraße ist nach der Anlage zu § 3 des UVP-Gesetzes eine UVP erforderlich.

	Bebauungsplanung nach BauGB	**Planfeststellung nach den Straßengesetzen**
Vorarbeiten auf dem Grundstück	§ 209 BauGB	§ 16 a FStrG
	Die Duldungspflicht muss notfalls durch Verwaltungsakt konkretisiert werden.	
Vorbereitende Planung	Entwicklung aus dem Flächennutzungsplan – § 8 BauGB.	Bindung an den Flächennutzungsplan nach § 7 BauGB, Linienbestimmungsverfahren nach § 16 FStrG..
	Im Rahmen der Abwägung sind relevante neue Trassenalternativen auch dann zu prüfen, wenn dies Paralleländerungen der vorbereitenden Planung erfordert.	
Geltungsbereich	Beschränkung auf die Gemarkung der Gemeinde – ggf. Parallelverfahren der Nachbargemeinde.	Die Planfeststellung kann einheitlich auch gegen den Willen einer „Belegenheitsgemeinde“ erfolgen.
	Unmittelbar betroffene Grundstücke sind einzubeziehen. Maßnahmen des passiven Schallschutzes (ggf. Entschädigung nach § 42 BImSchG) sind auch außerhalb des Geltungsbereichs zur Konfliktbewältigung zulässig.	
Regelungsinhalt	§ 9 BauGB deckt nur einen Teil der planfeststellungsfähigen Inhalte ab.	Die Planfeststellung kann verschiedene Baustufen regeln z. B. als Rechtsgrundlage für befristete Überfahrtsrechte.
Konzentrationswirkung	Sie ist nicht gegeben. Ggf. sind weitere Verfahren z. B. zur Aufhebung einer Landschaftsschutzverordnung und Genehmigungen erforderlich.	Beim Zusammentreffen verschiedener Vorhaben findet nach § 75 VwVfG nur ein Verfahren statt.
Grünplanung	Bei nachhaltigen Landschaftsveränderungen kann ein zusätzlicher Grünordnungsplan erforderlich sein – § 9 bad.-württ. NatSchG[29].	„Landschaftspflegerische Begleitpläne“ im Sinne des § 20 Abs. 4 BNatSchG, § 37 Abs. 5 bad. württ. StrG.
Eingriff/Ausgleich	Bei Eingriffen i. S. d. § 18 BNatSchG erfolgt eine Abwägung nach § 1a BauGB.	Bei Eingriffen i. S. d. § 18 BNatSchG sind Ausgleichsmaßnahmen erforderlich.
Privatrechtsgestaltende Wirkung	Sie tritt nicht ein. In einem erforderlichen Enteignungsverfahren wird die Planung (neu) geprüft.	Sie ist eine Folge von § 75 Abs. 2 VwVfG. Die Enteignungsbehörde ist an die Bestandskraft gebunden – § 25 Abs. 1 bad.-württ.-LEntG[30].
	Im Rahmen eines Enteignungsverfahrens ist eine vorzeitige Besitzeinweisung möglich.	

	Bebauungsplanung nach BauGB	**Planfeststellung nach den Straßengesetzen**
Geltungsdauer	Keine Befristung, eine Befristungsmöglichkeit soll durch Gesetzesänderung geschaffen werden.	5, nach Verlängerung 10 Jahre – andere Fristen nach den Landesstraßengesetzen.
Sicherung der Planung	Zurückstellung von Bauvorhaben; Veränderungssperre, §§ 14 ff BauGB.	Veränderungssperre, § 9 a FStrG, § 26 bad.-württ. StrG.
Anfechtbarkeit	Auf zwei Jahre befristete Normenkontrolle nach § 47 VwGO[31], wobei nach §§ 214f BauGB einige Fehler nur befristet geltend gemacht werden können. Rückwirkende Heilung ist eingeschränkt möglich. Inzidentkontrolle in anderen Rechtsstreitigkeiten.	Bestandskraft, falls kein Rechtsmittel (Widerspruch, Anfechtungsklage) eingelegt wird und keine Nichtigkeit nach § 44 VwVfG vorliegt.
	Es gibt kein allgemeines Verbandsklagerecht, wohl aber, wenn Beteiligungsrechte nach § 58 BNatSchG nicht beachtet wurden. Klagerechte aus speziell erworbenen Sperrgrundstücken werden von der Rechtsprechung nur eingeschränkt anerkannt.	
Verfahrenskosten, Beiträge	Planungs- und Verfahrenskosten werden bei Bundes- und Landesstraßen pauschal ersetzt. Beiträge für neue Erschließungsanlagen nach § 127 BauGB – die Abrechnung von Immissionsschutzanlagen ist kompliziert.	Für öffentliche Planungsträger besteht Gebührenfreiheit.
Abänderbarkeit	Wechselseitig sind Abänderung und Ergänzung möglich, vor Vollzug der Planfeststellung nach der Rechtsprechung jedoch nur eingeschränkt. Änderung ggf. im vereinfachten Verfahren ohne Entwurfsauslegung, wenn die Grundzüge nicht berührt sind und der Kreis der Betroffenen überschaubar ist. Beim Ausbau sind untergeordnete, nicht regelungsbedürftige Abweichungen möglich, auch die Realisierung in Abschnitten und Baustufen. Längsspaltung (Teilrealisierung des Querschnitts) ist auch bei Qualitätsänderung nicht ausgeschlossen, aber problematisch. Eine Planung, die von vornherein nicht realisiert werden soll, ist rechtswidrig.	

1.6 Der Zeitbedarf der Planung

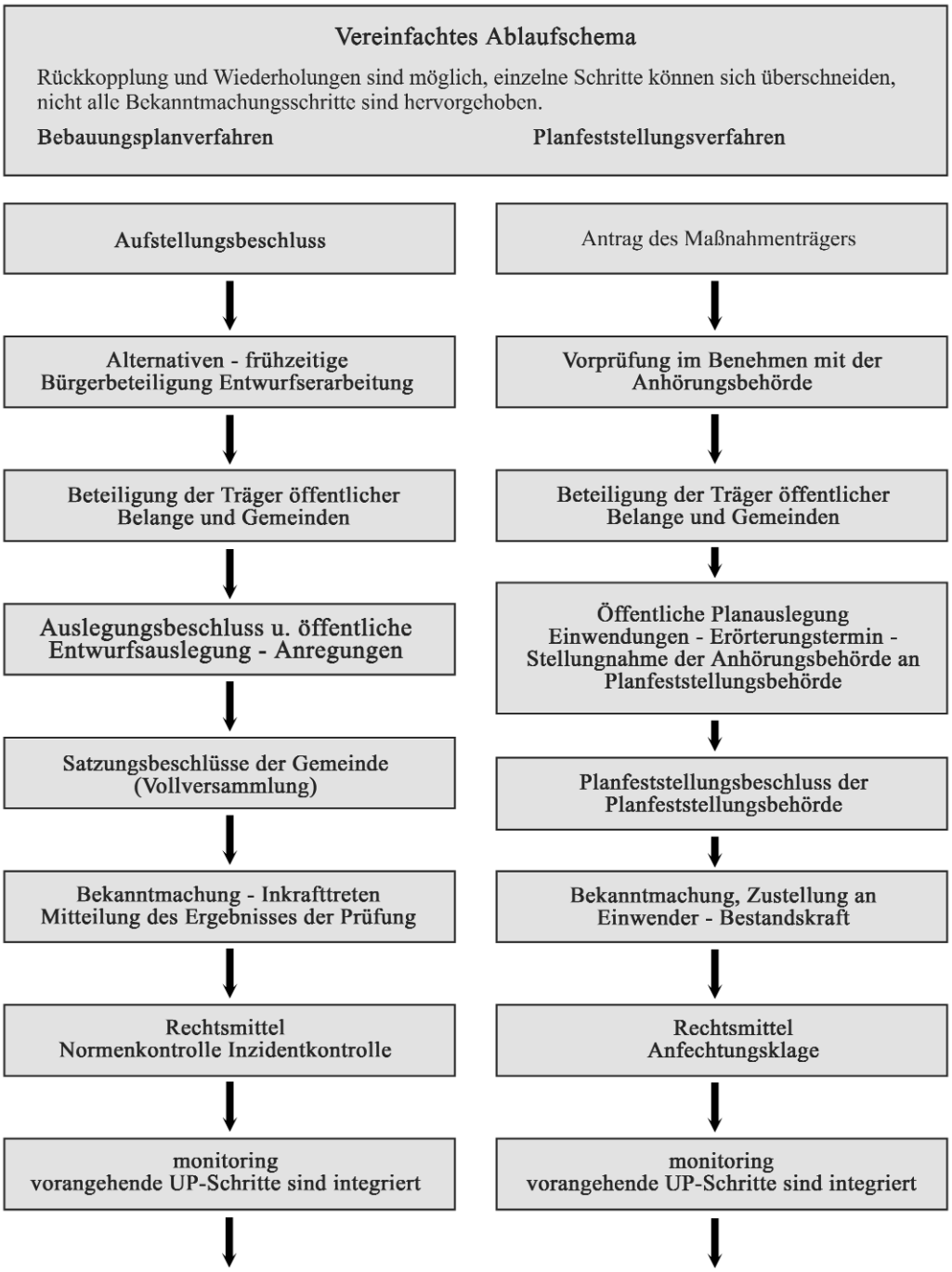
Der Zeitbedarf einer vollziehbaren Planung wird leicht unterschätzt. Er ergibt sich nicht abstrakt aus der Abfolge der einzelnen Planungsschritte, sondern folgt primär aus dem jeweils konkreten Konfliktpotential. Entscheidend ist der die Planung als gesamten Vorgang durchziehende rote Faden der Abwägung der privaten und öffentlichen Belange, die also nicht erst bei der abschließenden Planentscheidung relevant wird.

Einerseits ist durch vollständige und richtige Erhebung des Abwägungsmaterials Komplexität aufzubauen, um sie andererseits durch das Ausscheiden von Alternativen und Varianten wieder abzubauen. Die planende Stelle kann sich zwar bis zu einem gewissen Grad durch die Beteiligung der Bürger und der Träger öffentlicher Belange entlasten. Sich aufdrängende relevante Aspekte der Planung muss sie jedoch auch dann von sich aus vertiefen, wenn sie von den Beteiligten nicht vorgebracht worden sind. Nachdem es u.a. wegen knapper werdender Ressourcen weniger „Konsens"-Planungen gibt, werden die Anforderungen an eine „gerechte" Abwägung laufend verschärft. Erforderliche Gutachten können sehr zeitaufwendig sein. So kann es z.B. sein, dass die Höhe einer Lärmschutzeinrichtung nicht nur durch eine schalltechnische Untersuchung unter Einbeziehung von Möglichkeiten der Trassenverschiebung, des Heranrückens einer ggf. aufwendigeren Wand, einer anderen Nutzungszuordnung usw. bestimmt werden kann, sondern dass gerade dadurch neue Zielkonflikte auftauchen und bewertet werden müssen. Während dann etwa die Belange der Sichtbeziehungen und der Stadtgestaltung qualitativ einbezogen werden können, kann ein weiteres Gutachten erforderlich werden, wenn die Wand den Luftaustausch behindern kann. Aus (nachvollziehbar) geschätzten künftigen Verkehrsmengen und ihrer Zusammensetzung ggf. für verschiedene Netzzustände ergibt sich zunächst nur eine Immissionsprognose. Eine Immissionsprognose der Luftschadstoffe kann daraus erst bei Kenntnis der Ausbreitungsbedingungen abgeleitet werden. Dies kann den Bau eines Modells mit Versuchen erforderlich machen oder eine Klimauntersuchung, die die verschiedenen Zustände eines Jahresgangs erfasst.

Der Planungsprozess kann ähnlich aufwendig wie in diesem Beispiel sein, wenn sich im Verfahren herausstellt, dass Trassenalternativen in Betracht kommen und deshalb unter Umständen bis zu einem Vorentwurf ausgearbeitet werden müssen, damit sie vergleichend bewertet werden können.

Diese Abwägung ist nicht nur durch die Aufsichtsbehörde, sondern vor allem durch die Gerichte überprüfbar, auch wenn es einen gewissen – im Voraus aber schwer einschätzbaren – Spielraum des Planungsermessens für die abschließende Bewertung gibt. Der Zeitbedarf der gerichtlichen Überprüfung ist schon wegen des möglichen Instanzenzugs ungewiss, kann aber mehrere Jahre ausmachen.

In der Praxis ist der Zeitbedarf oft entscheidend. Es kann richtig sein, alle vertretbaren Kompromissmöglichkeiten auszuloten, parallel jedoch die ggf. trotzdem erforderliche „Konfliktlösung" weiter zu betreiben.


Vereinfachtes Ablaufschema
Rückkopplung und Wiederholungen sind möglich, einzelne Schritte können sich überschneiden, nicht alle Bekanntmachungsschritte sind hervorgehoben.
Bebauungsplanverfahren
Planfeststellungsverfahren
Aufstellungsbeschluss
Alternativen - frühzeitige Bürgerbeteiligung Entwurfserarbeitung
Beteiligung der Träger öffentlicher Belange und Gemeinden
Auslegungsbeschluss u. öffentliche Entwurfsauslegung - Anregungen
Satzungsbeschlüsse der Gemeinde (Vollversammlung)
Bekanntmachung - Inkrafttreten Mitteilung des Ergebnisses der Prüfung
Rechtsmittel Normenkontrolle Inzidentkontrolle
monitoring vorangehende UP-Schritte sind integriert
Antrag des Maßnahmenträgers
Vorprüfung im Benehmen mit der Anhörungsbehörde
Beteiligung der Träger öffentlicher Belange und Gemeinden
Öffentliche Planauslegung Einwendungen - Erörterungstermin - Stellungnahme der Anhörungsbehörde an Planfeststellungsbehörde
Planfeststellungsbeschluss der Planfeststellungsbehörde
Bekanntmachung, Zustellung an Einwender - Bestandskraft
Rechtsmittel Anfechtungsklage
monitoring vorangehende UP-Schritte sind integriert

Anmerkungen

1 Z.B. die Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen EAE 85/95, Hrsg. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1985 i.d.F. 1995

2 Vgl. als zusammenfassende allgemeinverständliche Darstellung die Hinweise zur Berücksichtigung rechtlicher Belange bei Verkehrsplanungen, Ausgabe 1991, Hrsg. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – Neuerungen haben sich seitdem z.B. im Bereich der Umweltverträglichkeitsprüfung ergeben.

3 Der jeweilige Stand der Novellierungen kann in www.bmvbw.de recherchiert werden.

4 Gesetz über Finanzhilfen des Bundes zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse der Gemeinden (Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz – GVFG) in der Fassung vom 28. Januar 1988 (Bundesgesetzblatt = BGBl. I S. 100), zuletzt geändert durch Gesetz vom 27. April 2002 (BGBl. I S. 1467)

5 Personenbeförderungsgesetz (PBefG) in der Fassung vom 8. August 1990 (BGBl. I S. 1690), zuletzt geändert durch Gesetz vom 21. August 2002 (BGBl. I. S. 3322)

6 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) vom 27. Dezember 1993, zuletzt geändert durch Gesetz vom 21. Juni 2002 (BGBl. I. S. 2191)

7 Bundesfernstraßengesetz (FStrG) in der Fassung vom 20. Februar 2003 (BGBl. I. S. 286)

8 Z.B. Straßengesetz für Baden-Württemberg (bad.-württ. StrG) in der Fassung 11. Mai 1992, zuletzt geändert durch Gesetz vom 20. November 2001 (Gesetzblatt = GBl. S. 605)

9 § 74 Abs. 6 Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 2003 (BGBl. I S. 102). Nach § 17 Abs. 1a Nr. 3 FStrG genügt es, dass Rechte anderer nicht wesentlich beeinträchtigt werden.

10 Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung vom 27. August 1997 (BGBl. I S. 2141), zuletzt geändert durch Gesetz vom 23. Juli 2002 (BGBl. I S. 2850)

11 Straßenverkehrsgesetz (StVG) vom 19. Dezember 1952 (BGBl. I S. 837), zuletzt geändert durch Gesetz vom 11. September 2002 (BGBI. I S. 3574), Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 16. November 1970 (BGBl. I S. 1565, ber. 1971 S. 38), zuletzt geändert durch Gesetz vom 1. September 2002 (BGBl. I S. 3442)

12 Die Rechtsprechung ist ohne überzeugende Begründung strenger als die hier vertretene Ansicht: So meint das Oberverwaltungsgericht NRW, Urt. v. 05.02.2003 – 7 D 77/99 NE = ZfBR 2003, 58, dass die Änderung einer noch nicht vollständig umgesetzten Planfeststellung nur mit den spezifischen Mitteln des Planfeststellungsrechts nach § 76 VwVfG erfolgen könne.

13 Durch Gesetzesänderung soll allerdings 2004 die Möglichkeit geschaffen werden, auch bedingte und befristete Festsetzungen zu treffen.

14 Bundesverwaltungsgericht, Urteil vom 17. Mai 2002 – 4 A 28.01 = DVBl. 2002, 1486

15 Vgl. die 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV) vom 12. Juni 1990 (Verkehrslärmschutzverordnung) (BGBl. I S. 1036) und die 22. BImSchV vom 11.September 2002 (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe der Luft), BGBl. I. S. 3626

16 Auch frühere übergeleitete Planungen kennen in der Sache eine Abwägung, weil diese dem Wesen der Planung immanent ist, wie die Rechtsprechung dies formuliert hat.

17 § 37 Abs. 5 Satz 1 bad.-württ. StrG

18 § 10 Abs. 3 bad.-württ. Landesplanungsgesetz (LPlG) in der Fassung vom 08.04.1992 (GBl S. 229), zuletzt geändert durch Gesetz vom 14.03.2001 (GBl. 185, 325, 386)

19 Vgl. auch § 50 BImSchG: „so weit wie möglich“.

20 Bundesverwaltungsgericht Beschl. vom 5. November 2002 – 9 VR 14.02 = UPR 2003, 152

21 EU-Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm vom 25. Juni 2002, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 18. Juli.2002, L 189/12 – gestaffelte Übergangsfristen reichen bis 2012

22 Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), vgl. ergänzend die Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV vom 4. Februar 1997 (BGBl. I S. 172

23 In der Fassung vom 05. September.2001 BGBl. I S. 2350, zuletzt geändert durch Gesetz vom 18.06.2002 (BGBl. I S. 1914)

24 EU-Richtlinie über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme

vom 27. Juni 2001, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 21. Juli 2001, L 197/30 – ihre Umsetzung soll durch Gesetz zur Anpassung des Baugesetzbuchs an EU-Richtlinien (Europarechtsanpassungsgesetz Bau – EAG Bau) zum 20. Juli 2004 erfolgen, Entwurfsstand siehe www.bmvbw.de

25 Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG)) vom 25. März 2002, BGBl. I S. 1193

26 Nicht dargestellt werden können die artenschutzrechtlichen Bestimmungen des BNatSchG. Da alle Singvögel – auch der gemeine Haussperling – europarechtlich besonders geschützt sind, können bei der Beeinträchtigung von deren Nist-, Brut-, Wohn- oder Zufluchtstätten, wie es § 42 BNatSchG formuliert, unerwartete Schwierigkeiten auftreten.

27 Z.B. § 1 Abs. 2 Nr. 1 bad.-württ. Landesbauordnung (LBO) v. 8. Aug. 1995 (GBl. S. 617), zuletzt geändert durch Gesetz vom 19.12.2000 (GBl. S. 760): „Dieses Gesetz gilt bei öffentlichen Verkehrsanlagen nur für Gebäude“

28 Richtlinien für die Gestaltung von einheitlichen Entwurfsunterlagen im Straßenbau RE 1985) des Bundesministers für Verkehr, veröffentlicht im Verkehrsblatt 1985, Heft 11, S. 352.

29 Gesetz zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft (Naturschutzgesetz – NatSchG) in der Fassung vom 29. März 1995 (GBl. S. 654), zuletzt geändert durch Gesetz vom 19. November 2002 (GBl. S. 428)

30 Bad.-württ. Landesenteignungsgesetz (LEntG) vom 6. April 1982 (GBI. S. 97) zuletzt geändert durch Gesetz vom 13. Februar 1992 (GBI. S. 145)

31 Verwaltungsgerichtsordnung (VwGO) in der Fassung vom 19. März 1991 BGBl. I, S. 686, zuletzt geändert durch Gesetz v. 20. Dezember 2001, BGBl. I. S. 3987

Sachwortverzeichnis

Abbiegestreifen 522
Abfahrtszeit 77
Abfertigungs
– anlagen 99
– einrichtung 576
– zeiten 576
Abhängigkeit, komplementäre 14
Abhängigkeit, substitutive 14
Ablösebetrag 565
Abmessungen (von Pkw-Parkmodulen) 575
Abschätzung der Wirkungen 14
Absperrung 678
Abstellanlagen für Fahrräder 450
Abwägung 224
– der Belange 801
Abwägungsgebot 800
Abwägungsprozess 442
Achsen 433
– liniennetz 613
Adressbücher 110
Aktivität 62
Aktorik 702
Akzeptanz 444, 786
– förderung 113, 123
– funktion 275
Allee 457
Alles-ROT/Sofort-GRÜN-Signalisierung 685
Allgemeines Eisenbahngesetz 798
Alternative 11, 355
Altstadtring, Ringstraße 3
Analyse des Zustands 11, 13, 14
Anfahrsicht 529
Angebots
– bemessung 607
– planung im ÖPNV 607
– qualität 470
Anlagen der Versorgung 458
Anlagetechnik 703
Annuitätenfaktor 196
Annuitätenmethode 369
Anregung 433
Anruf-Sammeltaxi 606
Ansatz, interdisziplinärer, ganzheitlicher 458
Anschlusssicherung 648, 712
Ansprüche (Bedürfnisse), immaterielle 433, 442
– materielle 433
– soziale 516
Anzeigequerschnitt 779
Arbeit, interdisziplinäre 436
Arbeitsplatzkonzentration, maximale 178
Arbeitsschritte einer Erhebung 80
Arbeitsstofftoleranzwerte, biologische 178
Aufbau des Fragebogens 116
Aufenthaltsfunktion 333, 464, 478
Auffangradstreifen 662
Aufpflasterung 7, 8, 639
Aufstellbereich 522
Ausbauplan 798
Ausbaustandard 450
Ausfahrt 345
– kontrolle 582
Ausgang 62
Ausgangspunkt städtischer Entwicklungen 18
Ausgleichs- und Folgemaßnahmen 460
Auslegung 807
Aussageeinheit 121
Außenringnetz 490
Ausstattungselemente 452, 456, 550
– verkehrliche 435
autogerechte Stadt 5, 13, 24, 424
Autophase 4
Autoverkehrsplanung, nachfrageorientierte 5

Bahn, straßenabhängige 617
Bahn, unabhängige 618
Bahnhofsvorplätze 549
Bahnkörper, besonderer 618, 623, 625
Bahnkörper, straßenbündiger 618, 622
BALANCE 704, 712, 770
Barrierefreiheit 550, 649, 672
Barwertmethode 368
Bau
– denkmal 452
– dichte 34
– gesetzbuch 798
– lastträgerschaft 4
– leitplanung 54, 799
Baumeister, Richard 412
Bauordnung 565
– srecht 459, 799
Bauzeit 368
Bebauungs
– dichte 37
– plan 437, 442, 797, 805

Bebauungsplanverfahren 16
Bedarfsimpulse 246
Bedarfsliniennetz 614
Beeinträchtigung, psychische 164
Befahrbarkeit 476
Beförderungsfall 62
Beförderungsqualität 591, 604
Befragung 83
– mündliche (Interview) 107
– telefonische (Telefoninterview) 115
Befragungsmethode 92
Begegnungsfall 476, 513
Begleitplan, landschaftspflegerischer 804
Begleitschreiben 113, 123
Begrünung 517
Behinderte 390
Behindertengleichstellungsgesetz 649, 672
Beitrag, stadtgestalterischer 431, 443
Belastbarkeit, umfeldabhängige 428
Belastungsgrenzen 476
Belegungsganglinie 99
Belegungsgradmessung 766
Beleuchtung 587
– von Straßenräumen 458
– skonzept 550
Bemessung 327, 675
– sfahrzeug 511
– sverkehrsstärke 327, 726, 732
Benutzeroptimum 783
Benutzungspflicht von Radwegen 516
Benzol 176
Beobachtung 83
– lokale 339
– momentane 340
– strukturierte 107
– unstrukturierte 107
Bepflanzung und Beleuchtung 443
Bereitstellungszeit 584
Berücksichtigung historischer Bezüge 452
Besetzungsgrad 55
Bestandsaufnahme, städtebauliche 450
Bestwegverfahren 288
Betreibermodell 716
Betrieb 594, 600, 604
– sbefragung, schriftliche 120
– sfragebogen 121
– skonzept 715
– sleit- und Steuerungssystem 690
– sleitsystem 712
Bevölkerungsentwicklung 231
Bevorrechtigung öffentlicher Verkehrsmittel 630
Bevorrechtigungssmaßnahmen 636
Bevorrechtigungsmaßnahmen an Lichtsignalanlagen 751
Bewertung 14, 386
– (Verkehrsmanagement) 718
– diskursive 393
– flächendeckende 222
– interne 695
– standardisierte 593
Bewertungs
– stufen 222
– verfahren, optimierende 366
– zeitraum 368
Bike and Ride 449
Bisektions-Methode 293
Blindenleitsystem 651
Blockrandbebauung 158
Boden 213
– belagsmaterialien 457
– flächenmanagement 44
– güte 213
– markt 36
BOStrab 617
Brandschutzvorschriften 587
Brauchbarkeit, soziale 433, 520
Breitenanforderung an Seitenräume 675
Breitenzuschläge im Seitenraum 678
Brennpunkte 433
Bruttostichprobe 105
Buchanan 6, 427
Bundesfernstraßengesetz 798
Bundesnaturschutzgesetz 804
Bürgerbeteiligung 805
Bürgerforum 396
Bus 602f
– buchten 647
– fahrstreifen 634, 659
– fahrweg 633
– haltestellen 645
– schleuse 645, 758
– spuren 712

capacity restraint 289
CarGoTram-Züge 450
Charta von Athen 4, 49, 422, 463
City-Logistik 323, 709
City-Terminal 323
Clusteranalyse 263
Contingent Valuation 133

Daten
– anbieter 125
– arten 102

Daten
– bank 706
– funk 755
– plattformen 705
– plausibilisierung 123
– schutzerklärung 123
– schutzkonzept 113
Dauer
– lichtzeichen 721, 775
– linie 330
– schallpegel 169
Delphi-Methode 366
Deutsches Mobilitätspanel 118
dezentrale Konzentration 34
Dezentralität 438
Dezibel A 166
Dichte (von Siedlungsstrukturen) 37
Dieselruß 176
Dijkstra-Algorithmus 256
Diktiergerät 88
DIN-Normen 650
Diskurs 393
Disponiertheit, subjektive 249
Doppelanwurf 747
Doppeltraktion 447
Dreieck- (oder Diagonal-) System 412f
DUNKEL-Anlage 685
Durchfahrthöhe, lichte 581
Durchmesserlinie 609

Eckausrundungen 528
education 698
Einblendung 753
Einengung 524, 540, 639
Einfahrten 345
Einfahrtkontrolle 576
Einfahrzeit 731
Einflussbereich, ordnungspolitischer 14
Eingriffs-/Ausgleichsregelung 804
Einhangstraßen 486
Einkaufserlebnis 447
Einkaufsstraßen 427
Einrichtungsfahrzeug 600
Einsatzbereich der Querungsanlagen 680
Einstiegshilfe 652
Einstufige Gewichtung von Wirkungen 363
Einwohner- und Beschäftigtendaten 84
Einwohnerdateien 109
Einzelbaum 457
Einzugsbereiche für den ÖPNV 484
Elastizitäten 73, 76
Eliminationsverfahren 15
Emissionen 211
Endenergieverbrauch 142
Endwertmethode 368
enforcement 698
engineering 698
Engstellensignalisierung 774
Ensembleschutz 452
Entropiemodell 278
Entscheidung 355
Entscheidungs
– ablauf 355
– algorithmus 695
– modelle 266
– tabellen 704
– träger 355
– - und Aktionsanalyse 391
Entwicklung der Jahresfahrleistung von Pkw 236
Entwicklung, wirtschaftliche 231
Entwurf von Radverkehrsführungen 664
Entwurfs
– geschwindigkeit 618
– grundsätze 476
– methodik 505
– prinzipien 518
– - und Betriebsmerkmale 472
Environmental Impact Assessment (EIA) 212
Environmentzonen 6, 428
Erarbeitung des Zielkonzeptes 11
Ereignismanagement 704
Erfassung des Parkraumangebots 98
Erfassung des Wirtschaftsverkehrs 119
Erhaltung 194
Erhaltungsplanung, systematische 201
Erhebung, verhaltensbezogene 109
Erhebungen an Stellplatzanlagen 99
Erhebungen im Straßenraum (Parken) 99
Erhebungs
– bogen 107
– dauer 86
– einheit 120
– instrument 121
– kombinationen 126
– monate 86
– organisation 105
– plan 127
– service 113
– tage 86
– verfahren, technikgestütztes 128
Erholung 221
Erlebnis des Stadtbildes 446
Erreichbarkeit 55, 57, 186, 474f
Erscheinungsbild 457

Erschließung, periphere 486
Erschließung, zentrale 484
Erschließungs
– funktion 333, 464, 478
– straßen und -wege 536
– system 20
– - und Hauptverkehrsstraße 54
Erschütterungsschutz 621
Etappe 62
Europarecht 802
EVA-Manual 718
Experiment 118
externe Kosten 150

Fahr- bzw. Flugpläne 710
Fahrbahn 520, 535, 540
– aufpflasterungen 680
– breite 521, 540
– führung des Radverkehrs 656
– verschwenkungen 445
Fahren, kooperatives 714
Fahrerassistenz 693, 714
– systeme 715
Fahrgassen 540
– in Mischflächen 540
– breite 568, 632
Fahrgastinformation 56, 648
Fahrgastinformationssysteme 710
Fahr
– gemeinschaften 565
– komfort 619
– leitung 627
– planauskunft, elektronische 710
– plangestaltung 607
Fahrradparken 663
Fahrradstraßen 660
Fahrstreifensignalisierung 774
Fahrstreifensystem, variables 714
Fahrtenbogen 121
Fahrweg 593, 595, 598, 608
Fahrweg im Straßenraum 621
Fahrzeug(e) 600
– aufstellung 567
– (ÖPNV) 593, 595
– profil 623
– vorhaltekosten 188
Faktoren, betriebswirtschaftliche 608
Faktoren, nachfrageorientierte 607
Fehler
– arten 106
– behandlung (Haushaltsbefragung) 114
– quellen (Haushaltsbefragungen) 114
Fehlerspektrum (Erhebungen) 105
Fernreisen 69
Feststellen von Mängeln (Mängelanalyse) 11, (14)
Festzeitprogramm 726
Finanzierung 460
Flächenanspruch 434
Flächen
– inanspruchnahme 143
– nutzungs- und Bebauungsplan 799
– nutzungsplan 437
– nutzungsplanung 436
– statistik 204
Flora Fauna Habitat-Richtlinie 219
Folgekosten 362
Folgezeitlücke 348
Forderungen, denkmalpflegerische 450
Fragebogen
– aufbau 102
– entwicklung 108
– programm 116
– text (Pre-Test) 104
Frageformulierung 102
Fratar-Modell 280
Freigabezeit(en) 631, 724
– einblendungen 631
Freitextanzeige 711
Führerschein 61
Führung
– der Fußgänger 581
– direkte (Linksabbieger Radverkehr) 661
– im Seitenraum 673
– indirekte (Linksabbieger Radverkehr) 661
Führungsformen des Radverkehrs 656
Fünf(5)-Phasenprinzip 129
Fundamentaldiagramm 341
Funk- und Infrarotübertragung 631
Funktionen der Straße 3
Funktionen, städtische 152
Funktions
– analyse 388
– mischung 39
– trennung 207
Furten 527
– mit Lichtsignalanlage 528
Fußgänger 27
– und Radfahrerverkehr 448
– furten 683
– signalanlage, „schlafende“ 748
– sperrzeiten 683
– überwege 527, 680
– verkehr 516
– verkehrs- und Aufenthaltsflächen 526

Fußgänger
– verkehrsstärken 671
– zonen 26, 452f, 638
Fußwegenetz 499
Fuzzy-Logik 766

Ganglinie 329
Gartenstadt- und Heimstättenbewegung 417
Gebietsbezug (Erhebung) 85
Gebietstyp 403, 472, 510, 536, 557
gegliederte und aufgelockerte Stadt 5, 13, 24, 500
Geh- und Radweg, gemeinsamer 658
Gehgeschwindigkeit 671
Gehweg 673
– /Radfahrer frei 658
– breite im Seitenraum 675
– überfahrten 682
Gelegenheitsparker 584
Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz 6, 54, 798
Genauigkeit der schriftlichen Befragung 108
Genauigkeit eines Interviews 108
Gender 392
Generalverkehrspläne 5, 424
Geocodierung 106
Geographisches Informations-System (GIS) 88
Geschäftsmodelle 717
Geschichte des Verkehrs 3
Geschwindigkeit 21
– mittlere lokale 339
– mittlere momentane 340
– nutzungsverträgliche 507
– zulässige 618
Geschwindigkeits- und Abstandsverhalten 714
Geschwindigkeitsdämpfung 519
Gestaltungs- und Nutzungskonzept 444
Gewichtsfindung 365
Gewichtung 115, 123
Gewichtung von Wirkungen, zweistufige 363
Gleichgewichtsmodelle 245, 291
Gliederung, hierarchische 484
Gliederung nach Funktionen 422
Graph 251
Gravitationsmodell 274
Greenshields-Modell 342
Grenzkosten 783
Grenzwert 163, 801
Grenzzeitlücke 348
Großeinrichtungen 586
Großversuch 8
Grünband 741
Grünzeitverteilung, stauraumangepasste 746

Grund
– ausstattung (von Fußgängerverkehrsanlagen) 673
– formen der Signalisierung (Radfahrer) 748
– gesamtheit 109
– stückszufahrten 664
– wasserlagerstätten 216
– wartezeit, mittlere 737
Grüne Welle 630, 722, 739
Grünordnungsplan 809
Grünpfeil 728
Gruppendiskussion 117
Gruppenkurzbewertung 397
Gütefunktion 695
Güterkraftverkehr 297
Güter/Wirtschaftsverkehrsmanagement 704
Güterverkehr (Entwicklung) 309
– smanagement 709
– szentren 320, 450, 709
Habitateigenschaften 219
Halbmesser- bzw. Radiallinien 609
Haltesicht 529
Haltestellen 641
– am Fahrbahnrand 647
– inseln 643
– kaps 645
Handel 154
Handlungskonzept (Planungsprozess) 14
Handlungsrezepte (Straßenraumentwurf) 518
Handybasierte Befragung 119
Haupt
– geschäftsstraße 520, 531
– gütergruppen 305
– verkehrsmittel 70f, 74
Hauptverkehrsstraße
– anbaufreie 534
– angebaute städtische 520
– städtische 344
Hauptverkehrsstraßennetze 490
Haushaltsadressen 109
Haushaltsfragebogen 110
Haussmann 411
H-Bahn 606
Herstellungskosten 195
hierarchisches System von Straßen 158
Hinweise auf P+R-Anlagen, dynamisierte 713
hippodamisches System 405
historisch geprägte Bereiche 450
Hobrecht 411
Hoch
– bahnsteige 643
– leistungsstraße 534

Hochrechnung 115, 125
Hotline 106
Howard, Ebenezer 417

Identifikation 433, 438, 508
Identität 403, 433, 438, 508
Image des öffentlichen Verkehrs 591
Immissionsgrenzwert 803
Immissionskonzentration 146, 184
Individualfaktorenmodell 265
Individualverhaltensmodell 261f
Induktionsschleife 631, 637, 755
Informations
– kette 650
– phase 129
– system 56
– systeme, intermodale 711
Innenentwicklung 38
Innenringnetz 490
Inselbildungen 189
Inseln 524
Integration, städtebauliche 492
Interdependenzen, komplementäre 358
Interdisziplinarität 442
Intermodalität 75
Internalisierung externer Effekte 785
Internetbefragung 118
Interne-Zinsfuß-Methode 369
Interoperabilität 702, 711, 717
Interviewer 108
Interviewformen 108
INVERMO 66
Investition 194
Investitionskosten 194
Iterationsfreie Verfahren 255
Iterationsverfahren 255

Jobticket 55, 565
just in time 302

Kaldor-Hicks-Kriterium 356
Kalibrierung 14, 263
Kantenmenge 251
Kapazität 336
Kapazitätsermittlung, empirische 347
Kapitalkosten 717
Karten, digitale 706
Kassenautomaten 582
Kategoriengruppen 335
Kenngrößen für die Bewertung 617
Kennzeichenerfassung 88
Kennzeichenerfassung an Stellplatzanlagen 99
Kfz-Bestandsdaten 84
Klassifizierungsphase 129
Klimatope 220
Knotengewicht 365
Knotenmenge 251
Knotenpunkt(e)
– entwurf 542, 630
– formen 543
– ohne Lichtsignalanlagen 347
– planfreier 345, 536
– Plätze 542
Kohlendioxid 177
Kohlenmonoxid 177
Kombinierter Verkehr 318
Kommunikations- und Erlebnisraum 431
Kommunikationskomponente 706
kompakte und durchmischte Stadt 34
Kompensationseffekt 445
Komplexität des Bewertungsprozesses 15
Konfliktfläche 731
Kongestionseffekt 245
Konsistenz, logische 245
KONTIV 116
– -Erhebungen 304
Kontrolle der Wirkungen 11
Konzept, integriertes 57
Konzept, städtebauliches 444
Koordinierungsmaß 743
Korbbogen 528
Körperschall 621
Körperschalldämmung 621
Korridoranalyse 225
Kosten
– -Nutzen-Analyse 15, 367
– soziale 164
– - und Nutzenströme 718
– -Wirksamkeits-Analyse 15, 370
Kraftstoffverbrauch 188
Kreisverkehr, kleiner 543, 545
Kreisverkehrsplatz 350
Kriterienarten 394
Kriterien, verkehrliche 609
Kurzbefragung 92
Kurzbefragung zum ruhenden Verkehr 99
Kurzzeitzählung 86
k-v-Diagramm 341

Ladefläche 573
Lagefaktorenmodell 277
Landschaftsverbrauch 40
Landstraße 343
Langsamkeit 340

Längsaufstellung 571
Längsneigung 619
Langzeitzählung 86
Lärm 219
– beeinträchtigung 154
– -Einwohner-Gleichwerte 174
– schutz 169
– schutzwand 173
– wirkung 166
Lautheitsgewicht 174
Lautstärke 167
Le Corbusier 420f
Lebensraum 219
– fragmentierung 207
– funktion 213
Leitbild 13, 29, 55
Leit
– faden für Verkehrsplanungen 11
– linie 623
– strategie 693
– streifen/Bodenindikatoren 652
Level of Service, LOS 337
Lichtsignal
– anlagen 683
– programm 726
– steuerung an Kreisverkehrsplätzen 772
– steuerung, koordinierte 739
– steuerung, verkehrsabhängige 759
Linien
– bestimmungsverfahren 225, 809
– bedarfsgesteuerte 712
– beschlüsse 225
– koordinierung 739
– netzgestaltung 607
– taxi 606
Linksabbiegestreifen 522
Logit-Modell 270, 280, 285
– hierarchisches 272
– multinominales 271
Lösungsraum 358
Luft
– bildaufnahme (ruhender Verkehr) 101
– linienverbindung 469
– reinhalteplan 803
– schadstoff 175
– verunreinigung an Straßen 184

Makro- oder Aggregatmodell 258
Marketing, zielgruppenorientiertes 128
Markierung 623
Marktpreis 362
Maschenweite 484, 655
Maschenweite, effektive 221
Maß der Qualität des Verkehrsablaufs, MQV 336, 338
Massefedersystem 621
Massenverkehr, schienengebundener 23
Maßnahme,
– substitutive 358
– geschwindigkeitsdämpfende 476
– individuell wirkende 708
– kollektive 708
– lärmmindernde 621
– verkehrsbeschränkende 640
– verkehrslenkende 633, 640
– verkehrsregelnde 633
Maßnahmenkategorien des Verkehrsmanagements 692
Maßstabsebenen 211
Matrixverfahren 255
Mautregelung 55
Mautsysteme 790
Mehrfachanwurf 743
Mehrsystem-Stadtbahn 601
Mensch-Maschine-Interaktion 715
Merkzeichen 433, 452
Methoden
– der Gewichtungen von Wirkungen 361
– diskursive 393
– heuristische 367
– TA-basierte 387
Mietparker 584
Mikro- oder Individualverhaltensmodell 258
Mikrozensus 115
– Verkehr 2000 61
Milieu 433
Mindestfreigabezeit 724, 773
Minikreisverkehr 544, 547
Mischungsprinzip 476, 519, 538
Mischverkehr des Radverkehrs 656
Mischverkehrsfläche 683
Mitbenutzung von Gegenfahrstreifen 528
Mittelbahnsteige 642
Mittelinsel 680
Mittelungspegel 167, 170
Mobilität 10, 13
– sbehindert 672
– sbehinderte Menschen 649
– serweiterung 5
Mobilitäts
– kette 650
– management 692
– werkzeug 63
MOBINET 699

Modal-Split 436, 448
– -Änderung 10
– -Modell 282, 285
Modellstruktur, simultane 260
Modellvorstellung, planungsadäquate 14
Monetarisierung 386
Monte-Carlo-Simulation 359
Moore-Algorithmus 256
MOTION 769
Motorisierungsgrad 236

Nachfassaktion 123
Nachfrage
– gruppen 555
– liniennetz 613
– schwankungen 615
Nachhaltigkeit 33, 691
Nachlauf 753
Nachtbus 604
Natura 2000 212, 219
Naturschutzgebiet 219
Navigationssysteme, dynamische 711
Nettostichprobe 105
Netz
– beeinflussung, verkehrsadaptive 712
– beeinflussungssystem 713
– beschreibung, knotenorientierte 251
– beschreibung, streckenorientierte 253
– dichte 474
– element 486
– formen 488
– -Info 699
– klassen 209f
– koordinierung 739
– planung (motorisierter Individualverkehr) 475
– steuerung, adaptiv 768
– strukturen 483
Netze
– axiale 488
– deckungsgleiche 484
– für Fußgänger und Radfahrer 474
– getrennte 484
Niederflurbus 603
Niederflurfahrzeuge 644
Normenkontrolle 16, 810
Nutzen
– -Kosten-Quotient 367
– maximierungsmodell 288
– messung, direkte 133
– subjektiver 268
Nutzer
– beirat 396
– freundlichkeit 389
– gruppe 98
– kosten 149
– optimum 696
Nutzungs
– anspruch 511, 505, 517
– mischung 34
– zeit, wirtschaftliche 368
Nutzwertanalyse 15, 373

Oberbau, schotterloser 626
Oberbauformen 626
Oberflächengewässer 216
Objektzählung 80
Öffentlicher Raum 34
Öffentlicher Personennahverkehr 513
Öffentlichkeitsarbeit 8, 16, 113, 438, 461
Öffentlich-Private-Partnerschaft (Private Public Partnership, PPP) 355, 715, 786
Öffnung von Einbahnstraßen (Radverkehr) 660
Ökosystem 204
Operationalität 245
ÖPNV-Beschleunigungsprogramme 749
ÖPNV-Konzept 26
Optimalroutenverfahren 254
Optimierungsverfahren 367
Organisation der Betriebsbefragung 120
Organisation (Erhebung) 85
Orientierbarkeit 454, 475
Orientierung 403, 431, 433, 436, 438, 446, 452, 474, 508, 577
Orientierungswert 802
Orts- bzw. Stadtbusangebot 604
Ortsdurchfahrt 530
ÖV-Gebundenheit 283
ÖV-Vorrang 712
Ozonvorläufersubstanzen 176

P+R-Anlagen 585
P+R-Information, dynamische 708
Paneleffekt 118
Panelerhebung 117
Pareto-Kriterium 356
Pareto-Gleichgewicht 783
Park
– bauten 575
– buchten 571
– bühne mit Grube 583

Park
– bühne ohne Grube 583
– dauerverteilung 99
– ebenen 580
Parken, alternierendes 7, 8, 452f
Parkleitsystem 566, 713
– dynamisches 99
Parkraum
– angebot, aktuelles 558
– angebot, künftiges 559
– bedarf 559
– bereitstellung 565
– bereitstellung, wechselseitige 584
– bewirtschaftung 55
– bilanz 560
– management 708
Park
– regal 583
– standbreite 567
– stände mit besonderer Zweckbestimmung 587
– standtiefe 568
– systeme, automatische 583
– systeme, mechanische 582
Partizipationsverfahren 395
Permissivsignal 724
Personen
– beförderungsgesetz 617, 798
– fragebogen 110
– gruppe, verhaltenshomogene 262
– gruppenmodell 262
Pflanzfläche 457
Phase 726
– des Nachdenkens (Nachdenkphase) 6
– eines Wertewandels 8
Phasen
– anzahl 729
– aufrufplan 735
– einteilung 728
– folge 729
– übergänge 730
Pkw
– -Einheiten 327
– -Gebundenheit 283
– -Verfügbarkeit 61, 66
Plan
– anfechtung 16
– feststellung 16, 797, 804
– feststellungsbehörde 804
– feststellungsbeschluss 798
– feststellungsverfahren 225, 442
Planie 3
Planung 9
– als Entscheidungsgrundlage 10
– leitbildorientierte 13
– wertorientierte 13
Planungs
– ablauf 9
– begriff 11
– ebenen 211
– erfordernis 805
– horizont 13
– raum 13, 250
– recht 797
– schwerpunkt 445
– system 212
– zelle 397
Platzraum 431
Potenzialanalyse 44
Präferenzstruktur 366
Preiselastizität 53
Pre-Test 123
Primärsystem 608
Prinzipien der Netzgestaltung 412
Priorisierungsgrad 753
priority evaluator 134
Privatverkehr 296
Probit-Modell 268, 286
Problemanalyse 11, 615
Produktionsfunktion 213
Prognose 226
Progressionsgeschwindigkeit 739
Progressivsystem 741
Proportion 443
public awareness 8
Pulkstauchung 746
Pünktlichkeit 608
Punktuelle Engstellen 677

Qualität des Verkehrsablaufs 336, 721
Qualitäten, ortstypische 445
Qualitatives Interview 117
Qualitäts
– management 716
– sicherung 716
– sicherung (Erhebung) 123
– stufen des Verkehrsablaufs, QSV 336, 737
Quartier 51
Quartiersteuerung (durch verkehrsadaptive Lichtsignalsteuerung) 700
Quelle-Ziel-Beziehung 615
Querbeschleunigung 619
Querruck 619

Querschnitts
– gestaltung 476
– prognose 227
– veränderung 445
– zählung 80
– zählung, manuelle 87
q-v-Diagramm 341

Radaufstellbereich, aufgeweiteter 667
Radaufstellstreifen, aufgeweiteter 661
Radburn 417, 499
Radfahrerschleuse 661, 668, 749
Radfahrstreifen 525, 657, 665
Radial- oder Ringstraßensystem 412f, 612
Radialnetz 611
Radverkehr 516
– auf der Fahrbahn 525
– in Fußgängerbereichen 660
– sanlagen 525
– snetz 655
Radweg 448, 516, 525, 664
– ende 665
– furt 662
– selbständig geführter 660
– straßenbegleitende 525, 658
Rahmenbedingungen (Szenarien) 231
Rahmenplan, städtebaulicher 437f
Rahmensignalplan 735, 767
Rampe(n) 642, 651
– neigung 541
– system 577
– zuflusssteuerung 779
Random-Route-Verfahren 110
Rangordnungsverfahren 375
Rasen- bzw. Grüngleis 447
Rasenbahnkörper 626
Rad- und Fußwegenetze 497
Rasternetz 405, 424, 488, 538, 611
Raum
– aggregatmodell 261
– bedarf für den Radverkehr 516
– bedarf von Fußgängern 675
– bildung 453
– folgen 452
– folgen- und verknüpfung 443
– struktur 443
Raum, lichter 619
Räumgeschwindigkeit 684
Räumzeit 731
Rechtecksystem 412
Rechts vor Links 347
Rechtsabbiegestreifen 523
Reduktion des Autoverkehrs 13
RE-Entwurf 807
Regelkreis der Verkehrsbeeinflussung 702
Regelquerschnitt 520
Regelungsfunktion 213
Regionalplanung 437
Reichsdeputationshauptschluss 3
Reise 62
– geschwindigkeit 341
– information 693, 710
Reisender, mobilitätseingeschränkter 698
Reisezeit 186
Reliabilität 105
Reststauwartezeit 738
Reststufe 652
revealed preference 135
Richtungswechselbetrieb 774
Rillenschiene 626
Ring
– -Info 700
– netz 611
– straßensystem 413
Risikosituation 359
Road Pricing 781
Rollstuhlbenutzer 567f
Routenwahlmodell 287
– belastungsabhängiges 289
– dynamisches 289
– stochastisches 288
Rück
– antwort-Umschlag 123
– bau 460
– kopplung
– laufkontrolle 113
Rucksack-Problem 201
ruhender Verkehr 435
Rundum-Grün für Fußgänger 748

Sachverständigenkommission 6
Sammeltaxen 604
Satellitennavigation 703
Sättigungs
– grad 734
– verkehrsstärke 733
– wert 53
Satzung 805
S-Bahn 594
Schadstoff
– -Einwohner-Gleichwerte 185
– emission 162
– immission 162
Schall 219

Schall
– druckpegel, A-bewertetes 167
– emission 168
– immission 168
– schutzfenster 173
Schaltung, konfliktfreie 684
Schilder 453
Schleifenstraße 488
Schleppkurve 511, 528, 633
Schönheit 433
Schrägaufstellung 572
Schrittgeschwindigkeit 7
Schutzstreifen 656. 667
Schwebebahn 605
Schwelle 8, 639
SCOOT 720
Segregation, soziale 6
Seilschwebebahn 605
Seitenbahnsteig 642
Seitenraum, vorgezogener 524, 680
Seitenraumführung des Radverkehrs 656
Sektorsteuerung 700
Sekundärsystem 608
Senkrechtaufstellung 573
Sensitivitätsanalyse 373
Sensorik 702, 704
Service- und Motivationsphase 129
Sicherheits
– potential 147f
– situation 359
– trennstreifen 664
Sichtfeld 528
Siedlungsdichte 37
Siedlungsstruktur 39, 208, 235
Signalfolge (Farbfolge) 723
Signalisierung 630
– nicht vollständige 772
Signalprogramm
– anpassung 764
– auswahl, verkehrsabhängige 720, 764
– auswahl, zeitplanabhängige 761
– bildung 755, 764
Simulation des Verkehrsablaufs, mikroskopische 722
Simulationsverfahren, enumeratives 367
Simulationsverfahren, stochastisches 367
Situation, straßenräumliche 510
Situationsanalyse, verkehrliche 690
Sitte, Camillo 416
Slow-Motion-Analyse 389
Sozialkontrolle 474
Spaltbreite 652
Sperrfläche 623
Sperrung, temporäre 475
Sperrzeit 732
Spezialdatei 109
Spurbus 606
Stadt
– anlagen, planmäßige 408
– autobahn 5, 425, 535
– bahn 596
– bahnhaltestelle 642
– bild 156, 431
– einfahrt 446
– entwicklung 31
– entwicklungskonzept 42
– entwicklungsplanung 31
– grundrisse, historische 19
– mittelalterliche 22
– planung 30
– plätze 548
– rand und Tor zur Stadt 452
– schnellbahn 594
– schnellstraße 5
– straßen, mittelalterliche 407
– struktur 436, 452
– strukturmodell 31
– teilkonzept 7
– teilzentrum 520
– zentrum 159
Städtebau 32
– neuzeitlicher 409
Standardlinienbus 603
Standortwahl (Parkplätze, Parkbauten) 557
Standseilbahn 605
stated
– choice 134, 135
– preference 133
– prospect 134
– response 133
Statussymbol 4
Stau 350
Stellplatzverpflichtung 565
Stellplätze, notwendige 565
Steuerung, verkehrsabhängige 759
Steuerung, zeitabhängige 760
Steuerungsintelligenz 701
Steuerungsverfahren 693
– logikbasiertes 754, 762
– makroskopisches 760
– mikroskopisches 760
– modellbasiertes 754, 767
– verkehrsabhängiges 751
Stichprobe 114

Stichprobenplanung 104
Stichstraße 487
Stickoxid 176
Störungsmanagement 703
Straßen
– bahn 596
– baulast 798
– bewirtschaftung über Straßennutzergebühren 708
– gesetze der Länder 798
– kategorien 479
– markt 407
– mobiliar 443, 458
– neuregelungsgesetz 3, 4
– nutzungsgebühren (Road Pricing) 56, 57
Straßenraum 431
– entwurf 504, 505
– entwurf, ganzheitlicher 442
– freigabe, dynamische 758
– gestaltung 504
Straßenrecht 799
Straßenumbau 450
Straßenverkehrs
– gesetz 799
– ordnung 799
– recht 799
Strategie 11
– management 706
Streckenbeeinflussungsanlage 713
Streckencharakteristik 452, 482
Stromerhebung 83, 88
Strukturmodell, städtebauliches 464
Stufengewicht 365
Subsidaritätsprinzip 706, 715
Summeneffekt 207
SV-Anteil 327
Systemarchitektur 701
– offene 702
System
– gleichgewicht 293
– optimum 696, 783
– struktur, teilzentrale 761
Szenariotechnik 227

Tangentenpolygon, inneres 414
Tangential- und Ringlinie 610
Tank- und Rastanlage 459
Tarif, mehrstufiger 784
Taxiruf 606
Technikfolgenabschätzung 385
Teilaufpflasterung 541
Teilpunkt 739
Teilpunktabstand 739
Telefonexploration 129
Telekommunikation 233
Telematik 691
Tempo-30-Zone 449, 496, 519, 541, 638
Ticket, elektronisches 708
Tour 62
Traffic In Towns 6
Träger öffentlicher Belange 808
Tragseilfahrleitung 627
Transformation 364
Transparenz 245
Transportkosten 186
TRANSYT 720
Trassenführung 618
Trassierungsrichtlinie 618
Treibhausgas 211
Trendextrapolation 227
Trendprognose 328
Trend-Szenario 53
Trennungsprinzip 476, 518
Trennwirkung 189, 535
Trennwirkung, funktionale 447, 508
Tunnelbaurichtlinie 619
Tunnelstrecke 619

U-Bahn 595
Überfahrt 628
Überfahrzeit 731
Überflutungsgebiete 217
Übergangs
– bogen 619
– signal 724
– zeit 723
Überhangstreifen 570
Überhöhung 619
Überlastungshäufigkeit 331
Überquerung von Fahrbahnen 474
Überquerungs
– anlage 679
– aufwand 189
– hilfe 524, 527, 748
Überweg 527, 629
Überzeugungsphase 129
Umbau 538
– geschwindigkeitsdämpfender 476
Umbruchphase 7
Umfeldphase 7
Umlaufparker 583
Umlaufzeit 732f, 773
– wartezeitoptimierte 735
– verkürzung 743

Umsetzparker 583
Umweg 474, 671
Umweltverbund 55
Umweltverträglichkeitsprüfung 212, 803
Umweltverträglichkeitsstudie 212, 223
Unfall
– schwere 165
– typ 165
– typensteckkarte 165
– verhütungsvorschrift 620
Ungewissheitssituation 359
Unter- bzw. Überführung 685
Unterhaltskosten 717
Unterhaltung 198
Untersuchungs
– einheit 120
– gebiet 250, 558
– raum 13
Unverträglichkeit der Wagengröße 447
Unverwechselbarkeit 433
Unverwechselbarkeit der Räume 445

Validität 105
Variante 355
vektorieller Charakter der Mobilität 13
Veränderungssperre 810
Verästelungsnetz 490
Verbindlichkeit der Planung 806
Verbindungsfunktion 333, 463, 477
Verbindungsfunktionsstufe 335, 470
Verfahren
– formalisiertes 15
– nicht-formalisiertes 15
– planungsrechtliches 16
– teil-fomalisiertes 15
Verflechtungsstrecke 345
Verfrühung, geplante 74
Verfügbarkeit der Verkehrsmittel 4
Verfügbarkeit, zeitliche 9
Vergleich, paarweiser 375
Verhaltensdaten 84
Verkehrs
– bauwerk 444, 454
– beeinflussungssystem 689
– befragung KiD 305
Verkehrsberuhigter Bereich 158, 452, 519, 638, 682
Verkehrsberuhigung 27, 429, 669
– flächenhafte 7
Verkehrsberuhigungs
– maßnahmen 435, 445, 453, 637
– planung 437
Verkehrsdaten 84
Verkehrsdichte 340
Verkehrsentwicklungsplanung 689
Verkehrserfassungssystem, videobasiertes 88
Verkehrserzeugungsmodell 259, 261
Verkehrs
– fläche 143, 204
– führung 577
– funk 711
– information 693
– lage 706
– lärm 166
– leitstrategie 689
– lenkung und Verkehrssteuerung 711
Verkehrsmanagement 689, 699
– arbeitsplätze 690, 705
– kooperatives 699
– strategisches 689
– taktisches 690
Verkehrsmittelwahl 72, 260
– situation 283
Verkehrskonzept, integriertes 14
Verkehrsnachfrage 69
– management 693, 708
– modelle, individuelle 244
Verkehrsnetzmodell 251
Verkehrsplanung, integrale 465
Verkehrsprognose 243
Verkehrsraum des Fußgängerverkehrs 516
Verkehrssicherheit 147, 165,721
Verkehrsstärke 339
Verkehrssteuerung 693
Verkehrsstrom
– maßgebender 733
– modell 259
– verträgliche 728
Verkehrstelematik 689
Verkehrsträger 304
Verkehrsumlegung 260
Verkehrsverhalten 692
Verkehrsverteilung 259
Verkehrswegekategorie 469
Verkehrswegewahl- oder Umlegungsmodell 259
Verkehrszählanlage 87
Verkehrszeiten 615
Verkehrszielwahl- oder Verkehrsverteilungsmodell 259, 273
Verknüpfungspunkt 648
Vermeidungsansatz 185
Vermeidungskostenansatz 175, 362
Vernetzung (der unterschiedlichen Verkehrsarten) 28

Versandunterlagen 112
Versatz 541, 639
– zeitreduzierung 744
Verschiebeplatte 583
Versuchsplanung 718
Verträglichkeit, städtebauliche 448
Verwaltungsstreitverfahren 16
Verziehungsstrecke 522
Vierstufen-Algorithmus 259
Vignolschiene 626
VNETS 704
Vollkostenumlage 784
Vollmotorisierung 23, 26
Vor- und Nachlauf 631
Vorbehaltsnetz 638
Vorbehaltsstraßen 55
Vorfahrtregelung „rechts vor links“ 477
Vorgabezeit 723
Vorgehensweise, ganzheitliche 436
Vorlauf 753

Wagenumlauf 608
Wahl der Radverkehrsführung 659
Wahl einer Erhebungsmethode 80
Warn-/Orientierungsstreifen 652
Wartezeit 737
Wasserqualität 216
Wechsel
– lichtzeichen 721
– verkehrszeichen 711
– verkehrszeichen, substitutives oder additives 713
Weg 62
Wege
– dauer 70
– fragebogen 110
– kettenmodell 259
– kosten 150
– länge 70f
Wegweiser 453
Wegweisungssystem für den Radverkehr 663
Wendeanlage 542
Wenn-dann-Aussage 244
Wert
– freiheitstheorie 361
– schöpfungskette 716
– synthese 361
– urteilsstreit 362
Wettbewerb, städtebaulicher 444
Widerstandsdefinition 281
Widerstandsmerkmal 254
Widmung 799
Wiederaufbau (nach dem Krieg) 20
Wiener Ringstraße 411
willingness-to-pay-Methode 362
Wirkkomponente 205
Wirkungen 355
– des Verkehrs 140
– intangible 162
– monetisierbare 362
Wirkungs
– analyse
– komponente 204
– raum 358
– schätzung (Unsicherheit) 359
– träger 357
Wirtschaftsverkehr 296, 450
Witterungsschutz 550, 652, 678
Wohlstandszeichen 5
Wohnumfeld 7

Z-Abschrankung 629
Zählung
– an Haltestellen 91
– des Fahrradverkehrs 96
– des Fußgängerverkehrs 95
– in Fahrzeugen 91
Zahlungsbereitschaft 698
Zahnradbahn 605
Zebrastreifen 527
Zeit (Erhebung) 85
– aufwand 475
– bedarfsverfahren 732
– bedarfswert 733
– lückenmessung 766
– strukturen und Zeitbudgets 237
– -Weg-Diagramm 739
Zellularfunk 703
Zentrale 702
Zentraler Omnibusbahnhof 549
Zentrale Orte 334
Zentren und Achsen 436
Zentren-Achsen-Konzept 437
Zentrenkonzept 437
Zersiedlung 25, 155
Ziele 11
Ziele (Netzkonzeption) 467
Ziele (Lichtsignalsteuerung) 721
Zielerreichungsgrad 364
Zielfeld
– Soziale Brauchbarkeit 508
– Straßenraumgestalt 509
– Umfeldverträglichkeit 508
– Verkehr 507

Zielfeld Wirtschaftlichkeit 509
Zielführungssystem 711
Zielfunktion 771
Zielkatalog 11, 13, 357
Zielorientierung, fahrtzweckspezifische 10
Zielwert 230
Zubringer- und Verteilerfunktion 608
Zufahrtsoptimierung 714
Zuflussdosierung 722
Zugangsweg 651
Zulässigkeitsprüfung 360
Zustandsanalyse 11, 13f
Zustandsgleichung 341
Zweirichtungsfahrzeug 600
Zwischenzeit 730