

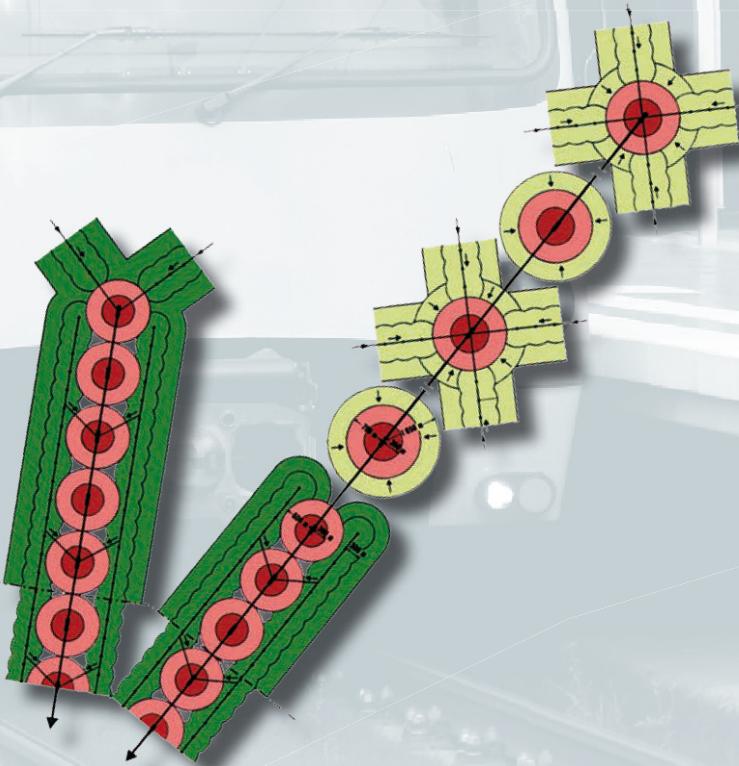


Uwe Köhler

U
Stadtbahn

Einführung in die Verkehrsplanung

Grundlagen, Modellbildung,
Verkehrsprognose, Verkehrsnetze



Fraunhofer IRB ■ Verlag

Uwe Köhler

Einführung in die Verkehrsplanung

Uwe Köhler

Einführung in die Verkehrsplanung

Grundlagen, Modellbildung,
Verkehrsprognose, Verkehrsnetze

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9041-9

ISBN (E-Book): 978-3-8167-9042-6

Lektorat: Thomas Altmann

Herstellung: Angelika Schmid

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Satz: Manuela Gantner – Punkt, STRICH.

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, Kempten

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen.

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

© Fraunhofer IRB Verlag, 2014

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 9 70-25 00

Telefax +49 711 9 70-25 08

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Vorwort

In diesem Buch werden die Grundlagen der Verkehrsplanung behandelt, wobei ich versucht habe, das Thema einerseits möglichst umfassend darzustellen, andererseits die einzelnen Teilthemen aber nicht allzu vertieft zu behandeln, da das Buch in erster Linie einen Überblick über den gesamten Prozess der Verkehrsplanung geben soll. Wer sich ausführlicher mit einzelnen Verfahrensschritten und Methoden der Verkehrsplanung auseinandersetzen will, sei auf die entsprechenden im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen verwiesen.

Der Schwerpunkt des Buches liegt auf dem landgebundenen Stadt- und Regionalverkehr, der Fernverkehr wird nur am Rand betrachtet. Dabei habe ich mich bemüht zu verdeutlichen, dass alle Verkehrsarten (Fußgägerverkehr, Radverkehr, öffentlicher Personennahverkehr und Kraftfahrzeugverkehr) in der Verkehrsplanung gleichgewichtig zu behandeln sind. Dennoch kann es nicht ausbleiben, dass dem Kraftfahrzeugverkehr mehr Seiten gewidmet sind als dem Fußgägerverkehr, weil die Anforderungen, die der Kraftfahrzeugverkehr an das gesamte Verkehrssystem stellt, komplexer sind und somit komplexere Lösungen erfordern.

Das Buch wendet sich an Studierende, die sich im Verlauf ihres Studiums mit dem Verkehrswesen befassen sowie an Angehörige von Verkehrs- und Planungsämtern, sonstigen Verkehrsverwaltungen und darüber hinaus an alle an der Verkehrsplanung Interessierte.

Professor Dr.-Ing. Manfred Boltze (TU Darmstadt) danke ich sehr für seine wertvollen Anregungen und Kommentare. Vieles davon ist in das Buch eingeflossen.

Zu Dank verpflichtet bin ich der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), aus deren Richtlinien und sonstigen Veröffentlichungen ich etliche Abbildungen entnommen habe. Alle diese Quellen sind im Literaturverzeichnis aufgeführt.

Danken möchte ich auch dem Fraunhofer IRB Verlag und besonders dem Lektor Dipl.-Ing. Thomas Altmann. Er hat die Anregung zu diesem Buch gegeben.

Rödermark, im Juli 2013
Uwe Köhler

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Menschen, Güter und Verkehr	9
1.1 Grundlagen	9
1.2 Personenverkehr	9
1.2.1 Einflussgrößen	9
1.2.2 Mobilität im Personenverkehr	13
1.3 Güterverkehr	15
2 Stadt, Raum und Verkehr	17
2.1 Entstehung von Verkehr	17
2.2 Stadtstruktur und Verkehr	18
2.3 Der Verkehrsplanungsprozess	21
3 Verkehrserhebungen	24
4 Verkehrsmodelle	31
4.1 Modelle allgemein	31
4.2 Verkehrsnachfragemodelle	32
4.2.1 Modellformen	32
4.2.2 Verkehrserzeugung	34
4.2.3 Verkehrsmittelwahl	39
4.2.4 Verkehrsverteilung	43
4.2.5 Zusammenhang zwischen Verkehrserzeugung, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsverteilung	44
4.2.6 Routenwahl	45
4.2.7 Die Verkehrsnachfragemodellierung im Überblick	51
4.3 Sonstige Verkehrsmodelle	56
5 Prognose	57
6 Verkehrsplanerische Konzepte	63
6.1 Leitbilder der Stadt- und Verkehrsplanung	63
6.2 Verkehrsnetze	64
6.3 Strecken und Knotenpunkte	73
6.4 Ruhender Verkehr	79

6.5	Radverkehr	87
6.6	Fußgängerverkehr.	89
6.7	Öffentlicher Personennahverkehr	91
6.8	Verknüpfung und Vernetzung der Verkehrssysteme	95
6.9	Einsatzbereiche von Verkehrsmitteln	98
7	Verkehrliche Wirkungen	101
7.1	Grundlagen	101
7.2	Verkehr und Umwelt	103
7.3	Verkehrssicherheit	114
7.4	Erreichbarkeit	119
8	Verfahren zur Entscheidungsfindung	124
8.1	Beurteilung, Abwägung und Auswahl.	124
8.2	Zielsystem	125
8.3	Nichtformalisierte Bewertungsverfahren	128
8.4	Teilformalisierte Bewertungsverfahren	128
8.5	Formalisierte Bewertungsverfahren.	132
8.5.1	Nutzen-Kosten-Analyse	133
8.5.2	Nutzwertanalyse	135
8.5.3	Wirksamkeits-Kosten-Analyse.	140
8.5.4	Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs	141
9	Zukunft des Verkehrs	145
9.1	Verkehrsentwicklung bis 2030 in Deutschland	145
9.2	Konsequenzen für die Verkehrsplanung.	151
Anhang	157	
Abbildungsverzeichnis	157	
Tabellenverzeichnis	160	
Literaturverzeichnis	162	
Stichwortverzeichnis	165	

Abkürzungsverzeichnis

AST	AnrufSammelTaxi
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
B+R	Bike and Ride
BV	Binnenverkehr
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
DV	Durchgangsverkehr
E	Einwohner
ER	Erreichbarkeit
EW	Erwerbstätige
F_{ij}	Anzahl Wege/Fahrten von i nach j
FGÜ	Fußgängerüberweg (Zebrastreifen)
Fz	Fahrzeug
G	Gemeinde/Gemeindeteil
GFZ	Geschossflächenzahl
GRZ	Grundflächenzahl
GVZ	Güterverkehrszentrum
GZ	Grundzentrum
HH	Haushalte
ITF	Integraler Taktfahrplan
IV/MIV	Individualverkehr/Motorisierter Individualverkehr
Kfz	Kraftfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
MR	Metropolregion
MZ	Mittelzentrum
NKA	Nutzen-Kosten-Analyse
NWA	Nutzwertanalyse
ÖV/ÖPNV	Öffentlicher Verkehr/Öffentlicher Personennahverkehr
OZ	Oberzentrum
Pkw	Personenkraftwagen
P+R	Park and Ride
QV/Q _i	Quellverkehr/Quellverkehrsaufkommen des Ortes i
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
Strab	Straßenbahn
StVO	Straßenverkehrsordnung
U _r	Unfallrate
UZ	Unterzentrum
WKA	Wirksamkeits-Kosten-Analyse
ZV/Z _j	Zielverkehr/Zielverkehrsaufkommen des Ortes j

1 Menschen, Güter und Verkehr

1.1 Grundlagen

Verkehr ist die Ortsveränderung von Personen und Gütern (Nachrichten und Energie werden hier nicht behandelt) [1]. Zur Bewältigung der Ortsveränderungen ist ein Verkehrssystem erforderlich, das aus verschiedenen Subsystemen besteht und mit dazugehörigen Verkehrsmitteln betrieben wird (vgl. Tabelle 1.1)

Tabelle 1.1: Verkehrssystem

Subsysteme	Verkehrsmittel (Beispiele)
Spurgebundene Verkehrssysteme (für Personen- und Güterverkehr)	Straßenbahn, U-Bahn Güterzug
Straßengebundene Verkehrssysteme (für Personen- und Güterverkehr)	Kfz, Omnibus Lastkraftwagen (Lkw)
Luftverkehrssysteme (für Personen- und Güterverkehr)	Passagierflugzeug Frachtflugzeug
Binnenwasserstraßen- und Seeverkehrssysteme (für Personen- und Güterverkehr)	Personenfähre Frachtschiff

In diesem Buch liegen die Schwerpunkte der Betrachtung auf spurgebundenen und straßengebundenen Systemen des städtischen und regionalen Personenverkehrs, weniger des Fernverkehrs¹ und auf der Planung der verkehrlichen Infrastruktur, nicht auf der Planung des Betriebs.

1.2 Personenverkehr

1.2.1 Einflussgrößen

Der Umfang des in einer Raumeinheit entstehenden Personenverkehrs hängt u.a. ab von

¹ Fernverkehr beginnt definitionsgemäß ab einer Wegelänge von 100 km.

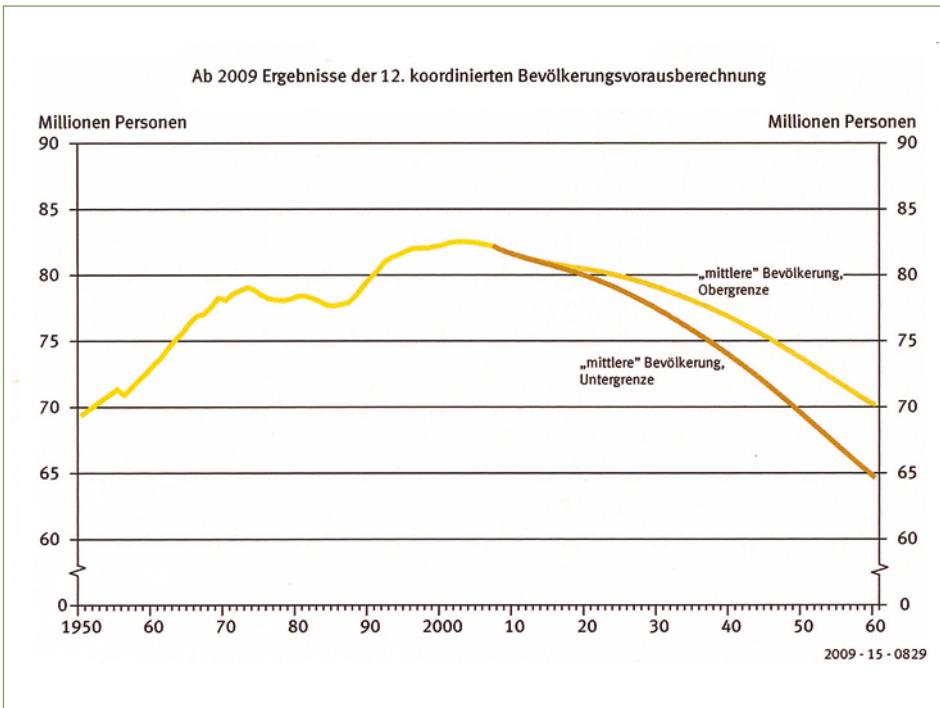


Abb. 1.1: Entwicklung der Bevölkerungsanzahl in Deutschland [Quelle: Statistisches Bundesamt, Bevölkerung Deutschlands bis zum Jahre 2060 – 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden, 2009]

- der Raum- und Stadtstruktur,
- der Anzahl der in diesem Raum lebenden und der mit diesem Raum im Austausch stehenden Menschen, ihrer Altersstruktur, ihren Aktivitäten und ihren Lebensstilen,
- der sozialen Struktur des Raumes (Anzahl und Art der Ausbildungs- und Arbeitsplätze, Umfang an Besorgungs- und Freizeitgelegenheiten) und
- der Qualität des Verkehrssystems.

Verändern sich eine oder mehrere dieser Größen, verändert sich auch die Verkehrs nachfrage. So ist z. B. in den nächsten Jahrzehnten mit einer Abnahme der Bevölkerungszahl in Deutschland (vgl. Abb. 1.1) zu rechnen.

Die in Abb. 1.1 dargestellten unterschiedlichen Entwicklungen können u. a. durch unterschiedliche Annahmen zur Anzahl von Ein- und Auswanderern erklärt werden. Diese Entwicklung verteilt sich nicht gleichmäßig über Deutschland. So wird es neben Räumen mit starker Bevölkerungsabnahme (Entleerungsräume) auch Gebiete mit Einwohnerzuwachsen geben (vgl. Abb. 1.2).

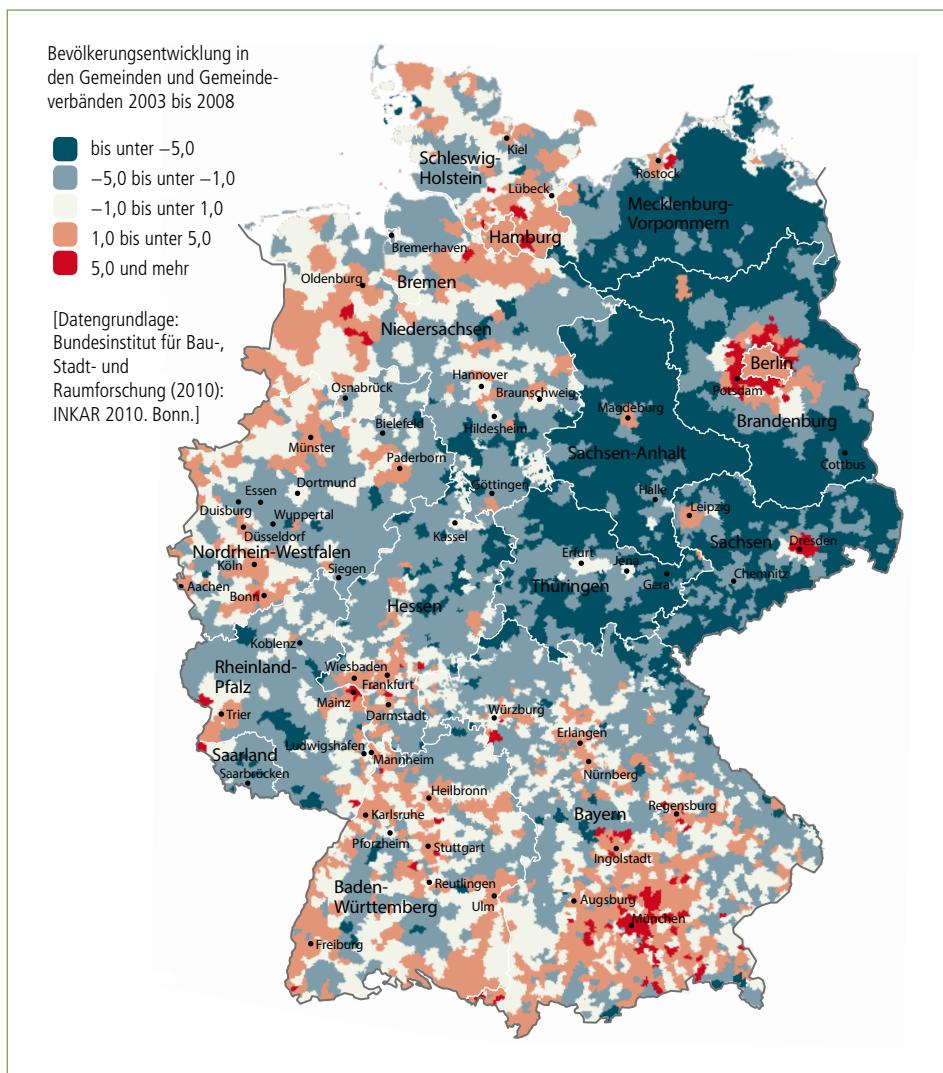


Abb. 1.2: Räumliche Zu- und Abwanderung der Bevölkerung [Quelle: Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung 2009 – Die Zukunft der Dörfer, www.berlin-institut.org]

Da die Verkehrs nachfrage u.a. von der Anzahl der in einem Raum lebenden Menschen abhängt, ist davon auszugehen, dass mit abnehmender Bevölkerungszahl das Verkehrsaufkommen im Personenverkehr zurückgehen wird.

Auch der Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland unterliegt Veränderungen, die einen Einfluss auf das Verkehrsgeschehen haben. Abb. 1.3 zeigt den Altersaufbau der Bevölkerung Deutschlands für die Jahre 1910, 1950 und 2008 sowie in einer Prognose für 2060. Es ist leicht zu erkennen, dass der Anteil junger Menschen bis zum Jahr 2060 deutlich abnehmen und der Anteil der

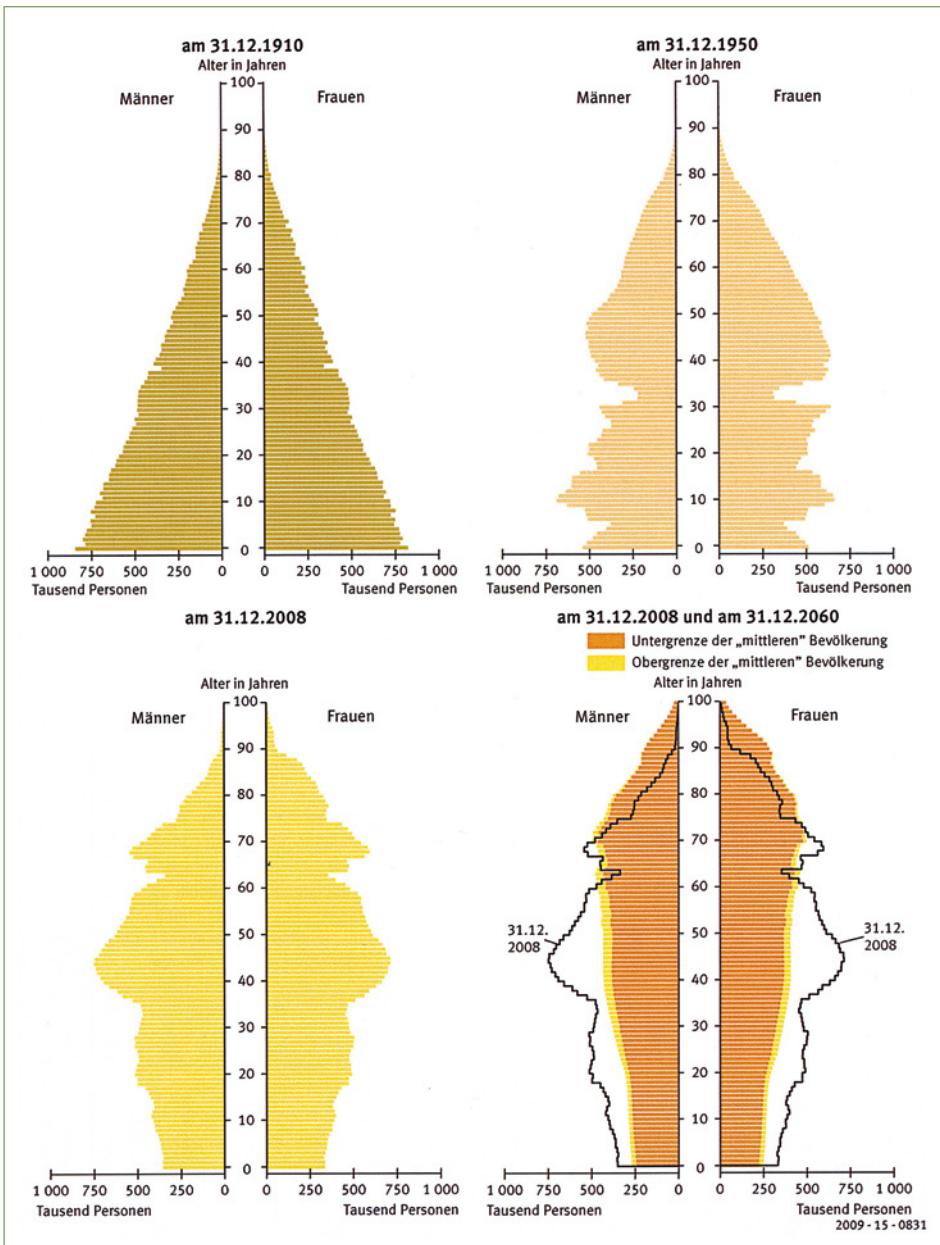


Abb. 1.3: Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland [Quelle: Statistisches Bundesamt, 2009]

Älteren deutlich zunehmen wird. Dies hat z. B. Konsequenzen sowohl für den Schülerverkehr (die Schülerzahlen gehen zurück, möglicherweise mit entsprechenden Auswirkungen auf den öffentlichen Personennahverkehr) als auch für den Besorgungs- und Freizeitverkehr (mehr ältere Menschen verursachen mehr

Besorgungs- und Freizeitverkehr und weniger Berufsverkehr). Lebens- und Arbeitsweisen (z.B. IT-gestütztes Arbeiten zu Hause, E-Commerce, E-Banking) beeinflussen ebenfalls sowohl die Verkehrsstrukturen als auch die Verkehrs-nachfrage. Bisher liegen hierzu allerdings noch nicht allzu viele Erfahrungen vor.

1.2.2 Mobilität im Personenverkehr

Mobilität im Personenverkehr umfasst die Möglichkeiten, Ortsveränderungen durchführen zu können. Mobilität setzt somit voraus, dass Optionen zur Durchführung von Ortsveränderungen bestehen und auch genutzt werden können [2]. Die realisierte Mobilität bildet das beobachtbare Personenverkehrs-geschehen und kann mithilfe der drei personenbezogenen Größen

- Mobilitätsrate,
- Verkehrsleistung (Verkehrsaufkommen),
- Unterwegszeit

quantifiziert werden (vgl. Tabelle 1.2).

Tabelle 1.2: Mobilitätsdaten der Bevölkerung in Deutschland 2008 [Quellen: Mobilität in Deutschland (MiD2008); infas, DLR, im Auftrag des BMVBS; Das Deutsche Mobilitätspanel (MOP2008); KIT, Institut für Verkehrswesen, im Auftrag des BMVBS]

Begriff	Dimension	Ausprägung
Mobilitätsrate	Wege / Person und Tag	3,4
Verkehrsleistung	km / Person und Tag	41
Unterwegszeit	min / Person und Tag	80

Es ist zu beachten, dass die Werte in Tabelle 1.2 Durchschnittswerte über die gesamte Bevölkerung Deutschlands sind und bei Einzelpersonen deutlich davon abweichen können.

Während die Mobilitätsrate und insbesondere die Unterwegszeit pro Person relativ stabile Größen über den Zeitverlauf sind (d.h. sich nur geringfügig erhöht haben), wies die Verkehrsleistung pro Person und Tag bis Mitte der 90er-Jahre des letzten Jahrhunderts deutliche Zuwächse auf. So betrug sie im Jahre 1976 noch rd. 27 km pro Person und Tag. Dies liegt nicht zuletzt an den schneller gewordenen Verkehrsmitteln. In den letzten 15 Jahren hat sich jedoch die Verkehrsleistung pro Person und Tag nicht mehr wesentlich erhöht. Die gerin-gen Veränderungen des Zeitbudgets (auch über Jahrhunderte hinweg) können damit erklärt werden, dass der Tagesablauf eines Durchschnittsmenschen im Wesentlichen durch Routinen (Arbeit und Ausbildung, Schlafen, Versorgung usw.) geprägt wird, die den größten Teil der 24 Stunden eines Tages in An-

spruch nehmen, sodass für Ortsveränderungen nur eine begrenzte Zeit übrig bleibt (Hypothese des relativ stabilen Zeitbudgets für Ortsveränderungen).

Die in Tabelle 1.2 aufgeführten Größen sind unabhängig von den für die Wege benutzten Verkehrsmitteln. Bezogen auf die Verkehrsleistung im binnennärdischen Personenverkehr (2008: rd. 1070 Mrd. Personenkilometer) zeigt Tabelle 1.3 die prozentuale Aufteilung dieser Verkehrsleistung auf die dem Personenverkehr zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel (Modal Split) (ohne Fußgänger- und Radverkehr).

Tabelle 1.3: Modal Split im binnennärdischen Personenverkehr 2009 (bezogen auf die Verkehrsleistung)
[Quelle: Verkehr in Zahlen 2010/2011]

Verkehrsmittel	%-Anteil
Motorisierter Individualverkehr	81
Öffentlicher straßengebundener Straßenpersonenverkehr	7
Eisenbahnverkehr*	7
Luftverkehr	5

* einschl. S-Bahn

Wird die Verkehrsmittelnutzung auf die Anzahl der Wege (nicht auf die Verkehrsleistung) bezogen, ergibt sich für den Modal Split (ohne Luftverkehr) ein anderes Bild (vgl. Tabelle 1.4).

Tabelle 1.4: Modal Split im Personenverkehr 2008 (bezogen auf die Wege) – Personen ab 10 Jahren
[Quelle: MiD2008]

Verkehrsmittel	%-Anteil
Motorisierter Individualverkehr	57
Öffentlicher Personenverkehr	9
Radverkehr	10
Fußgängerverkehr	24

Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Alltagsverkehr Fußwege nur bei kurzen Entfernungen, Radwege bei Entfernungen von etwa 10 bis 15 km auftreten. Die Nutzung eines bestimmten Verkehrsmittels für einen Weg hängt von vielen Gründen ab (z.B. Führerscheinbesitz, Alter). Für einen Teil der Bevölkerung gibt es allerdings keine oder nur eine eingeschränkte Wahlmöglichkeit (z. B. kein Pkw zur Verfügung).

Die Verkehrsmittelnutzung ist in erheblichem Maße auch von der Raumstruktur abhängig. Während in großen Städten der Anteil des öffentlichen Personennahverkehrs an allen Wegen z. T. deutlich mehr als 20 % ausmacht, liegt er in ländlichen Räumen meistens deutlich unter 10 %. Grund hierfür ist die unterschiedliche Angebotsqualität des öffentlichen Personennahverkehrs in Städten und in ländlichen Räumen. Ein Beispiel für die Verkehrsmittelnutzung (bezogen auf Wege der Einwohner der Stadt Frankfurt am Main) zeigt Tabelle 1.5.

Tabelle 1.5: Modal Split der Einwohner von Frankfurt am Main 2008 [Quelle: [3]]

Verkehrsmittel	%-Anteil
Motorisierter Individualverkehr	34
Öffentlicher Personennahverkehr	23
Radverkehr	13
Fußgängerverkehr	30

Die in den Tabellen 1.3 bis 1.5 verwendeten Begriffe werden in Anlehnung an die Begriffsbestimmungen, Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2012) wie folgt definiert:

- Motorisierter Individualverkehr (MIV):
Personenverkehr mit nicht allgemein zugänglichen motorisierten Verkehrsmitteln,
- Öffentlicher Personenverkehr (ÖPV):
Personenverkehr mit allgemein zugänglichen Verkehrsmitteln,
- Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV):
Personenverkehr im Orts- oder Regionalverkehr mit allgemein zugänglichen Verkehrsmitteln,
- Öffentlicher straßengebundener Personennahverkehr (ÖSPV):
Personenverkehr im Orts- oder Regionalverkehr mit den allgemein zugänglichen Verkehrsmitteln Omnibus, Straßenbahn, Stadtbahn, U-Bahn.

1.3 Güterverkehr

Transport im Güterverkehr umfasst die Möglichkeit, marktgerechte Ortsveränderungen von Gütern durchführen zu können. Die realisierten Transportvorgänge bilden das beobachtbare Güter-Verkehrsgeschehen.

Gegenüber dem Personenverkehr kommen im Güterverkehr der Lkw (bzw. artverwandte Typen), die Eisenbahn, das Binnenschiff und Rohrfernleitungen in Frage, Radverkehr nur sehr einschränkt (Fahrradkuriere), ebenso der öffentliche Personennahverkehr (einziges Beispiel in Deutschland ist die Cargo Tram in Dresden) (Tabelle 1.6).

Tabelle 1.6: Modal Split im binnenländischen Güterverkehr 2009 (bezogen auf die Güterverkehrsleistung) [Quelle: Verkehr in Zahlen 2010/2011]

Verkehrsmittel	%-Anteil
Straßengüterverkehr	71
Eisenbahnverkehr	16
Binnenschiffsverkehr	10
Rohrfernleitungen	3

Die gesamte Transportleistung im binnenländischen Güterverkehr Deutschlands betrug im Jahr 2008 rd. 670 Mrd. Tonnenkilometer. Sie ist gegenüber dem Jahr 2000 um rd. 30 % angewachsen und wird auch in Zukunft noch weiter zunehmen. Verantwortlich für diesen weiteren Zuwachs sind mehrere Gründe, so z. B. die sinkende Produktionstiefe (es werden mehr Teile eines Produktes von Zulieferern besorgt), neue Logistikkonzepte (z. B. Just-in-time-Anlieferung) und die stärkere internationale Verflechtung der einzelnen Volkswirtschaften.

Während der Anteil des Straßengüterverkehrs in den letzten Jahrzehnten deutlich zunahm, sank der Anteil der Eisenbahnen am gesamten Güterverkehr kontinuierlich ab (er betrug im Jahr 1980 noch rd. 26 %). In den letzten Jahren schwächte sich diese Entwicklung allerdings etwas ab. Wesentliche Gründe für diesen Strukturwandel liegen in der Abnahme eisenbahnaffiner Massengüter, wie z. B. Kohle und Erze, zugunsten kleinerer Transporteinheiten, wie Halbfertig- und Fertigwaren, die auch für den Lkw-Transport geeignet sind.

2 Stadt, Raum und Verkehr

2.1 Entstehung von Verkehr

Verkehr ist in aller Regel kein Selbstzweck, sondern entsteht aus sozialen, wirtschaftlichen und anderen Anlässen, weil die Orte für die notwendigen menschlichen Aktivitäten, wie z. B. Arbeiten, Ausbildung, Einkaufen, Wohnen, Erholen, im Raum verteilt sind (Abb. 2.1). Diese Verteilung ist nicht zufällig, sondern zumindest in Teilbereichen das Ergebnis von Planungsprozessen (Flächennutzungsplanung), aber auch Folge der vorhandenen Raumstruktur und der Topographie, die nur schwer beeinflussbar sind (z. B. mithilfe von Bauwerken wie Brücken und Tunneln).

Hieran ist schon erkennbar, dass die Verteilung der Aktivitätsorte im Raum das Verkehrsgeschehen direkt beeinflusst und die Art der Verteilung zu verkehrssparsameren oder zu verkehrsaufwändigeren Verkehrsstrukturen führt. Darüber hinaus sind menschliche Aktivitäten, aber auch Flächennutzungen Veränderungen im Zeitverlauf unterworfen, sodass das Verkehrsgeschehen als ein Prozess zu sehen ist, in dessen Verlauf immer wieder Anpassungen erforderlich werden. Auch das technische System Verkehr, das bei jedem Verkehrssystem aus unterschiedlichen Fahrzeugen (beim Fußgängerverkehr dem ‚Gehzeug‘) einschließlich den Fahrern bzw. den Nutzern (Passagieren), den Geh- und Fahrwegen, den Leit- und Steuertechniken sowie den Organisationsformen und dem Ordnungsrahmen besteht, beeinflusst das tatsächliche Verkehrsgeschehen, wobei die Qualität des technischen Systems Verkehr eine ausschlaggebende Rolle spielt.

Das gesamte in Abb. 2.1 dargestellte System ist ein mehrfach rückgekoppelter Regelkreis. So beeinflusst z. B. die tatsächliche Zahl von Ortsveränderungen (mit motorisierten Verkehrsmitteln) das technische System Verkehr, indem technische Innovationen, wie der Katalysator, der Partikelfilter oder neue Fahrzeugantriebe eingeführt werden, die negative Wirkungen von Verkehrsvorgängen abmildern.

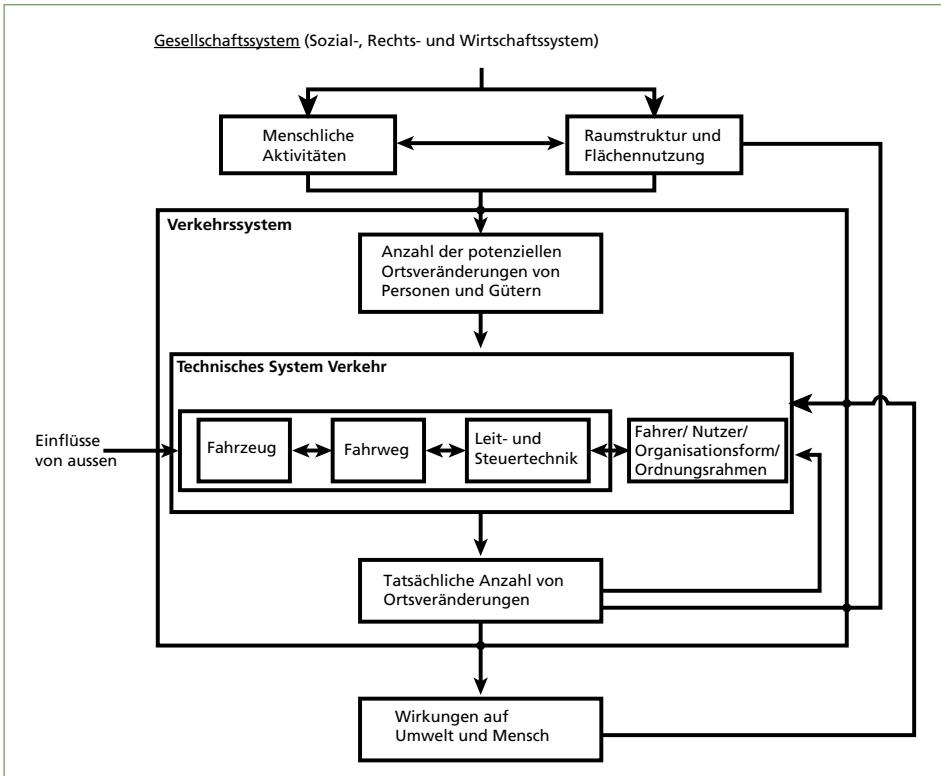


Abb. 2.1: Entstehung von Ortsveränderungen

2.2 Stadtstruktur und Verkehr

Schon von alters her definieren die Straßennetze den Stadtgrundriss. In den antiken Städten der Griechen und Römer herrschte das orthogonal angelegte Straßennetz (Rasternetz) vor, das aus der Landwirtschaft (rechteckige Felderzuschnitte) in den Städtebau übernommen wurde. Auch heute noch spielt diese Straßennetzform eine wichtige Rolle.

Das durch die Industrialisierung im 19. Jahrhundert verursachte schnelle Wachstum der Städte führte aufgrund der Einwohnerzuwächse und der damit verbundenen schlechten Wohnqualitäten zu zunehmenden Problemen, auch gesundheitlicher Art. Dies war Anlass, über die Struktur der Städte nachzudenken. Einen daraus resultierenden Ansatz bildete die Charta von Athen [4], die als Schlussfolgerungen aus den schlechten Lebensbedingungen, u. a. durch Grünzüge voneinander getrennte Flächen, für die verschiedenen Nutzungen (Wohnen, Arbeiten, Erholen) forderte. Daraus entwickelten sich etliche Stadtmodelle des 20. Jahrhunderts (z. B. die Gartenstadt).

Allerdings zeigte sich bald ein großer Nachteil dieser Stadtkonzepte: Durch die Trennung der Nutzungen entstanden längere Wege innerhalb der Stadt. Insbesondere infolge der steil ansteigenden Motorisierung der Bevölkerung wuchsen somit die Kfz-Verkehrsleistungen immer mehr an. Weitere Entwicklungen, wie die Suburbanisierung, trugen ebenfalls zu deutlichen Steigerungen des Verkehrsaufkommens bei. Diese Verkehrszuwächse betreffen vor allem den Kraftfahrzeugverkehr, was in den Städten zu gesundheitsschädlichen Lärm- und Schadstoffimmissionen führt. Dieser Entwicklung versucht man nun durch städtebauliche Grundsätze entgegenzuwirken, wie z.B.:

- dezentrale Strukturen,
- hohe Bebauungsdichte,
- Innenentwicklung vor Außenentwicklung,
- Durchmischung der Funktionen und
- Siedlungsentwicklung an ÖPNV-Achsen,

sowie durch verkehrsplanerische Grundsätze wie z.B.

- Stärkung des ÖPNV, des Rad- und Fußgängerverkehrs und
- effizientere Abwicklung des Verkehrs durch Verkehrsmanagement.

So gibt z.B. das Dichtemodell für Hamburg und sein Umland entlang von Schnellbahnachsen (U-Bahn, S-Bahn) um die Haltestellen herum eine hohe Bebauungsdichte vor, die mit zunehmender Entfernung von der Haltestelle abnimmt (Abb. 2.2). Damit sollen die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs gefördert und die Zersiedelung des Raumes verhindert werden. Letzteres konnte zwar nur eingeschränkt erreicht werden, hat aber einer stärker ausgeprägten Zersiedelung ohne Zweifel entgegengewirkt.

Die Bebauungsdichte wird durch das Baugesetzbuch bzw. die Baunutzungsverordnung über die ›Geschossflächenzahl (GFZ)‹ und die ›Grundflächenzahl (GRZ)‹ (Tabelle 2.1) definiert. Die Geschossflächenzahl ist dabei die Summe der Geschossflächen eines Gebäudes bezogen auf die Grundstücksfläche, die Grundflächenzahl ist der bebaute Anteil der Grundstücksfläche.

Tabelle 2.1: Obergrenzen für die Geschossflächenzahl und die Grundflächenzahl [Quelle: Baunutzungsverordnung (BauNVO, § 17)]

Art der baulichen Nutzung	maximale Geschossflächenzahl (GFZ)	maximale Grundflächenzahl (GRZ)
Wohngebiet	1,2	0,4
Mischgebiet	1,2	0,6
Kerngebiet	3,0	1,0
Gewerbe-, Industriegebiet	3,4	0,8

Wohndichteverteilung im Einzugsbereich von Schnellbahnhaltstellen

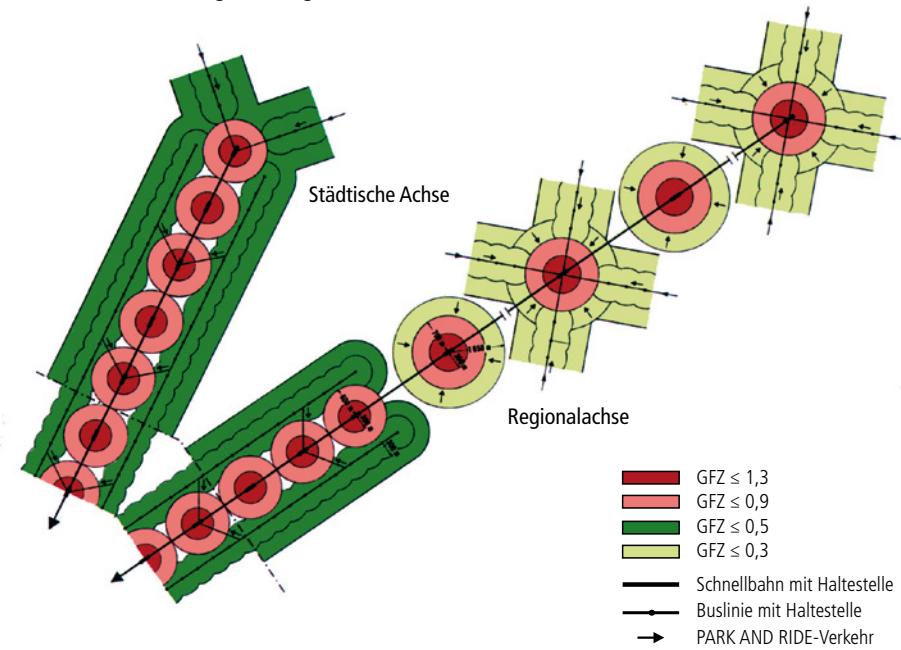


Abb. 2.2: Dichtemodell für Hamburg und Umland – Wohndichteverteilung im Einzugsbereich von Schnellbahnhaltstellen [Quelle: FHH (Hrsg.): Generalverkehrsplan Region Hamburg; Freie und Hansestadt Hamburg, 1979]

Welche verkehrlichen Wirkungen dezentrale Strukturen gegenüber zentralen Strukturen aufweisen, wird an einem Beispiel verdeutlicht:

Für einen neuen Stadtteil werden drei Möglichkeiten eines Standortes für die geplante Schule untersucht (Abb. 2.3).



Abb. 2.3: Varianten von Schulstandorten in einem Stadtteil [Quelle: Köhler, U., Konzepte zur Verkehrsvermeidung, enthalten in: Verkehr, Straße, Schiene, Luft, Ernst und Sohn, 2001]

Die morgendliche Verkehrsleistung V der Schüler für den Weg zur Schule in dem Stadtteil mit 10 · 10 Bebauungsblöcken errechnet sich bei p Schülern pro Block zu:

$$V_1 = 750 \cdot l \cdot p \text{ (Pers/km/Schulbeginn) bei einem Standort am Stadtteilrand,}$$

$$V_2 = 500 \cdot l \cdot p \text{ (Pers/km/Schulbeginn) bei einem Standort in Stadtteilmitte,}$$

$$V_3 = 370 \cdot l \cdot p \text{ (Pers/km/Schulbeginn) bei zwei dezentralen Standorten.}$$

Dieses Beispiel zeigt sehr vereinfacht den Unterschied zwischen einer verkehrsaufwändigen und einer verkehrsparsamen Siedlungsstruktur, weil hier eine dezentrale Struktur zu einer geringeren Verkehrsleistung führt als eine zentrale Struktur.

In Bezug auf die zuvor angesprochene Suburbanisierung wird derzeit schon häufiger die gegenteilige Entwicklung – eine Reurbanisierung – diskutiert, die zur Minderung einiger der verkehrlichen Probleme in Städten beitragen könnte. Wie Beobachtungen zeigen, steht die Reurbanisierung der Städte aber erst am Anfang ihrer Entwicklung (vgl. dazu auch Abb. 9.2).

2.3 Der Verkehrsplanungsprozess

Die in Kapitel 1 und in den Abschnitten 2.1 und 2.2 beschriebenen Zusammenhänge bilden die Grundlage für alle verkehrsplanerischen Überlegungen. Wenn zu erwarten ist, dass sich aufgrund von geplanten Veränderungen der Flächennutzung oder sich ändernder Rahmenbedingungen (z.B. Verringerung der Einwohnerzahl in einem Gebiet) das Verkehrsaufkommen ebenfalls verändern wird, ist durch geeignete Maßnahmen zur Gestaltung und Steuerung des Verkehrssystems der vorhandene Zustand in einen angestrebten, diese Veränderungen berücksichtigenden Soll-Zustand weiterzuentwickeln. Das geschieht im Rahmen eines Verkehrsplanungsprozesses (Abb. 2.4).

Dieser rückgekoppelte Prozess besteht aus den Teilschritten

- Vororientierung,
- Problemanalyse,
- Maßnahmenuntersuchung,
- Abwägung und Entscheidung sowie
- Umsetzung und Wirkungskontrolle.

In der Phase der Vororientierung werden erkannte Mängel im Verkehrssystem, vorliegende Konzeptvorschläge und sonstige für die Planung wesentliche Aussagen (z.B. politische Leitlinien zum Verkehr) zusammengestellt.

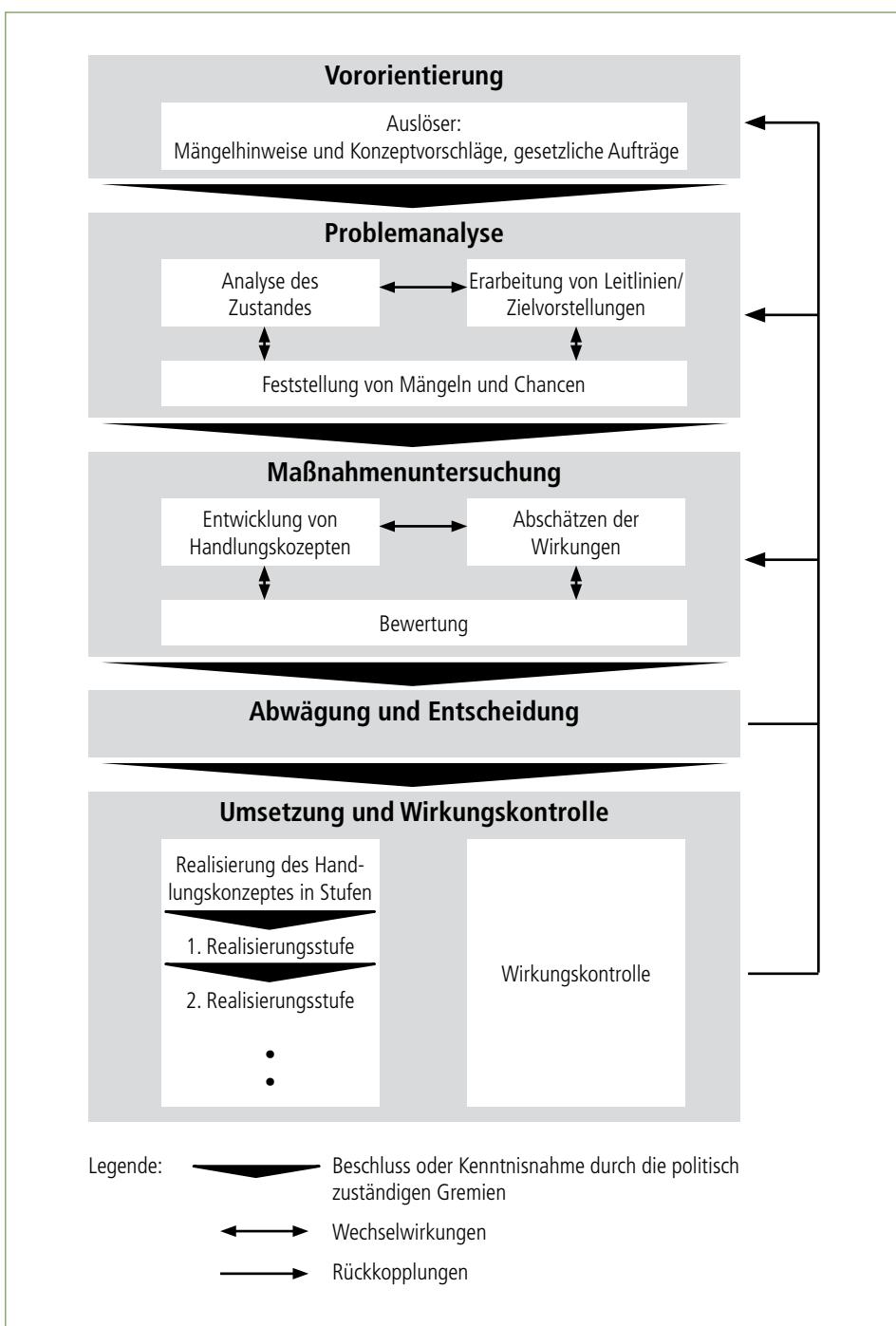


Abb. 2.4: Prozess der Verkehrsplanung [Quelle: Leitfaden für Verkehrsplanungen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2001]

In dem Teilschritt der Problemanalyse sind für die Analyse des Ist-Zustandes Verkehrserhebungen durchzuführen, auf die in Kapitel 3 eingegangen wird. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Phase ist die Formulierung von Zielen.

Der Teilschritt ›Maßnahmenuntersuchung‹ beinhaltet die Entwicklung von Maßnahmen. Um die Wirkungen dieser geplanten Maßnahmen danach bewerten zu können, wie gut sie die formulierten Ziele erreichen, sind die Wirkungen der Planungsmaßnahmen zu ermitteln bzw. abzuschätzen, wozu die zu erwartende Verkehrs nachfrage bekannt sein muss. Hierfür werden Verkehrs nachfragemodelle verwendet, die in Kapitel 4 behandelt werden. Grundlage für die Ermittlung einer künftigen Verkehrs nachfrage ist eine Prognose der die Verkehrs nachfrage beeinflussenden Größen (Kapitel 5).

Auf Verfahren zur Beurteilung, Abwägung und Auswahl von geeigneten Maßnahmen (Phase der Abwägung und Entscheidung) konzentriert sich das Kapitel 8.

Eine immer größere Bedeutung hat in den letzten Jahren die Beteiligung der Bürger an den einzelnen Teilschritten des Verkehrsplanungsprozesses erlangt. Diese Beteiligung geht bis zur Einrichtung von Planungsworkshops, in denen einzelne Arbeitsschritte der Verkehrsplanung nicht nur diskutiert werden, sondern eine aktive Mitwirkung der Bürger bis hin zur Erarbeitung von Planungskonzepten angestrebt wird.

Eine viel zu geringe Aufmerksamkeit wird bei den meisten Planungsprozessen der Wirkungskontrolle gewidmet. Sie ist aber ein wichtiges Hilfsmittel, um eventuelle Korrekturen an Maßnahmen vornehmen zu können, wenn sie z. B. die vorhergesagten Wirkungen nicht in dem notwendigen Maße erreichen. Aus diesem Grund sollte eine Verkehrsplanung als ein kontinuierlicher Prozess gestaltet werden, in dessen Verlauf jederzeit die der Planung zu Grunde liegende Datenbasis aktualisiert werden kann und ein Monitoring etabliert wird, das die aktuelle Zielerreichung kontinuierlich untersucht, und darauf aufbauend wiederum Maßnahmen zur Erhöhung der Zielerreichung entwickelt. Wenn der Verkehrsplanungsprozess wie in Abb. 2.4 abläuft, ist es auch möglich, daraus die speziellen Fachpläne, insbesondere den

- Nahverkehrsplan,
- Luftreinhalteplan und
- Lärm minderungsplan

abzuleiten [5].

Grundsätzlich gilt, dass die Verkehrsplanung nicht als ein isolierter Prozess behandelt werden darf, sondern Bestandteil der Stadt- bzw. Regionalplanung ist, ebenso wie z. B. die Grünplanung.

3 Verkehrserhebungen

Im Abschnitt 2.3 wurde angesprochen, dass Erhebungen für die Problemanalyse im Rahmen des Verkehrsplanungsprozesses erforderlich sind. Solche Erhebungen sind allerdings häufig personalaufwändig und deshalb teuer, so dass dort, wo möglich, nur Stichprobenerhebungen durchgeführt werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass der Stichprobenumfang gerade so gewählt wird, dass Aussagen mit einer bestimmten Sicherheit gemacht werden können [6].

Es gibt unterschiedliche Erhebungsarten, die in Abhängigkeit vom gewünschten Erfassungszweck, insbesondere

- der Erfassung von Verkehrsmengen,
 - der zusätzlichen Erfassung von Verkehrsverflechtungen und
 - der zusätzlichen Erfassung von Verhaltensweisen und Wegemustern
- angewendet werden.

Zählungen der in einem Zeitintervall einen Straßenquerschnitt oder einen Knotenpunkt (Abb. 3.1) passierenden Kraftfahrzeuge (Kfz/Zeitintervall) oder Zählungen der in einem Zeitintervall an einer Haltestelle des öffentlichen Personenverkehrs ein- und aussteigenden Fahrgäste (Fahrgäste/Zeitintervall) (Verkehrsmengenerhebungen) werden häufig ergänzt durch Erhebungen zur Erfassung von Quellen und Zielen der Fahrten der Verkehrsteilnehmer (Verkehrsverflechtungen), wozu aber die Verkehrsteilnehmer befragt werden müssen, was im Kraftfahrzeugverkehr schwierig ist, weil in den Verkehrsfluss eingegriffen werden muss. Deshalb wird hierfür auch auf die Methode der Kennzeichenerhebung zurückgegriffen, bei der ein Eingriff in den Verkehrsfluss nicht erforderlich ist, allerdings auch keine detaillierten Informationen zur Verkehrsverflechtung erhalten werden². In der einfachsten Form werden an zwei Kordonquerschnitten die Kennzeichen der vorbeifahrenden Kraftfahrzeuge z. B. mit Videokameras aufgenommen (Abb. 3.2), um damit z. B. den Umfang des Durchgangs-, des Ziel- und des Quellverkehrs einer Gemeinde zu erfassen (Kordon: Grenze des Erhebungsräumes).

Dies ist z. B. dann von zentraler Bedeutung, wenn eine Ortsumfahrung diskutiert wird, die grundsätzlich nur sinnvoll sein kann, wenn der Anteil des Ziel- und Quellverkehrs der Gemeinde klein und der Anteil des Durchgangsverkehrs groß ist. Parallel zur Kennzeichenerfassung sind Querschnittserhebungen erforderlich, um einen Fehlerausgleich durchführen zu können, da bei der

² Jede im öffentlichen Raum geplante Verkehrserhebung ist mit der Polizei, ggf. auch mit dem Datenschutzbeauftragten abzustimmen.

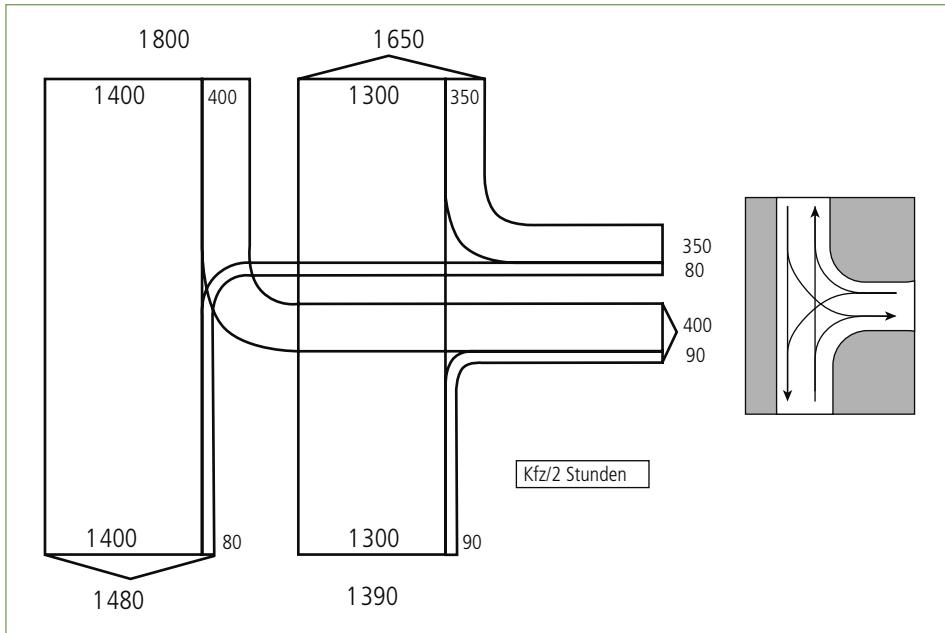


Abb. 3.1: Ergebnis einer Knotenstromzählung

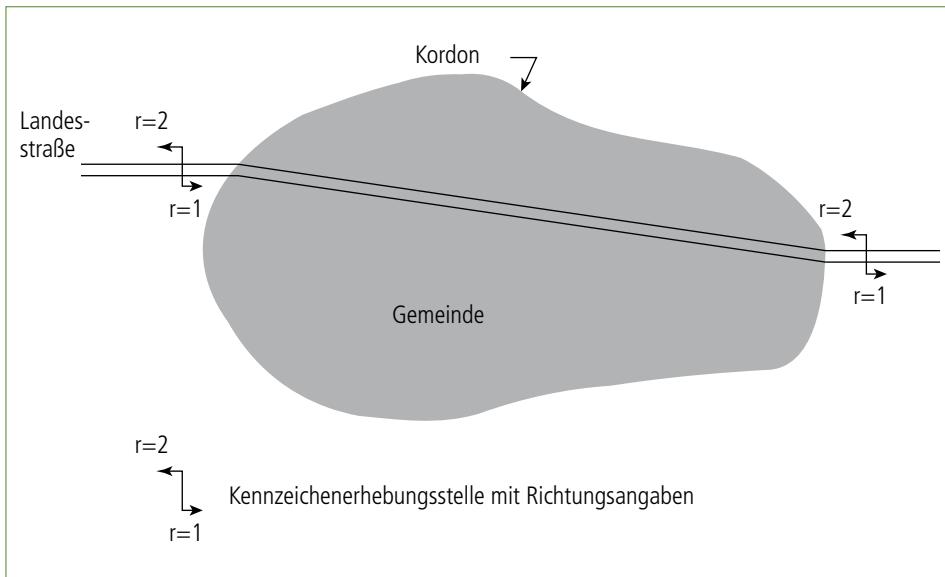


Abb. 3.2: Kennzeichenerhebung zur Erfassung des Durchgangs-, Ziel- und Quellverkehrs der Gemeinde

Kennzeichenerhebung Fehlerfassungen und Nichterfassungen von Kennzeichen nicht völlig zu vermeiden sind.

Es gilt (für einen Einfahrquerschnitt e und einen Ausfahrquerschnitt a):

$$DV_{tat}^r = \frac{DV_{erf}^r}{(e_e^r - p_e^r) \cdot (e_a^r - p_a^r)} \quad (\text{Gleichung 3.1})$$

mit

DV_{erf}^r = Umfang des bei der Erhebung erfassten Durchgangsverkehrs (ein Kennzeichen tritt sowohl am Ein- als auch am Ausfahrquerschnitt innerhalb einer normalen Durchfahrungszeit auf)

DV_{tat}^r = korrigierter (tatsächlicher) Durchgangsverkehr

r = erhobene Richtung

$e_e(e_a)$ = Wahrscheinlichkeit, dass das Kennzeichen eines Kraftfahrzeuges am Einfahrquerschnitt (Ausfahrquerschnitt) überhaupt erfasst wird

$p_e(p_a)$ = Wahrscheinlichkeit, dass das Kennzeichen eines Kraftfahrzeuges am Einfahrquerschnitt (Ausfahrquerschnitt) falsch erfasst wird

Die Werte für die in Gleichung 3.1 anzusetzenden Wahrscheinlichkeiten p können aus Erfahrungswerten übernommen werden. Sie hängen stark von der Methode der Erhebung ab (Videoaufzeichnung, Aufzeichnung auf Papier, Aufzeichnung mithilfe von Diktiergeräten). Die Werte für die Wahrscheinlichkeiten e ergeben sich aus einem Vergleich der am Querschnitt gezählten und bei der Kennzeichenerfassung erfassten Kraftfahrzeuge. Gleichung 3.1 zeigt, dass die Einzelfehler multiplikativ untereinander verknüpft sind. Deshalb sollten Kennzeichenerfassungen nur über wenige Erfassungsquerschnitte durchgeführt werden.

Die zusätzliche Erfassung von Verhaltensweisen und Wegemustern (neben der Erfassung der Verkehrsverflechtungen) geschieht in den meisten Fällen über Stichproben-Haushaltsbefragungen in schriftlicher, telefonischer oder persönlicher Form. Neben den verkehrlich relevanten allgemeinen Fragen zum Haushalt (z.B. Wieviele Personen gehören zum Haushalt?) und zu den einzelnen Haushaltsmitgliedern (z.B. Führerschein vorhanden?) wird jedes Haushaltsmitglied, das am Befragungstag mobil war, nach jedem an dem Befragungstag durchgeführten Weg (Quelle, Uhrzeit, Wegezweck, benutztes Verkehrsmittel, Ziel) befragt. Damit werden zusätzliche Informationen über Verhaltensweisen (z.B. Welches Verkehrsmittel wird benutzt?) und über die Wegeketten einer Person an einem Tag erhalten.

Es ist zu berücksichtigen, dass Haushaltsbefragungen allein nur die Wege der Einwohner innerhalb eines Kordons liefern, keine Wege von Auswärtigen. Deren Wege können über Kordonbefragungen erfasst werden, bei denen am

Kordon (z. B. der Stadtgrenze) die einfahrenden Kraftfahrzeugfahrer bzw. Fahrgäste des ÖPNV nach Quelle und Ziel ihrer Fahrt befragt werden (und ebenso nach ihrer Rückfahrt). Die dabei erfassten Fahrten der Einwohner, die innerhalb des Kordons leben, müssen wieder aussortiert werden, sofern gleichzeitig eine Haushaltsbefragung durchgeführt wird, in der ja die Wege der Einwohner schon enthalten sind.

Um insbesondere den Güterverkehr zu erfassen, sind zusätzliche Betriebsbefragungen notwendig. Diese sind allerdings schwierig durchzuführen. Deshalb ist hierfür eine Unterstützung durch die örtliche Industrie- und Handelskammer unerlässlich. Abb. 3.3 zeigt auf, mit welcher Erhebungsart welche Verkehrsanteile erfasst werden können.

Es sind dies

- Binnenverkehre (BV) mit Quellen und Zielen der Wege innerhalb eines Kordons,
- Zielverkehre (ZV) mit Quellen außerhalb und Zielen innerhalb eines Kordons,
- Quellverkehre (QV) mit Quellen innerhalb und Zielen außerhalb eines Kordons,
- Durchgangsverkehre (DV) mit Quellen und Zielen außerhalb eines Kordons.

Dabei kann nach den für die Wege benutzten Verkehrsmitteln (in Abb. 3.3 nur nach Individualverkehrsmitteln (IV) und öffentlichen Verkehrsmitteln (ÖV) unterschieden) und nach den innerhalb des Kordons wohnenden Personen (Einwohner E) und Auswärtigen A (z. B. Einpendler) differenziert werden.

Beim Güterverkehr werden in Abb. 3.3 nur individuelle Verkehrsmittel (Lieferrfahrzeuge, Lkw) berücksichtigt, da im städtischen Verkehr öffentliche Verkehrsmittel, von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen (z. B. CargoTram Dresden), nicht eingesetzt werden.

Eine konventionelle Haushaltsbefragung liefert Ergebnisse, die auf einen Stichtag bezogen sind und deshalb naturgemäß einen geringeren Informationsgehalt aufweisen als Erhebungsmethoden, bei denen dieselben Personen über mehrere Tage (z. B. eine Woche) in mindestens zwei zeitlich aufeinander folgenden Wellen (z. B. im Abstand von einem Jahr) befragt werden. Solche Panelerhebungen sind allerdings teurer als reine Querschnittserhebungen, die Ergebnisse liegen erst nach einer längeren Zeit vor, und es muss im Verlauf einer solchen Erhebung mit dem ›Abspringen‹ einzelner Teilnehmer gerechnet werden.

Bei Panelerhebungen haben sich Mobilitätstagebücher bewährt, in die die Befragten alle ihre während der Erhebungswoche durchgeföhrten Wege eintragen.

Verkehrsart \ Erhebungsart	BV	BV	BV	BV	QV	QV	ZV	ZV	QV	QV	ZV	BGV	DV
Haushaltsbefragung	IV E	IV A	IV ÖV	IV E	IV A	IV E	IV A	IV E	IV A	IV E	IV A	IV G	IV A
Kordonbefragung IV	nur in Zusammenhang mit einer Querschnittszählung												
Kordonbefragung ÖV													
Querschnittszählung am Kordon IV					↔								↔
Querschnittszählung am Kordon ÖV													
Kennzeichen erfassung (einschl. Absolutzählung)					↔	↔							
Haltstellenbefragung	nur in Zusammenhang mit einer Querschnittszählung												
Haltestellenzählung (innerhalb des U-Gebietes)		↔							↔	↔			
Querschnittszählung IV (innerhalb des U-Gebietes)													
Querschnittszählung ÖV (innerhalb des U-Gebietes)													
Knotenpunktzählung													
Umsteigerzählung													



Trennung nach Fahrzweck und Erfassung von Quelle und Ziel der Fahrt möglich



keine Trennung nach Verkehrsarten möglich



Trennung nach Fahrzweck und Erfassung von Quelle und Ziel der Fahrt sowie Befragung nach der Fahrroute möglich



Erfassung von QV, ZV und DV sowie Ermittlung der Fahrt route durch Hintereinanderlegen mehrerer Zählstellen möglich

Abb. 3.3: Erhebungsarten und Erfassungszweck

A Auswärtige; **BV** Binnenverkehr; **DV** Durchgangsverkehr; **E** Einwohner; **G** Güterverkehr;
QV Quellverkehr; **ZV** Zielverkehr

Um jahreszeitliche Schwankungen der Verkehrsteilnahme oder der Verkehrsmittelwahl erfassen zu können, sollte sich eine Befragungswelle über ein volles Jahr erstrecken, zumindest sollte jede Jahreszeit in einer Befragungswelle enthalten sein.

Der Unterschied zwischen einer Querschnittserhebung (z.B. einer konventionellen Haushaltsbefragung) und einer Panelerhebung wird an folgendem Beispiel verdeutlicht:

Es geht um die Ausstattung von Haushalten (HH) mit Pkw und um deren Veränderung innerhalb von zwei Jahren.

Fall 1: Zwei Haushaltsbefragungen in den Jahren 2008 und 2010

Ergebnis 2008	1 500 HH mit 0 Pkw 6 000 HH mit 1 Pkw <u>2 500 HH mit 2 Pkw</u> Ø 2008: 1,10 Pkw/HH
---------------	----------------------------------------------------------------------------------------------

Ergebnis 2010	1 000 HH mit 0 Pkw 6 200 HH mit 1 Pkw <u>2 800 HH mit 2 Pkw</u> Ø 2010: 1,18 Pkw/HH
---------------	----------------------------------------------------------------------------------------------

Fall 2: Panelerhebung in je einer Welle in den Jahren 2008 und 2010 in denselben Haushalten

Ergebnis in Form einer Übergangsmatrix

		Anzahl Pkw/HH		
		0	1	2
2010 \ 2008		0	1	2
0	800	600	100	
1	100	5 200	700	Anzahl HH
2	100	400	2 000	

Ø 2008: 1,10 Pkw/HH

Ø 2010: 1,18 Pkw/HH

Die mittlere Ausstattung der Haushalte mit Pkw kann mithilfe beider Methoden erhalten werden. Allerdings zeigt nur die Panelerhebung, dass die Veränderungen beträchtlich sind, denn bei 20 % der Haushalte hat sich eine Veränderung der Ausstattung mit Pkw ergeben. Es gibt sowohl Haushalte, die den Pkw-Besitz ganz aufgegeben oder die Zahl der Pkw reduziert haben, als auch Haushalte, bei denen sich die Zahl der Pkw erhöhte. Diese sehr viel detaillierteren Ergebnisse liefert nur eine Panelerhebung (Beispiel in Anlehnung an [7]).

Eine weitere Erhebungsform, die vor allem im Marketing, weniger im Verkehrs- bereich angewendet wird, ist die Methode der direkten Nutzenmessung (stated preference). Dabei werden in einer interaktiven Befragung eine Vorher-Situation und eine – noch nicht realisierte – Nachher-Situation bewertet, die möglichst anschaulich beschrieben bzw. dargestellt wird. Die Bewertungen der Befragten erlauben Aussagen über den Grad der Vorliebe oder Abneigung bezüglich der beschriebenen Situationen und zwar aufgrund der unterschiedlichen Bewertung der Ist- und der Planungssituation. Die Bewertung gibt allerdings keine Auskunft über eine spätere tatsächliche Entscheidung der Befragten.

Erhebungsmethoden unter Einbeziehung elektronischer Kommunikationsmittel (z. B. Mobiltelefon) ermöglichen u. a. die Erfassung von Quellen und Zielen einer Fahrt sowie deren Routenverlauf.

Auf weitere Erhebungsmethoden im Verkehrswesen, wie z. B. Geschwindigkeits- und Zeitlückenmessungen, wird hier nicht eingegangen, da diese Methoden weniger in der Verkehrsplanung als vielmehr in der Verkehrstechnik eine wichtige Rolle spielen.

Einen vollständigen Überblick über die Erhebungsmethoden im Verkehrswesen geben die Empfehlungen für Verkehrserhebungen [8].

4 Verkehrsmodelle

4.1 Modelle allgemein

In Kapitel 2 wurde gezeigt, dass bestimmte Formen der Flächennutzung bestimmte Formen des Verkehrs (Verkehrsaufkommen, Verkehrsstruktur) verursachen. Dies bedeutet aber auch, dass zwischen strukturellen Größen der Flächennutzung (z. B. Zahl der Einwohner) und Verkehrsgrößen (z. B. Quellverkehrsaufkommen eines Wohngebietes) Zusammenhänge bestehen. Solche Zusammenhänge können mithilfe von Modellen beschrieben werden.

Ein Modell ist eine gegenüber der Wirklichkeit vereinfachte Systemdarstellung, wobei die Form der Darstellung nachvollziehbar sein muss (indem z. B. mathematische Beziehungen verwendet werden) und die Vereinfachung nur soweit gehen darf, dass alle wesentlichen Zusammenhänge noch darstellbar sind. Modelle im Verkehrswesen werden insbesondere dann angewandt, wenn Erhebungen nicht durchgeführt werden können, weil der Gegenstand der Betrachtung in der Zukunft liegt oder weil Erhebungen mit sehr hohem Aufwand verbunden wären.

Die Anwendung von Modellen erfordert drei wesentliche Schritte:

1. Modellerstellung (Zusammenhänge erkennen und z. B. in mathematischer Form beschreiben).
2. Kalibrierung (Erfassung von Werten oder Wertebereichen für die Modellgrößen (in der Regel aus kleineren Stichprobenerhebungen)).
3. Validierung (Überprüfung der Übereinstimmung der ermittelten Ausgangsgrößen des Modells mit dem tatsächlichen Sachverhalt (Realität) – gegebenenfalls neue Kalibrierung).

Bei der Bildung von Modellen sollte beachtet werden, dass ein Modell durch die zunehmende Zahl von erklärenden Größen und von algebraischen Operationen immer komplexer wird. Dadurch wird zwar der Spezifikationsfehler (Fehler durch Berücksichtigung nur weniger Größen) kleiner, andererseits nimmt aber der Messfehler (Fehler beim Messen oder Erheben einer Größe) mit zunehmender Zahl zu berücksichtigender Größen zu. Deshalb sollte ein Modell nicht zu komplex aufgebaut sein [9].

4.2 Verkehrsnachfragemodelle

4.2.1 Modellformen

Um eine (zukünftige) Verkehrsnachfrage in einem Gebiet modellmäßig zu ermitteln, werden Verkehrsnachfragemodelle verwendet, die die zu Ortsveränderungen führenden Entscheidungsprozesse der Verkehrsteilnehmer abbilden können. Es gibt eine Vielzahl möglicher Formen solcher Verkehrsnachfragemodelle. Das wichtigste Klassifizierungsmerkmal ist die Unterscheidung nach

- simulativen Modellen und
- Gleichgewichtsmodellen.

Beiden Nachfragemodellen liegen die räumliche Verteilung der Bevölkerung, die Standorte wichtiger Aktivitätsorte (z. B. Industriegebiet) und wichtiger Einrichtungen (z. B. Hochschule) sowie das Verkehrsangebot (Verkehrswege, Fahrtenhäufigkeit im öffentlichen Verkehr usw.) zu Grunde.

Simulative Modelle beschreiben die Verkehrsnachfrage in der Regel als Funktion eines Widerstandes für die Raumüberwindung [10].

Bei Gleichgewichtsmodellen wird ein optimales Verhalten der Verkehrsteilnehmer in der Art unterstellt, dass eine vorgegebene Zielfunktion optimiert, also z. B. der Gesamtzeitaufwand für die Wege aller Verkehrsteilnehmer in einem Verkehrsnetz durch eine entsprechende Aufteilung der Wege auf alternative Routen minimiert wird, d. h. ein Systemgleichgewicht entsteht.³

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal für Verkehrsnachfragemodelle besteht darin, ob die Einzelwege der Verkehrsteilnehmer während eines Tages unabhängig voneinander oder alle Wege der Verkehrsteilnehmer während eines Tages (d. h. eine gesamte Wegekette) im Kontext betrachtet werden. Die Betrachtung von Einzelwegen führt zu Verkehrsstrommodellen, die Betrachtung von Wegeketten zu Wegekettenmodellen.

Ganz besonders unterscheiden sich Verkehrsnachfragemodelle durch den Bezug auf die Art der Personengruppen, d. h. ob Einzelpersonen, verhaltenshomogene Personengruppen oder gemischt zusammengesetzte Personengruppen betrachtet werden. In Individualverkehrsmodellen wird das Verkehrsverhalten von Einzelpersonen oder von verhaltenshomogenen Gruppen nachvollzogen. Aggregatmodelle führen die Berechnungen für eine Menge von gemischt zusammengesetzten Personen, z. B. die Einwohner in einem Gebiet, durch.

³ Im Gegensatz zu einem solchen Systemgleichgewicht wird ein Nutzergleichgewicht dann erreicht, wenn sich die Wege der Verkehrsteilnehmer in einem Verkehrsnetz so auf die alternativen Routen aufteilen, dass die Fahrzeiten auf allen Routen gleich sind und kein Verkehrsteilnehmer einen Zeitvorteil erzielt, wenn er die Route wechselt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Fahrzeiten auf den einzelnen Routen belastungsabhängig sind (mit zunehmender Verkehrsbelastung auf der Strecke verlängert sich die Fahrzeit, vgl. Abschnitt 4.2.4).

Verhaltenshomogene Gruppen zeichnen sich gegenüber gemischt zusammengesetzten Personengruppen dadurch aus, dass die Mitglieder der erstgenannten Gruppe bestimmte ähnliche Eigenschaften aufweisen. Dabei erfolgt die Zuordnung einer Person zu einer verhaltenshomogenen Gruppe aufgrund individueller Merkmale, z.B.

- Alter,
- Geschlecht,
- Erwerbstätigkeit,
- Ausbildung,
- Führerscheinbesitz,
- Pkw-Verfügbarkeit,
- Stellung innerhalb des Haushaltes.

Die Abgrenzung der verhaltenshomogenen Gruppen untereinander erfolgt im Wesentlichen nach

- Art und Umfang der beruflichen oder ausbildungsbezogenen Aktivitäten,
- Bindung der Person im Haushalt,
- Stellung der Person im Lebenszyklus,
- Verfügbarkeit über bestimmte Verkehrsmittel [11].

Letztlich kann hieraus eine große Zahl von verhaltenshomogenen Gruppen gebildet werden. Dies ist allerdings nicht praktikabel, weil hierfür die erforderlichen Daten nicht zur Verfügung stehen. Deshalb hat sich die Begrenzung auf wenige Gruppen bewährt, z.B.

- Kinder unter 10 Jahren,
- Jugendliche (Schüler, Auszubildende) zwischen 10 und 17 Jahren,
- Schüler, Studierende, Auszubildende ab 18 Jahren mit Pkw-Verfügbarkeit,
- Schüler, Studierende, Auszubildende ab 18 Jahren ohne Pkw-Verfügbarkeit,
- Erwerbstätige mit Pkw-Verfügbarkeit,
- Erwerbstätige ohne Pkw-Verfügbarkeit,
- Nicht-Erwerbstätige unter 65 Jahren mit Pkw-Verfügbarkeit,
- Nicht-Erwerbstätige unter 65 Jahren ohne Pkw-Verfügbarkeit,
- Nicht-Erwerbstätige ab 65 Jahren mit Pkw-Verfügbarkeit,
- Nicht-Erwerbstätige ab 65 Jahren ohne Pkw-Verfügbarkeit.

Am Beispiel von Ergebnissen einer umfangreichen Haushaltsbefragung (KONTIV 89) sollen verkehrsverhaltensbezogene Unterschiede zwischen den beiden verhaltenshomogenen Gruppen »Nicht-Erwerbstätige unter 65 Jahren mit Pkw-Verfügbarkeit« und »Nicht-Erwerbstätige unter 65 Jahren ohne Pkw-Verfügbarkeit« aufgezeigt werden. So bestand in 47 % aller Fälle die tägliche Wegekette eines Nicht-Erwerbstädtigen mit Pkw aus vier oder mehr Einzelwegen,

bei Nicht-Erwerbstätigen ohne Pkw war dies nur in 35 % der Fall. Die Verfügbarkeit eines Pkw »verführt« also zu mehr Fahrten. Deshalb führten Nicht-Erwerbstätige ohne Pkw auch in 41 % aller Fälle nur die einfache tägliche Wegekette »Wohnung – Einkaufen (oder sonstige private Erledigungen) – Wohnung« durch, während Nicht-Erwerbstätige mit Pkw dies nur in 29 % aller Fälle taten.

In den folgenden Abschnitten werden die vier Teilmodelle

- Verkehrserzeugung,
- Verkehrsmittelwahl,
- Verkehrsverteilung und
- Routenwahl,

aus denen ein Verkehrs nachfragemodell insgesamt besteht, jeweils anhand eines simulativen Modellbeispiels erläutert, um damit ein Grundverständnis für die Modelle zu entwickeln. Wie oben schon erwähnt, gibt es eine Vielzahl verschiedener Modellformen, und es würde den Rahmen dieses Buches sprengen, wenn auf jedes dieser Modelle eingegangen würde. Wer sich hierfür vertieft interessiert, sei auf die entsprechende Literatur verwiesen [10,12]. Die inneren Zusammenhänge zwischen den einzelnen Teilmodellen werden in Abschnitt 4.2.5 erläutert.

4.2.2 Verkehrserzeugung

Mithilfe von Verkehrserzeugungsmodellen wird das Verkehrsaufkommen eines Gebietes ermittelt. Die Höhe des Verkehrsaufkommens hängt von der Art und dem Maß der baulichen Nutzung in diesem Gebiet ab (Standorte und Anzahl von Wohnungen, Arbeitsplätzen, Schulplätzen, Einkaufsmöglichkeiten, Freizeiteinrichtungen usw.).

Am Beispiel eines geplanten Wohngebietes werden die einzelnen Schritte zur Ermittlung des dort entstehenden Verkehrsaufkommens erläutert [13]. Da bei einem erst in der Planung befindlichen Wohngebiet nicht alle verkehrsrelevanten Größen bekannt sind, müssen Annahmen getroffen werden.

1. Schritt: Voraussichtliche Anzahl der Einwohner

Aus dem Bebauungsplan für das Plangebiet wird entnommen, dass das Nettowohnbau land (Summe der Grundstücksflächen der Wohngebäude) rund 40 000 m² und die mittlere Geschossflächenzahl (GFZ)* 1,0 beträgt. Dann weist die Bruttogeschossfläche (BGF) in dem Gebiet ebenfalls den Wert von 40 000 m² auf. Die spezifische Bruttogeschossfläche wird mit 40 m² je Einwohner angesetzt (entspricht etwa dem derzeitigen Durchschnittswert in Deutschland). Daraus errechnet sich die Zahl der Einwohner in dem Gebiet zu

$$E = \frac{\text{BGF}}{\text{spez. BGF}} = \frac{40\,000}{40} = 1\,000$$

In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass im Gebiet keine Schulen und sonstigen Ausbildungseinrichtungen oder Einkaufsgelegenheiten für den täglichen Bedarf geplant sind.

2. Schritt: Bevölkerungsstruktur

Die zukünftige Zusammensetzung der Bevölkerung in dem Gebiet ist nicht bekannt. Aufgrund der geplanten Baustruktur wird ein überdurchschnittlicher Anteil jüngerer Familien angenommen, weshalb angesetzt wird:

- Erwerbsquote $e = 0,45^{**}$ (Durchschnittswert in Deutschland: 0,42)
- Ausbildungsquote $s = 0,18^{***}$ (Durchschnittswert in Deutschland: 0,15).

Damit errechnet sich die Zahl der Erwerbstäigen zu $EW = E \cdot e = 450$ und die Zahl der Schüler, Auszubildenden, Studierenden < 18 Jahre zu $S = E \cdot s = 180$.

Die Differenz zur Gesamtzahl der Einwohner ergibt die Zahl der Nicht-Erwerbstäigen (NEW). Sie beträgt 370.

3. Schritt: Zahl der Wege der Einwohner

Nach MiD2008 werden in Deutschland durchschnittlich 3,4 Wege/Person und Tag durchgeführt****. Hierin sind die Wege der Einwohner nur außerhalb des Wohngebietes, Wege aus dem Wohngebiet heraus (Quellverkehr) und in das Gebiet hinein (Zielverkehr) sowie Wege innerhalb des Gebietes (Binnenverkehr) enthalten. Die Anzahl aller täglichen Wege der Einwohner ergibt sich zu

$$Z = 1\,000 E \cdot 3,4 \text{ Wege/E und Tag} = 3\,400 \text{ Wege/Tag}.$$

Unter der Annahme, dass die Erwerbstäigen sowie die Schüler und Auszubildenden im Quell- und Zielverkehr (aus dem Gebiet heraus und in das Gebiet hinein) zwei Wege pro Tag durchführen (der Rest sind Wege außerhalb und innerhalb des Gebietes), verursachen

die Erwerbstäigen: $450 \cdot 2 = 900$ Wege/Tag und

die Schüler: $180 \cdot 2 = 360$ Wege/Tag

im Quell- und Zielverkehr. Angenommen wird, dass rund 10 % der Wege, das sind 340 Wege/Tag, innerhalb des Gebietes (Binnenverkehr) und rund 20 % aller Wege, das sind 680 Wege/Tag, nur außerhalb des Gebietes durchgeführt werden.

Fortsetzung auf S. 36 ➔

In der Summe sind dies 2 280 Wege/Tag. Der Rest von 1 120 Wegen/Tag sind Wege der Einwohner im Quell- und Zielverkehr mit sonstigen Fahrtzwecken. Zum Quell- und Zielverkehr müssen noch Fahrten im bewohnerbezogenen Liefer- und Handwerkerverkehr (z.B. Paketdienste) und Fahrten von Besuchern der Einwohner hinzugerechnet werden. Hierfür werden pauschal 5 % der Wege der Einwohner angesetzt, das sind 170 Wege/Tag.

* Die mittlere Geschossflächenzahl (GFZ) gibt das Verhältnis der Summe der Geschossflächen zur Summe der Grundstücksflächen in einem Gebiet an (vgl. auch Abschnitt 2.2).

$$** e = \frac{\text{erwerbstätige Einwohner (EW)}}{\text{Einwohner (E)}}$$

$$*** s = \frac{\text{Schüler, Auszubildende, Studierende <18 Jahre (S)}}{\text{Einwohner (E)}}$$

**** Wege auf alle Einwohner bezogen (vgl. Tabelle 1.2).

Werden Daten des täglichen Quellverkehrsaufkommens von Wohngebieten mit der Zahl der Einwohner dieser Wohngebiete in Zusammenhang gebracht (Abb. 4.1), lässt sich häufig ein Zusammenhang zwischen der Strukturgröße der Flächennutzung (hier: Anzahl der Einwohner) und der Verkehrsgröße (hier: Quellverkehrsaufkommen) erkennen, der mithilfe einer Regressionsgeraden (bei einem linearen Zusammenhang) beschrieben werden kann.

Über eine Regressionsrechnung kann die Steigung a der Regressionsgeraden

$$Q_i = E_i \cdot a \quad (\text{Gleichung 4.1})$$

und damit der Quellverkehr Q_i , der in einem Wohngebiet i mit E_i Einwohner entsteht, errechnet werden. Die Steigung a der Regressionsgeraden stellt dabei die spezifische Anzahl der Wege im Quellverkehr je Einwohner und Tag dar.

Dieses einfache Verkehrserzeugungsmodell gehört zur Gruppe der Aggregatmodelle (vgl. Abschnitt 4.2.1). Das entsprechende Individualverhaltensmodell kann wie folgt formuliert werden:

$$Q_i = \sum P_{g,i} \cdot f_g \quad (\text{Gleichung 4.2})$$

mit

i = Nummer des Wohngebietes

Q_i = Quellverkehrsaufkommen von i

$P_{g,i}$ = Anzahl der Einwohner in der verhaltenshomogenen Gruppe g in i

f_g = spezifische Zahl der Wege im Quellverkehr je Einwohner der Gruppe g und Tag.

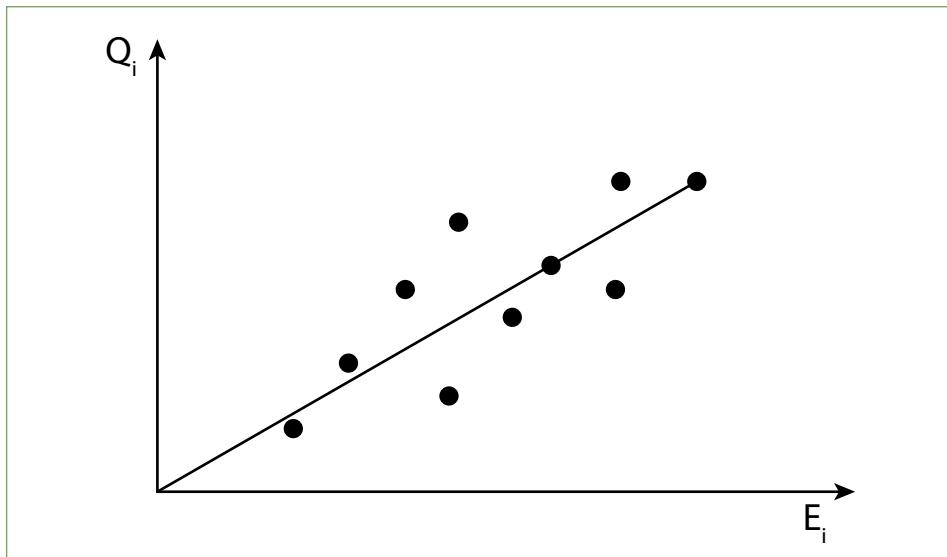


Abb. 4.1: Zusammenhang zwischen der Anzahl der Einwohner von Wohngebieten i (E_i) und dem Quellverkehrsaufkommen der Wohngebiete (Q_i)

Im Gegensatz zu Gleichung 4.1, in der alle Einwohner des Wohngebietes in einen Topf geworfen werden, unterscheidet Gleichung 4.2 nach verhaltenshomogenen Gruppen und deren unterschiedlichen Wegehäufigkeiten.

Ein weiteres Individualverhaltensmodell zur Verkehrserzeugung benutzt die Ergebnisse von Haushaltsbefragungen, bei denen für jede befragte Person die Wegekette eines Tages erfasst wird. Damit lassen sich für verhaltenshomogene Gruppen typische Aktivitätenfolgen bilden, die es ermöglichen, die inneren Abhängigkeiten zwischen Verkehrsmittelwahl (Abschnitt 4.2.3) und Verkehrszielwahl (Verkehrsverteilung, Abschnitt 4.2.4) berücksichtigen zu können (vgl. dazu Abschnitt 4.2.7) [14]. In Tabelle 4.1 sind für die beiden verhaltenshomogenen Gruppen »Erwerbstätige mit Pkw« und »Nicht-Erwerbstätige ab 65 Jahren ohne Pkw« die wichtigsten Aktivitätenmuster (Wegemuster) aufgeführt. Die dort angegebenen Prozentwerte können bei der Anwendung im Rahmen der Verkehrsnachfragemodellierung als Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten einer bestimmten Wegekette einer verhaltenshomogenen Gruppe interpretiert werden.

Tabelle 4.1: Aktivitätenmuster

Erwerbstätige mit Pkw Aktivitätenmuster	%	Nicht-Erwerbstätige ab 65 Jahren ohne Pkw Aktivitätenmuster	%
W-AR-W	38	W-EK-W	39
W-AR-W-FZ-W	12	W-FZ-W	19
W-AR-W-EK-W	6	W-EK-W-FZ-W	15
W-AR-W-AR-W	4	W-EK-W-EK-W	5
W-EK-W	3	W-EK-EK-W	3
W-AR-EK-W	3	W-FZ-W-FZ-W	3
W-FZ-W	3	W-EK-FZ-W	3
W-EK-W-FZ-W	2	W-EK-W-FZ-W-FZ-W	1
W-AR-W-EK-W-FZ-W	1	W-FZ-FZ-W	1
W-AR-AR-AR-W	1	W-EK-W-EK-FZ-W	1
REST	28	REST	11

[Quelle: KONTIV 89]

AR Arbeit; **EK** Einkaufen, Dienstleistungen; **FZ** Freizeit; **W** Wohnen

Die Unterschiede in den Aktivitätenmustern zwischen den beiden Gruppen sind deutlich. Während bei den Erwerbstätigen die Aktivität »Arbeit« überwiegt, ist dies bei den Nicht-Erwerbstätigen ab 65 Jahren die Aktivität »Einkaufen oder Inanspruchnahme von Dienstleistungen« (z. B. Arztbesuch). Auch die Verfügbarkeit eines Pkw führt zu anderen Aktivitätenmustern als die Nichtverfügbarkeit.

Die Aktivitätenmuster (Wegeketten) werden Personen wie folgt zugeordnet: Aus dem Adressenverzeichnis z. B. einer Stadt wird zufällig eine Adresse gezogen. Dieser Adresse wird, in Abhängigkeit von der Zahl der Mitglieder der verhaltenshomogenen Gruppen, eine verhaltenshomogene Gruppe und eine bestimmte Wegekette in Abhängigkeit von deren Auftretenswahrscheinlichkeit (Tabelle 4.1) zugeordnet.

Für die Berechnung des Verkehrsaufkommens, das in Mischgebieten, in Industriegebieten und in sonstigen Gebieten entsteht, sei auf die Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen [13] verwiesen.

4.2.3 Verkehrsmittelwahl

Die Aufteilung der Wege z.B. der Einwohner eines Wohngebietes auf die verschiedenen zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel erfolgt mithilfe eines Verkehrsmittelwahlmodells bzw. eines Modal-Split-Modells (Modal-Split = Aufteilung der Wege auf unterschiedliche Verkehrsmittel). Wie sich die Wege auf die einzelnen Verkehrsmittel aufteilen, hängt von einer Vielzahl von Gegebenheiten ab:

- der Art und der Lage des Gebietes,
- der Qualität der Verkehrsnetze,
- der Art und der Qualität der Anschlüsse an weiterführende Netze,
- der Qualität des Angebotes im öffentlichen Verkehr,
- den absoluten Reisezeiten⁴ und dem Reisezeitverhältnis zwischen den zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln,
- den Kosten, die bei der Nutzung der jeweiligen Verkehrsmittel entstehen,
- den einer Person zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln und
- den persönlichen Einschätzungen der Verkehrsteilnehmer zu den einzelnen Verkehrsmitteln.

Nicht jeder Verkehrsteilnehmer kann auf alle Verkehrsmittel zurückgreifen. Werden vereinfacht im Personenverkehr in einer Stadt nur die beiden Verkehrsmittel ‚Pkw‘ als individuelles und ‚Bus‘ als öffentliches Verkehrsmittel betrachtet, gibt es sowohl Personen, die nicht auf den Pkw zugreifen können (weil kein Pkw verfügbar oder kein Führerschein vorhanden ist) als auch Personen, die den Pkw nutzen müssen (z.B. Handelsvertreter mit Warenproben) als auch Personen, die grundsätzlich zwischen Pkw und Bus wählen können. Nur für die letztgenannte Gruppe werden Verkehrsmittelwahlmodelle angewendet. So kann z.B. angenommen werden, dass die Schüler in dem in Abschnitt 4.2.2 beschriebenen Wohngebiet auf den Bus angewiesen sind (bei den zwei hier zugrundegelegten Verkehrsmitteln, d.h. ohne Betrachtung von Wegen zu Fuß, mit dem Fahrrad oder als Mitfahrer im Pkw), also gar keine Wahlmöglichkeiten haben und deshalb für diese Gruppe auch kein Verkehrsmittelwahlmodell angewendet wird.

Das im Folgenden beschriebene ökonometrische Verkehrsmittelwahlmodell geht von dem Verhaltensprinzip aus, dass der wahlfreie Verkehrsteilnehmer

⁴ Die Reisezeit für das Zurücklegen eines Weges von i nach j ist definiert

– im Kfz-Verkehr als die Summe von Zugangszeit (vom Ausgangspunkt i zum Standort des Kfz), Fahrzeit (vom Standort des Kfz bis zum Abstellplatz des Kfz am Ende der Fahrt einschließlich Wartezeiten an Lichtsignalanlagen usw.) und Abgangszeit (vom Abstellplatz des Kfz zum Ziel j),
 – im öffentlichen Personenverkehr als die Summe von Zugangszeit (vom Ausgangspunkt i zur Einstiegshaltestelle), Wartezeit an der Haltestelle, Beförderungszeit (von der Einstiegshaltestelle zur Ausstiegshaltestelle einschließlich Umsteigezeiten usw.) und Abgangszeit (von der Ausstiegshaltestelle zum Ziel j).

jeder Alternative (d.h. jedem der nutzbaren Verkehrsmittel) einen bestimmten Nutzen zuordnet und diejenige Alternative wählt, deren Nutzen am größten erscheint⁵. Deshalb ist für jedes zur Verfügung stehende Verkehrsmittel dessen Nutzen zu quantifizieren, wofür z.B. der folgende lineare Ansatz gewählt werden kann:

$$U_m = c_{m,1} \cdot X_{m,1} + c_{m,2} \cdot X_{m,2} + \dots + c_{m,n} \cdot X_{m,n} \quad (\text{Gleichung 4.3})$$

mit

U_m = Nutzen (utility) des Verkehrsmittels m

$X_{m,l}$ = quantifizierbare Merkmale des Verkehrsmittels m (z.B. Reisezeit, Kosten)

$c_{m,l}$ = Koeffizienten

n = Anzahl der Merkmale.

Dieser objektive Nutzen muss noch ergänzt werden, um einen subjektiven Nutzenanteil Z_m , der Zufallseinflüsse berücksichtigt:

$$Y_m = U_m + Z_m \quad (\text{Gleichung 4.4})$$

mit

Y_m = Gesamtnutzen des Verkehrsmittels m

Z_m = stochastische Nutzenkomponente des Verkehrsmittels m.

Für die Auswahlwahrscheinlichkeit p_m einer Alternative aus k möglichen Alternativen gilt allgemein:

$$p_m = \int_{-\infty}^{+\infty} f_m(y) \cdot \prod_{j=1, j \neq m}^k F_j(y) dy \quad (\text{Gleichung 4.5})$$

mit

$f_m(y)$ = Wahrscheinlichkeitsdichte des Gesamtnutzens Y_m der Alternative m

$F_j(y)$ = Verteilungsfunktion des Gesamtnutzens Y_j der verschiedenen Alternativen j

5 Dies bedeutet, dass jeder Verkehrsteilnehmer rational handelt und vollständige Informationen über das Verkehrssystem besitzt. Tatsächlich handelt der Mensch in aller Regel nicht rein rational, sondern sein Handeln wird auch durch emotionale Einflüsse mehr oder weniger stark bestimmt. Diese emotionalen Einflüsse sind allerdings – im Gegensatz zu den rationalen Einflüssen – nur sehr schwer oder gar nicht mathematisch zu beschreiben.

Gleichung 4.5 ist für mehr als zwei Alternativen m nur dann analytisch lösbar⁶, wenn allen Alternativen dieselbe Wahrscheinlichkeitsverteilung für Z_m in Form der speziellen Gumbel-Typ 1-Verteilung

$$F_m(Z) = e^{-0,56 \cdot e^{-Z_m}} \quad (\text{Gleichung 4.6})$$

unterstellt wird [10]. Dann errechnet sich aus Gleichung 4.5 die Wahrscheinlichkeit p_m , dass aus k möglichen Alternativen die Alternative (das Verkehrsmittel) m gewählt wird, zu

$$p_m = \frac{e^{U_m}}{\sum_{j=1}^k e^{U_j}} \quad (\text{Gleichung 4.7})$$

Auch Gleichung 4.7, die als Multinominales Logit-Modell bezeichnet wird, lässt sich in Form eines Individualverkehrsmodells darstellen, wenn die Auswahlwahrscheinlichkeit p_m auf verhaltenshomogene Gruppen bezogen wird. Mithilfe dieses Modells kann die Verkehrsmittelwahl der wahlfreien Verkehrsteilnehmer relativ einfach berechnet werden, da nur der objektive Teil der Nutzenfunktion zu berücksichtigen ist.

Allerdings zeigt sich in der hier beschriebenen Abfolge der einzelnen Teilmodelle (zuerst die Verkehrsmittelwahl, dann die Verkehrsverteilung) ein Nachteil: In die Nutzenfunktion U_m fließt u. a. die Reisezeit zwischen der Quelle und dem Ziel eines Weges ein. Das Ziel des Weges ist aber noch nicht bekannt, da es erst nach dem Schritt der Verkehrsmittelwahl ermittelt wird. Hier ist deshalb entweder eine Rückkopplung zwischen den beiden Schritten »Verkehrsmittelwahl« und »Verkehrsverteilung« erforderlich oder die Reihenfolge der Abarbeitung der beiden Teilmodelle wird vertauscht, was häufig gemacht wird, auch wenn dies ebenfalls Nachteile mit sich bringt, insbesondere den, dass dann das für einen Weg benutzte Verkehrsmittel noch nicht bekannt ist.

Das Logit-Modell kann nicht direkt mittels einer Regressionsrechnung kalibriert werden (wie dies im Beispiel zur Verkehrserzeugung gezeigt wurde, um den Koeffizienten a zu bestimmen). Über eine Haushaltsbefragung können aber die von den wahlfreien Verkehrsteilnehmern getroffenen Entscheidungen erhoben werden. Mit diesen Daten ist es dann möglich, das Logit-Modell zu kalibrieren, wie das folgende Beispiel zeigt.

6 Bei zwei Alternativen m kann für die Zufallsgröße Z_m auch eine Normalverteilung angesetzt werden, was eigentlich realistischer ist. Allerdings ist bei mehr als zwei Alternativen dann eine analytische Berechnung von Gleichung 4.5 nicht mehr möglich.

Auf einer Relation zwischen A und B kann die verhaltenshomogene Gruppe wahlfreier Berufs pendler zwischen den beiden Verkehrsmitteln »Pkw« und »Bus« wählen. Als Nutzenfunktionen wurden definiert:

$$U_{\text{Bus}} = C_{1,\text{Bus}} \cdot B + C_{2,\text{Bus}} \cdot \frac{t_{\text{Pkw}}}{t_{\text{Bus}}}$$

und

$$U_{\text{Pkw}} = C_{1,\text{Pkw}} \cdot \frac{1}{t_{\text{Pkw}}}$$

mit

B = Anzahl Busfahrten pro Stunde und Richtung

t = Reisezeit (min)

c = Koeffizienten.

Eine Haushaltsbefragung erbrachte für die hier untersuchte Personengruppe ein Aufteilungsverhältnis zwischen Pkw- und Busnutzung von 50 % : 50 %. Außerdem ergab sich nach Fahrplan und aus Reisezeitmessungen

$B = 6$ (Fahrten/h und Richtung)

$t_{\text{Pkw}} = 15,62$ (min)

$$\frac{t_{\text{Pkw}}}{t_{\text{Bus}}} = 0,67 (-)$$

Die Kalibrierung erbrachte für die Koeffizienten folgende Werte:

$C_{1,\text{Bus}} = 0,5$ (1/Fahrten pro h und Richtung)

$C_{2,\text{Bus}} = 0,3$ (-)

$C_{1,\text{Pkw}} = 50$ (min).

Damit errechnen sich die Nutzen zu

$$U_{\text{Bus}} = 0,5 \cdot 6 + 0,3 \cdot 0,67 = 3,201$$

$$U_{\text{Pkw}} = 50 \cdot \frac{1}{15,62} = 3,201$$

und die Auswahlwahrscheinlichkeiten nach Gleichung 4.7 erwartungsgemäß zu

$$p_{\text{Bus}} = 0,5$$

$$p_{\text{Pkw}} = 0,5$$

Auf der Buslinie ist eine Verkürzung der Beförderungszeit geplant, sodass sich unter sonst unveränderten Bedingungen das Reisezeitverhältnis t_{Pkw} zu t_{Bus} auf den Wert 0,89 verändert.

Wie wird sich diese Maßnahme auf die Verkehrsmittelwahl auswirken?

Für die Nutzenfunktion U_{Bus} gilt nun

$$U_{\text{Bus}} = 0,5 \cdot 6 + 0,3 \cdot 0,89 = 3,267$$

Damit ergibt sich nach Gleichung 4.7

$$p_{\text{Bus}} = 0,52$$

$$p_{\text{Pkw}} = 0,48$$

Es ist also zu erwarten, dass nach Realisierung der Maßnahme 52 % der Pendler den Bus und 48 % den Pkw nutzen werden.

4.2.4 Verkehrsverteilung

Mithilfe von Verkehrsverteilungsmodellen werden den in der Verkehrserzeugung gebildeten Wegen Ziele zugeordnet. Dabei kann die Verkehrsverteilung im Anschluss an die Verkehrsmittelwahl oder vor der Verkehrsmittelwahl durchgeführt werden. Auch bei der Verkehrsverteilung können Raumaggregats- und Individualverhaltensmodelle gebildet werden. Das in diesem Abschnitt vorgestellte Modell beruht – wie auch schon das Verkehrsmittelwahlmodell in Abschnitt 4.2.3 – auf einem Logit-Ansatz. Dabei wird jedem von einer Person durchgeführten Weg in Abhängigkeit von der beabsichtigten Aktivität (z. B. Arbeiten, Einkaufen) ein Ziel zugeordnet. Die Wahl des Zielortes hängt u. a. ab

- von der Entfernung zwischen Quelle und Ziel,
- von der Zielattractivität (z. B. Zahl der Arbeitsplätze),
- vom Zielpotenzial konkurrierender Zielorte und
- von der Widerstandsempfindlichkeit (Art der Widerstandsfunktion)⁷.

Die Wahrscheinlichkeit p_{ij} , dass ein Zielort j , in dem sich A_j Zielgelegenheiten (z. B. Arbeitsplätze) befinden, unter allen möglichen Alternativen k (Zielorten) von einem Quellort i aus gewählt wird, errechnet sich nach [10] zu

$$p_{ij} = \frac{A_j \cdot e^{-\alpha w_{ij}}}{\sum_{j=1}^k A_j \cdot e^{-\alpha w_{ij}}} \quad (\text{Gleichung 4.8})$$

⁷ Der Widerstand beschreibt die Verbindungsqualität eines Weges zwischen der Quelle i und dem Ziel j und wird durch eine Widerstandsfunktion dargestellt. In diese Funktion fließen die Reisezeit oder die Kosten als Widerstandsgröße ein.

Die Anzahl der Wege F_{ij} zwischen einem Quellort i und einem Zielort j errechnet sich dann – aufsummiert über alle Zielgelegenheiten A in j – zu

$$F_{ij} = Q_i \cdot p_i \quad (\text{Gleichung 4.9})$$

(Q_i vgl. Gleichung 4.2)

In Gleichung 4.8 tritt die Widerstandsfunktion in der Form

$$f_{W_{ij}} = e^{-\alpha W_{ij}}$$

auf.

Der Parameter α ist für jede verhaltenshomogene Gruppe und innerhalb der Gruppe für jeden Fahrtzweck zu kalibrieren [15]. Für den Widerstand w zwischen i und j wird in aller Regel die Reisezeit herangezogen und zwar die verkehrsmittelspezifische Reisezeit, wenn die Verkehrsmittelwahl schon erfolgt ist und eine ›fiktive‹ Reisezeit⁸, wenn die Wege noch nicht auf die zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel aufgeteilt wurden. Bei öffentlichen Verkehrsmitteln muss neben der Reisezeit auch noch die Anzahl der pro Tag angebotenen Fahrten und die Zahl der Umsteigevorgänge pro Fahrt berücksichtigt werden [16].

4.2.5 Zusammenhang zwischen Verkehrserzeugung, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsverteilung

Aufgrund der bisherigen Beschreibung könnte der Eindruck entstehen, dass die drei Teilprozesse der Verkehrserzeugung, der Verkehrsmittelwahl und der Verkehrsverteilung unabhängig voneinander ablaufen. Im tatsächlichen Entscheidungsablauf (im Kopf des Verkehrsteilnehmers) sind diese Prozesse allerdings eng miteinander verknüpft, da z. B. die Entscheidung, welches Verkehrsmittel für einen Weg benutzt wird, u. a. von dem gewählten Ziel und dessen Erreichbarkeit mit den zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln abhängt. Außerdem können bei unabhängigen Teilprozessen auch keine Wegeketten der Verkehrsteilnehmer berücksichtigt werden, was ein schwerwiegender Nachteil ist.

Die Teilmodele untereinander werden in einem sogenannten Simultanmodell verknüpft, indem für jede verhaltenshomogene Gruppe in einem Untersuchungsgebiet die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der einzelnen Aktivitätenmuster bestimmt werden, daraus der Gesamtumfang der an einem Tag in diesem Gebiet durchgeföhrten Wege (unter Beachtung der Wegeketten) errechnet und für den ersten Teilweg bei den wahlfreien Verkehrsteilnehmern

⁸ Die ›fiktive‹ Reisezeit ist für die Gruppe der Wahlfreien die kürzeste Reisezeit.

das dafür benutzte Verkehrsmittel festgelegt wird (über Gleichung 4.7). Die Wahl des für den ersten Weg genutzten Verkehrsmittels bestimmt dann im Wesentlichen die Verkehrsmittel für die weiteren Wege: Wenn z.B. für den ersten Weg von der Wohnung zur Arbeitsstelle der ÖPNV gewählt wurde, kann für die weiteren Wege nicht mehr der eigene Pkw genutzt werden – es sei denn, dass ein Zwischenweg wieder zur Wohnung zurück führt⁹. Dann ist die erneute Wahl eines Verkehrsmittels erforderlich. Auch zwischen den Quellen und Zielen der einzelnen Wege einer Person gibt es Abhängigkeiten, da das Ziel des n-ten Weges die Quelle des Weges n+1 ist. Die Wahrscheinlichkeit für die Wahl eines Ziels, an dem eine bestimmte Aktivität durchgeführt werden soll (Zielgelegenheiten A_j), errechnet sich nach Gleichung 4.8.

4.2.6 Routenwahl

Der letzte Teilschritt im Ablauf der Verkehrsnachfragemodellierung umfasst die Routenwahl, bei der die über Gleichung 4.9 ermittelten Wege F_{ij} (Wege von einer Quelle i zu einem Ziel j) getrennt für die einzelnen Verkehrsmittel (z.B. ÖPNV und MIV) auf die denkbaren Routen in einem Verkehrsnetz zwischen i und j aufgeteilt werden. Dieses Teilmodell wird eigenständig behandelt und nicht in die drei anderen Teilmodelle integriert.

Als Beispiel für ein Routenwahlmodell wird das Sukzessivverfahren beschrieben, das ein Aggregatmodell ist, weil hier keine Unterscheidung in verhaltenshomogene Gruppen gemacht wird und Wegeketten nicht mehr berücksichtigt werden. Prinzip dieses Verfahrens, das für den Kraftfahrzeugverkehr gilt, ist es, die ermittelten Wege (F_{ij}) schrittweise auf die jeweils zeitschnellste Route zwischen i und j zu legen. Die Reisezeit zwischen i und j ist hier somit die entscheidende Größe. Diese Zeit auf einer Route ist allerdings keine Konstante, sondern von der jeweiligen Verkehrsbelastung auf der Route abhängig: je höher die Verkehrsbelastung auf einer Route, desto geringer die erreichbare Geschwindigkeit und desto höher die Reisezeit auf der Route. Die belastungsabhängigen Widerstände (Reisezeiten) der Routen sind vor Anwendung des Verfahrens festzulegen. An einem Beispiel wird der Ablauf des Verfahrens erläutert.

⁹ Allerdings ist auch ein Wechsel des Verkehrsmittels innerhalb einer Wegekette ohne Rückkehr zur Wohnung möglich (z.B. von der Wohnung zur Arbeitsstelle mit dem Pkw, von dort zu einer Besprechung mit dem ÖPNV).

Zwischen einer Quelle i und einem Ziel j bestehen drei Alternativrouten a , b und c (vgl. Abb. 4.2).

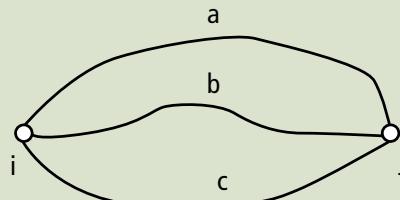


Abb. 4.2: Straßennetz des Beispiels

Für die drei Routen a , b und c gelten die in Abb. 4.3 dargestellten Zusammenhänge zwischen Verkehrsbelastung und Fahrzeit.

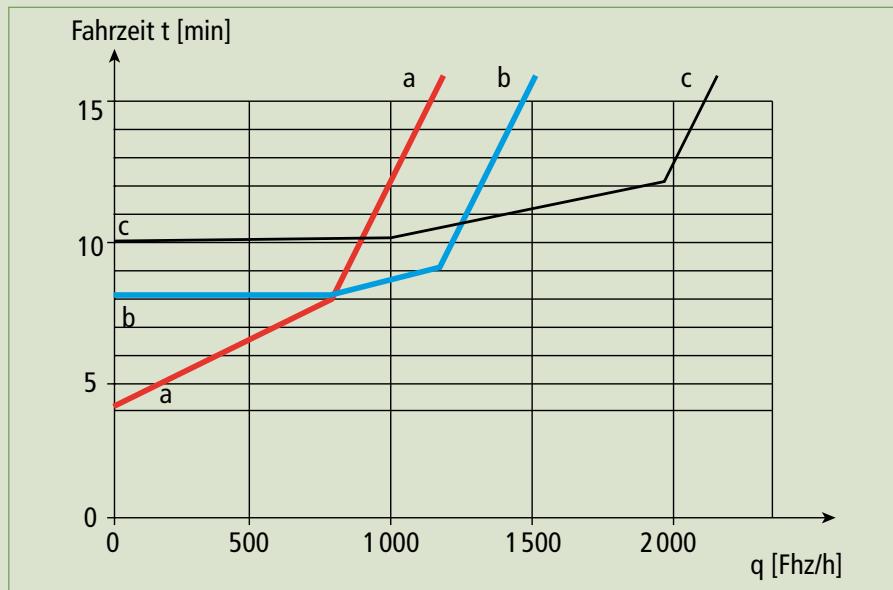


Abb. 4.3: Abhängigkeit zwischen Verkehrsbelastung und Fahrzeit auf den drei Routen des Beispiels

Zur Ermittlung der Aufteilung der Wege zwischen i und j ($F_{ij} = 2\,500$ Kfz-Wege/h) auf die drei Routen soll das Sukzessivverfahren in Teilschritten mit jeweils 200 Kfz/h angewendet werden*. Die Aufgabe wird mithilfe des in Abb. 4.4 gezeigten Schemas gelöst.

* Bei der praktischen Anwendung dieses Verfahrens soll mit zunehmender Zahl von Schritten die Schrittmenge abnehmen.

Route a		Route b		Route c		kürzeste Route		Σ Belastungen		
Kfz/h	t	Kfz/h	t	Kfz/h	t			a	b	c
200	5	200	8	200	10	a		200		
400	6	400	8	400	10	a		400		
600	7	600	8	600	10	a		600		
800	8	800	8	800	10	a		800*		
1 000	12	1 000	8,5	1 000	10	b			200	
1 200	>>	1 200	9	1 200	10,4	b			400	
1 400	>>	1 400	14	1 400	10,8	b			600	
								b		800
								b		1 000
								b		1 200
								c		200
								c		400
								c		500
								$\Sigma = 2\,500$		

* Bei 800 wird noch der volle Wert von 200 zu a gerechnet (kann auch aufgeteilt werden)

Abb. 4.4: Lösungsschema für das Sukzessivverfahren

Die Route a wird mit 800 Kfz/h, die Route b mit 1 200 Kfz/h und die Route c mit 500 Kfz/h belastet.

Routenwahlmodelle werden auch als Umlegungsmodelle bezeichnet, weil eine Gesamtmenge an Wegen auf ein Verkehrsnetz (das aus der Gesamtheit der Routen in einem Gebiet besteht) umgelegt wird. Ein Routenwahl- oder Umlegungsmodell mit belastungsabhängiger Routenwahl und der Angabe von praktischen Leistungsfähigkeiten (Kapazitäten), ab denen die Reisezeiten stark ansteigen (in Abb. 4.3 sind dies die Knickpunkte), wird als Modell mit »capacity restraint« bezeichnet. Es wird dabei ein praktischer Grenzwert der Verkehrsbelastung angegeben, der zwar überschritten werden kann, ab dem der Widerstand (die Reisezeit) aber stark zunimmt.

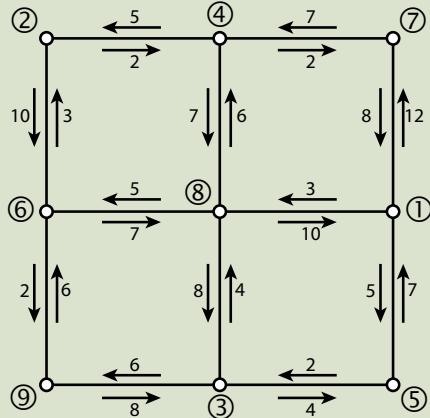
Umlegungsmodelle für den öffentlichen Verkehr unterscheiden sich von denen des Kfz-Verkehrs u. a. dadurch, dass

- im ÖV die Routenwahl in der Regel eingeschränkt ist (ÖV-Netze sind weniger dicht als Straßennetze),
- die Reisezeit in nur geringem Maße von der Belastung abhängt und durch den Fahrplan vorgegeben ist,
- die Kapazität einer Strecke eine geringere Rolle spielt, weil im Schienennverkehr die Kapazität einer Strecke durch längere Züge bei gleichbleibendem Takt erhöht werden kann.

Eine wesentliche Aufgabe bei der Routenwahl, insbesondere in komplexen Verkehrsnetzen, besteht in der Auffindung der zeitkürzesten Route zwischen i und j. Hierfür gibt es eine Vielzahl von Verfahren, z.B. den Dijkstra-Routensuch-Algorithmus [17]. In diesem graphentheoretischen Verfahren werden von einem gewählten Ausgangsknoten (Knoten sind z.B. Straßenknoten) in einem Netz die zeitkürzesten Wege zu allen anderen Knoten im Netz gesucht. Dazu wird die gesamte Fahrzeit zu allen Nachbarknoten, die noch nicht Ausgangsknoten waren, berechnet. Ist die gerade betrachtete Route zeitkürzer als die bis dahin zeitkürzeste Route, wird diese gestrichen. Im Ablauf des Verfahrens wird jeder Knoten einmal Ausgangsknoten. Sind alle Knoten abgearbeitet, ist das Verfahren beendet. An einem Beispiel werden die drei Schritte des Verfahrens erläutert (Abb. 4.5).

Bei der praktischen Anwendung muss das betrachtete Verkehrsnetz so aufbereitet werden, dass damit – auch an einem Rechner – gearbeitet werden kann. Dazu bietet sich eine streckenorientierte Netzbeschreibung an. Dabei wird eine Strecke in einem Netz am Streckenanfang mit einem Knoten gekennzeichnet. Die Strecke endet am Beginn der direkt darauffolgenden Strecke. Der Gesamtwiderstand für diese Strecke enthält sowohl den Widerstand der Strecke selbst als auch den Abbiege- oder Knotenwiderstand (Abb. 4.6).

1. Schritt (Abb. 4.5 a): Netz mit Widerständen. Die Zahlen an den Strecken bedeuten Reisezeiten (in einer fiktiven Einheit). Gesucht sind die kürzesten Wege von einem Knoten ›Basisknoten‹, (im Beispiel Knoten 7) zu allen anderen Knoten ›Zielknoten‹, d.h. der Baum der kürzesten Wege.



2. Schritt (Abb. 4.5 b): Lösungstabelle. So ist z.B. die Pfeilfolge 7-1-8-3 (Nr.8) mit einer Reisezeit von 19 langsamer, als die unter Nr. 10 gefundene Pfeilfolge 7-1-5-3 (Reisezeit 15) und wird deshalb gelöscht.

Nr.	Knoten	Pfeilfolge	Zeit	Löschmarke
1	7	7 - 1	8	
2		7 - 4	7	
3	4	7 - 4 - 2	12	
4		7 - 4 - 8	14	5
5	1	7 - 1 - 8	11	
6		7 - 1 - 5	13	
7	8	7 - 1 - 8 - 6	16	
8		7 - 1 - 8 - 3	19	10
9	2	7 - 4 - 2 - 6	22	7
10	5	7 - 1 - 5 - 3	15	
11	3	7 - 1 - 5 - 6 - 9	21	12
12	6	7 - 1 - 8 - 6 - 9	18	
13	9		Ende	

Fortsetzung auf S. 50 ➔

3. Schritt (Abb. 4.5 c): Darstellung des Ergebnisses: Baum der kürzesten Wege für den Basis-knoten 7

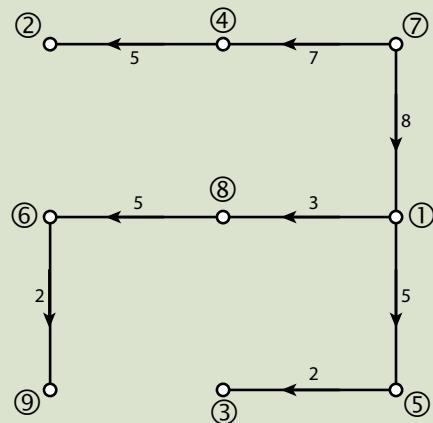


Abb. 4.5: Beispiel für den Dijkstra-Algorithmus [Quelle: [17]]

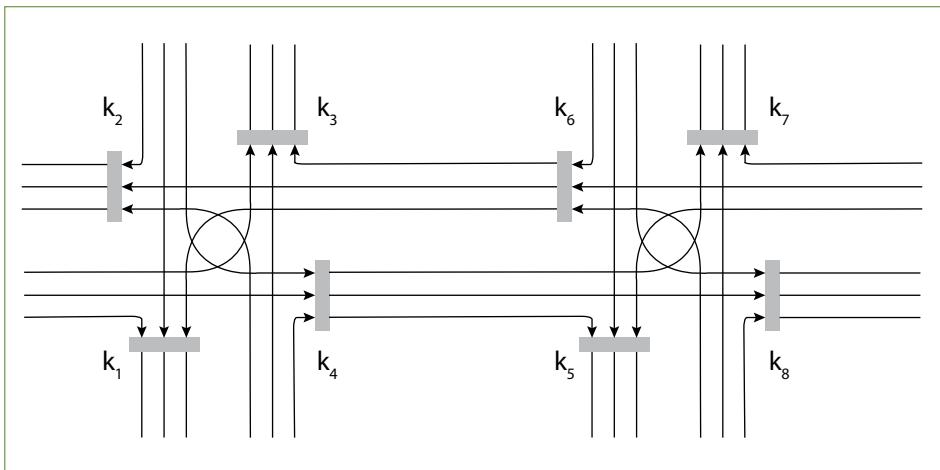


Abb. 4.6: Streckenorientierte Netzbeschreibung; k_i sind Teilknoten, in die ein echter Knoten aufgelöst wird [Quelle: [10]]

4.2.7 Die VerkehrsnachfragemodeLLierung im Überblick

Verkehrsplanung bezieht sich immer auf eine definierte Raumeinheit (z. B. das Gebiet einer Stadt), die als Untersuchungsgebiet bezeichnet wird. Da die Verkehrsströme aber nicht nur innerhalb dieses Untersuchungsgebietes auftreten, sondern dessen Grenzen überschreiten, müssen auch alle Nachbarregionen, mit denen das Untersuchungsgebiet verkehrlich im Austausch steht, einbezogen werden. Dieses erweiterte Planungsgebiet wird Untersuchungsraum genannt.

Für das Untersuchungsgebiet detaillierter, für den übrigen Untersuchungsraum größer, sind die Raum- und Siedlungsstrukturen (Flächennutzung) einschließlich Einwohnerzahlen, Altersstruktur, Arbeitsplätzen, Schülerzahlen usw. sowie das Verkehrsangebot zusammenzustellen. Als Grundlage für die Ermittlung der Verkehrsnachfrage sind Verkehrserhebungen, insbesondere Haushaltsbefragungen, häufig unerlässlich¹⁰ (vgl. Kapitel 3). Daraus können Daten zur Mobilität und Verkehrsmittelwahl der Bevölkerung sowie zu den Wegeketten der verschiedenen verhaltenshomogenen Gruppen entnommen werden. Zusammen mit den Ergebnissen weiterer Erhebungen (z. B. Kordonierhebungen (vgl. Kapitel 3)) lässt sich durch Hochrechnung auf die gesamte Bevölkerung ein Bild der aktuellen Verkehrsnachfrage erstellen.

Zur Beschreibung der Verkehrsnachfrage ist es erforderlich, den gesamten Untersuchungsraum in Verkehrszellen einzuteilen (im Untersuchungsgebiet so kleinteilig, dass der motorisierte Verkehr (MIV und ÖPNV) innerhalb einer Verkehrszelle vernachlässigbar ist, mit zunehmender Entfernung im Untersuchungsraum größer werdend, Abb. 4.7).

Auf der Grundlage der Verkehrszelleneinteilung des Untersuchungsraumes werden folgende Schritte bis zur Ermittlung der Verkehrsbelastungen in Verkehrsnetzen durchgeführt (Abb. 4.8).

Eingangsgrößen: Die Größen zur Beschreibung des Untersuchungsraumes, der soziodemografischen Struktur, des Verkehrsverhaltens und der Verkehrsangebote (einschließlich der Widerstandsmatrices W_{ij}^{IV} und $W_{ij}^{ÖV}$ (Abb. 4.8)), d. h. der verkehrsmittelspezifischen Reisezeiten zwischen allen Verkehrszellen i und j) werden zusammengestellt.

Verkehrserzeugung: Die Aktivitätenmuster (Wegeketten) werden für jede verhaltenshomogene Gruppe aus den Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der typischen Aktivitätenmuster der jeweiligen Gruppe (vgl. Tabelle 4.1) für jede Verkehrszelle i ermittelt. Die Quellverkehrszelle i , in der eine Wegekette be-

¹⁰ Für viele Städte und Regionen liegen über die MiD- und SrV-Haushaltsbefragungen entsprechende Daten vor (vgl. Abschnitt 1.2.2).

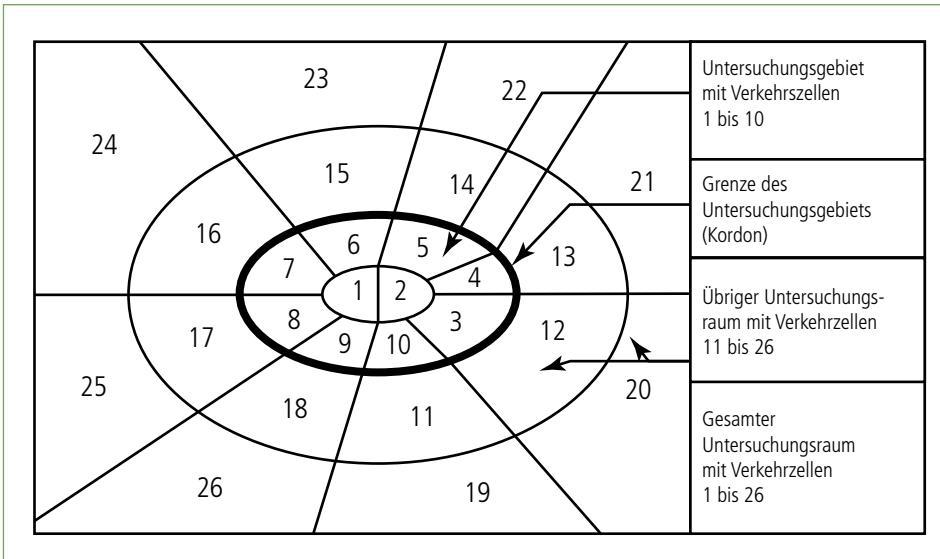


Abb. 4.7: Einteilung eines Untersuchungsraumes in Verkehrszellen

ginnt, wird zufällig aus den Haushaltsadressen des Untersuchungsgebietes ausgewählt (über 90 % aller Wegeketten eines Tages beginnen an der Wohnung). **Ergebnis:** Quellen i des ersten Weges einer jeden Wegekette der Einwohner in jeder Zelle i des Untersuchungsgebietes über alle verhaltenshomogenen Gruppen g . (So ist dann z. B. das Quellverkehrsaufkommen eines reinen Wohngebietes die Summe der Einzelwege aller Wegeketten in dem Wohngebiet, die an der Wohnung beginnen).

Verkehrsmittelwahlsituation: Die Wegeketten werden über die Zugehörigkeit zu einer verhaltenshomogenen Gruppe (z. B. Erwerbstätiger ohne Pkw-Verfügbarkeit) auf »ÖV-Gebundene«, »IV-Gebundene« und »Wahlfreie« aufgeteilt.

Ergebnis: Anzahl der Wegeketten $K_{i,IV}^g$, $K_{i,ÖV}^g$ und $K_{i,W}^g$.

Verkehrsmittelwahl der Wahlfreien: Für die Teilmenge $K_{i,W}^g$ wird das Verkehrsmittel für den ersten Weg der Wegekette (und bei der Möglichkeit, das Verkehrsmittel zu wechseln, auch für weitere Wege innerhalb der Wegekette) bestimmt (mithilfe von Gleichung 4.7). Auf die Unterscheidung nach verhaltenshomogenen Gruppen kann ab hier verzichtet werden.

Ergebnis: $K_{i,W,IV}^g$ und $K_{i,W,ÖV}^g$ (Anzahl der Wegeketten der Wahlfreien im IV und im ÖV) und damit die Gesamtzahl der Wegeketten im IV ($K_{i,IV}^g + K_{i,W,IV}^g$) und im ÖV ($K_{i,ÖV}^g + K_{i,W,ÖV}^g$).

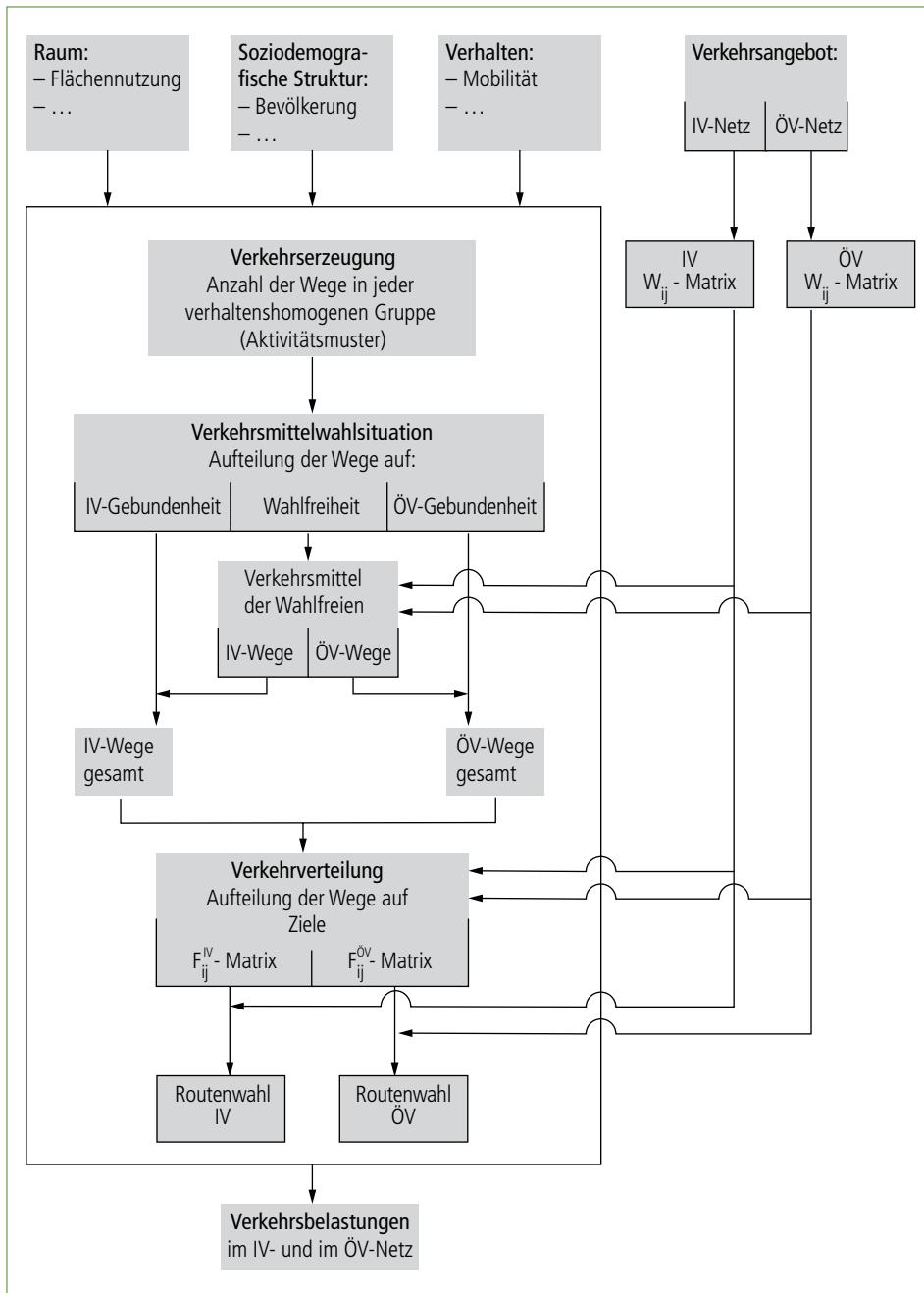


Abb. 4.8: Simultaner Aufbau der Verkehrsnachfragemodellierung [Quelle: in Anlehnung an [12]]

Verkehrsverteilung: Für jede Wegekette werden für jeden einzelnen Teilweg mithilfe der Gleichungen 4.8 und 4.9 die Ziele j ermittelt, wobei in Gleichung 4.8 für die jeweilige Aktivität A_j die entsprechende Kenngröße (bei der Aktivität Arbeit z.B. die Zahl der Arbeitsplätze in j) eingesetzt wird. Dabei wird berücksichtigt, dass das Ziel des Teilweges n die Quelle des Teilweges $n+1$ innerhalb einer Wegekette ist. Danach muss der Zusammenhang zwischen den Einzelwegen einer Wegekette nicht mehr berücksichtigt werden, weshalb die Wegeketten auf die Einzelwege heruntergebrochen werden können.

Ergebnis: Die Summe aller Einzelwege $\sum F_{ijE}^m$ für jedes Verkehrsmittel m der Einwohner des Untersuchungsgebietes.

Verkehrsbeziehungsmatrices: Für jedes Verkehrsmittel m werden zu den Wegen der Einwohner noch die Wege der Nicht-Einwohner (NE) des Untersuchungsgebietes in das und aus dem Untersuchungsgebiet hinzugefügt.

Ergebnis:

$$\sum_{ij} F_{ijE}^m + \sum_{ij} F_{ijNE}^m = \sum_{ij} F_{ij}^m$$

Die F_{ij}^m -Werte werden in einer Verkehrsbeziehungsmatrix dargestellt (Abb. 4.9), in der die Randbedingung »Summe aller Zeilensummen = Summe aller Spaltensummen« erfüllt sein muss.

Folgende Wegearten treten in der Verkehrsbeziehungsmatrix auf:

Wege im Binnenverkehr des Untersuchungsgebietes (n Verkehrszellen):

$$BV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n F_{ij}$$

Wege im Quellverkehr aus dem Untersuchungsgebiet (m-n Verkehrszellen außerhalb des Untersuchungsgebietes):

$$QV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=n+1}^{n+m} F_{ij}$$

Wege im Zielverkehr in das Untersuchungsgebiet:

$$ZV = \sum_{i=n+1}^{n+m} \sum_{j=1}^n F_{ij}$$

nach i							
vor i	1	2	3	n	n+1		m
1	$F_{1,1}$	$F_{1,2}$	$F_{1,3}$		$F_{1,n}$	$F_{1,n+1}$	
2	$F_{2,1}$	$F_{2,2}$	$F_{2,3}$		$F_{2,n}$	$F_{2,n+1}$	
3	$F_{3,1}$	$F_{3,2}$	$F_{3,3}$		$F_{3,n}$	$F_{3,n+1}$	
	①				②		
n	$F_{n,1}$	$F_{n,2}$	$F_{n,3}$		$F_{n,n}$	$F_{n,n+1}$	
n+1	$F_{n+1,1}$	$F_{n+1,2}$	$F_{n+1,3}$		$F_{n+1,n}$	$F_{n+1,n+1}$	
	③				④		
m	$F_{m,1}$	$F_{m,2}$	$F_{m,3}$		$F_{m,n}$	$F_{m,n+1}$	

Abb. 4.9: Verkehrsbeziehungsmatrix für ein Verkehrsmittel

Die Größen F_{ij} sind Zellbinnenverkehre. Sie können für den Kfz-Verkehr und den ÖPNV zu Null gesetzt werden, sofern die Verkehrszellen klein genug sind.

Quadrant ① Binnenverkehr; **Quadrant ②** Quellverkehr; **Quadrant ③** Zielverkehr; **Quadrant ④** Durchgangsverkehr

Wege im Durchgangsverkehr durch das Untersuchungsgebiet:

$$DV = \sum_{i=n+1}^{n+m} \sum_{j=n+1}^{n+m} F_{ij}$$

Routenwahl: Die F_{ij} -Werte der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsbeziehungsmarices werden unter Einbeziehung der Widerstandsmatrices W_{ij}^IV und $W_{ij}^ÖV$ mithilfe eines Routenwahlmodells auf das entsprechende Verkehrsnetz umgelegt.

Ergebnis: Verkehrsbelastungen für alle Strecken eines Verkehrsnetzes (z.B. Straßennetz für den Kfz-Verkehr).

Anmerkung: In der praktischen Anwendung wird dieser Prozess teilweise vereinfacht durchgeführt.

4.3 Sonstige Verkehrsmodelle

Das in Abschnitt 4.2 vorgestellte Verkehrsnachfragermodell ist ein makroskopisches Modell, bei dem nicht jeder Weg des einzelnen Verkehrsteilnehmers, sondern die Gesamtheit der Wege einer Gruppe von Verkehrsteilnehmern im Zentrum der Betrachtung steht. Daneben spielen im Verkehrswesen auch mikroskopische Modelle eine wichtige Rolle, bei denen jeder Weg des einzelnen Verkehrsteilnehmers oder der Bewegungsablauf der einzelnen Fahrzeuge mehr oder weniger vereinfacht dargestellt wird. Mikroskopische Modelle werden u. a. für die Simulation des Verkehrsablaufs auf Straßen- und Schienenwegen benötigt, wenn es z. B. darum geht, die Auswirkung unterschiedlicher Lichtsignalsteuerungsverfahren auf den Verkehrsablauf an Knotenpunkten zu untersuchen. Auf mikroskopische Modelle wird nicht weiter eingegangen.

5 Prognose

Verkehrsanlagen werden nicht für heute geplant. Häufig dauert der gesamte Planungs- und Umsetzungsprozess viele Jahre, in denen sich wesentliche Rahmenbedingungen wie z.B. Einwohnerzahlen verändern. Deshalb muss für die Planung von Verkehrsanlagen ein Planungshorizont von i.d.R. zwischen 5 und 20 Jahren festgelegt werden; 5 Jahre eher für kurzfristig umsetzbare Maßnahmen, 20 Jahre für Planungen, deren Planungszeit bis zur Umsetzung lange dauert. Planungen werden somit für einen mit Unsicherheiten versehenen zukünftigen Zustand durchgeführt, wobei die Unsicherheit umso größer wird, je weiter entfernt der Planungshorizont ist. Dieser zukünftige Zustand muss prognostiziert werden.

Es ist nicht Aufgabe der Verkehrsplanung, Prognosen der dem Verkehrs geschehen zugrunde liegenden Strukturgrößen, wie z.B. Zahl der Einwohner (siehe dazu Abb. 1.1), selbst vorzunehmen. Die Aufgabe besteht vielmehr darin, aus solchen von anderen Institutionen (z.B. dem Statistischen Bundesamt) erarbeiteten Prognosen die richtigen verkehrsrelevanten Schlüsse zu ziehen.

Für Prognosen als Versuch einer begründeten Vorausschätzung zukünftiger Entwicklungen gilt: Im zeitlichen Nahbereich (Prognosehorizont bis etwa 5 Jahre) ist die Vorausschätzung der in diesem Zeitraum zu erwartenden Entwicklungen relativ genau. Die Einflussmöglichkeiten einer auf einer solchen Kurzfristprognose aufbauenden Planung sind aber begrenzt. Umgekehrt nehmen bei Mittelfristprognosen (Planungshorizont bis etwa 10 Jahre) und noch eher bei Langfristprognosen (Planungshorizont bis maximal 20 Jahre) die Einflussmöglichkeiten zu, die ‚Genaugkeit‘ der Prognose (d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass eine Entwicklung so wie prognostiziert eintritt) nimmt dagegen ab.

Die einfachste Prognosemethode ist die Trendprognose, bei der aus der bisherigen Entwicklung einer Größe im Zeitverlauf die zukünftige Entwicklung direkt abgeleitet wird, wozu lineare, exponentielle oder logistische Funktionen herangezogen werden. Ein Beispiel für eine logistische Funktion, die sich einem Sättigungswert nähert, ist in Abb. 5.1 dargestellt. Sie gibt eine mögliche Entwicklung der Weltbevölkerung wieder, bei der das bisherige exponentielle Wachstum der Weltbevölkerung z.B. durch Maßnahmen der Geburtenkontrolle abgebremst wird. Ein weiterer exponentieller Verlauf würde in wenigen 100 Jahren zu einer nicht mehr verkraftbaren Übervölkerung der Erde führen.

Wenn die bisherige Entwicklung nicht durch eine analytische Funktion beschrieben werden kann, bietet sich die Methode des gleitenden Durchschnitts an, mit der es gelingen kann, sehr unregelmäßige, aber dennoch einem Trend

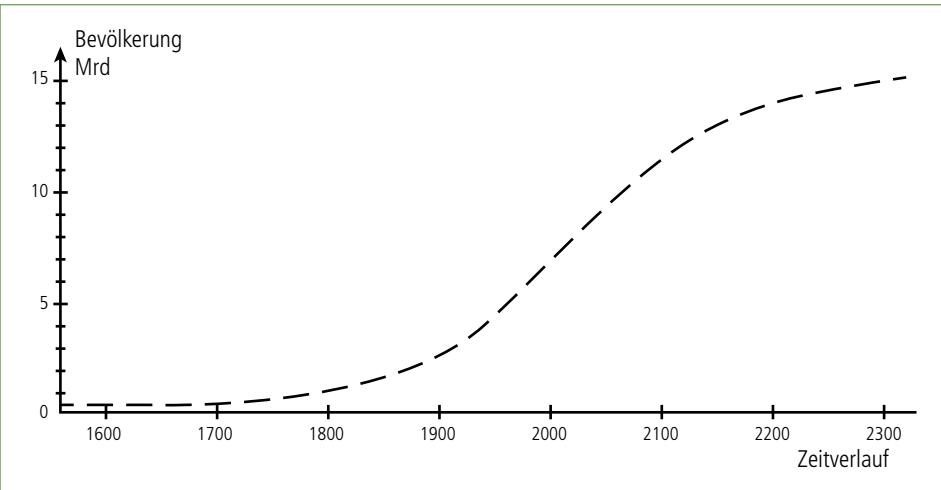


Abb. 5.1: Prognose der Weltbevölkerungsentwicklung

unterliegende Entwicklungen darzustellen. Die Vorgehensweise wird an einem Beispiel erläutert.

Gegeben ist eine Zeitreihe x_i (i beschreibt z. B. aufeinanderfolgende Monate).

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
x_i	1	2	1	1	3	1	3	2	3	7	5	4	8	7	11

Schritt 1: Zunächst ist die Anzahl der einzelnen Punkte zu wählen, aus denen jeweils ein neuer Punkt errechnet wird. Diese Anzahl sollte eine ungerade Zahl sein ($2k+1$)

$$\rightarrow \text{gewählt: } k = 2 \rightarrow 2k+1 = 5$$

Schritt 2: Die folgenden Summen sind zu bilden:

$$S_{k+1} = \sum_{i=1}^{2k+1} x_i$$

$$S_{k+2} = S_{k+1} + x_{2k+2} - x_1$$

$$S_{k+3} = S_{k+2} + x_{2k+3} - x_2 \quad \text{usw.}$$

$S_3 = \sum_1^5 x_i = 1 + 2 + 1 + 1 + 3 = 8$	1,6
$S_4 = 8 + x_6 - x_1 = 8 + 1 - 1 = 8$	1,6
$S_5 = 8 + x_7 - x_2 = 8 + 3 - 2 = 9$	1,8
$S_6 = 9 + x_8 - x_3 = 9 + 2 - 1 = 10$	2,0
$S_7 = 10 + x_9 - x_4 = 10 + 3 - 1 = 12$	2,2
$S_8 = 12 + x_{10} - x_5 = 12 + 7 - 3 = 16$	3,2
$S_9 = 16 + x_{11} - x_6 = 16 + 5 - 1 = 20$	4,0
$S_{10} = 20 + x_{12} - x_7 = 20 + 4 - 3 = 21$	4,2
$S_{11} = 21 + x_{13} - x_8 = 21 + 8 - 2 = 27$	5,4
$S_{12} = 27 + x_{14} - x_9 = 27 + 7 - 3 = 31$	6,2
$S_{13} = 31 + x_{15} - x_{10} = 31 + 11 - 7 = 35$	7,0

Schritt 3: Zu berechnen ist der Wert des gleitenden Durchschnitts entsprechend der

$$\text{Formel: } x_i^* = \frac{S_i}{2k+1}$$

Abb. 5.2 zeigt den Zeitverlauf der echten Werte x_i und der geglätteten Werte x_i^* sowie die Prognose der Werte x_i^* mit einem Schwankungsbereich.

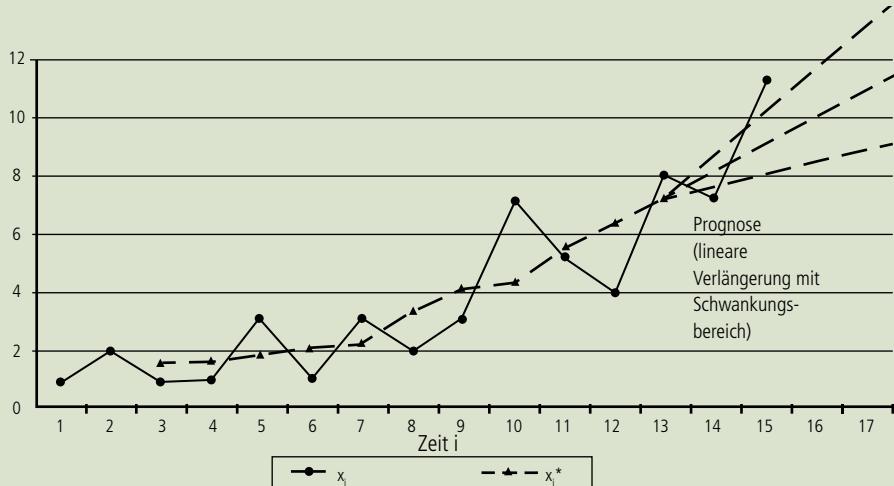


Abb. 5.2: Gleitender Durchschnitt – Beispiel

Zumeist besteht die Aufgabe in der Verkehrsplanung allerdings nicht in der Prognose einer Größe, sondern in der Prognose einer Gesamtentwicklung, die von einer Vielzahl einzelner Größen bestimmt wird (wobei für die Prognose von Einzelgrößen durchaus eine Trendprognose herangezogen werden kann). Hierfür wird eine Modellprognose in Form der Szenariotechnik herangezogen,

die die Möglichkeit bietet, ›Wenn-Dann‹-Aussagen herzuleiten (wenn eine bestimmte Entwicklung eintritt, dann ist mit Auswirkungen der und der Art zu rechnen). Die Szenariotechnik eignet sich für mittel- und langfristige Prognosen komplexer Systeme wie des Verkehrssystems. Für das Eintreffen eines bestimmten Szenarios kann keine Wahrscheinlichkeit angegeben werden, die Szenarien müssen aber realistisch und in sich widerspruchsfrei sein [18]. Bei der Anwendung der Szenariotechnik in der Verkehrsplanung werden mindestens zwei Szenarien gebildet, die einen unteren und einen oberen Rand einer denkbaren Entwicklung beschreiben. Ein Szenario wird gebildet, indem zunächst die Rahmenbedingungen und deren Entwicklungen bis zum Prognosehorizont definiert und – soweit möglich – quantifiziert werden. Zu diesen Rahmenbedingungen zählen u. a.:

- die demografische Entwicklung,
- die wirtschaftliche Entwicklung,
- die Entwicklung sozialer Strukturen,
- die stadt- und raumstrukturelle Entwicklung, z. B.
 - Einwohnerdichte,
 - Lage, Art und Anzahl der Arbeitsplätze,
 - Lage, Art und Anzahl der Ausbildungsplätze sowie
- die Entwicklung von Mobilitätsverhaltensweisen.

Im Verkehrsplanungsprozess werden nun unter Berücksichtigung dieser Entwicklungen aus den Analyse-Verkehrsbeziehungsmarices (in der Regel für den MIV und den ÖPNV) (vgl. dazu Abschnitt 4.2.7) Prognose-Verkehrsbeziehungsmarices erstellt (Prognose 1. Stufe). So führt z. B. eine zu erwartende Abnahme der Einwohnerzahl in einem Planungsgebiet zu einem Rückgang der Verkehrsnachfrage. Zur Berechnung von Prognose-Verkehrsbeziehungsmarices stehen entsprechende EDV-Programme zur Verfügung.

Anschließend sind solche Maßnahmen festzulegen, die eine dem jeweiligen Szenario unterstellte Entwicklungsrichtung unterstützen, welche durch Zielgrößen beschrieben wird. Zu diesen Maßnahmen zählen politische Entscheidungen wie z. B. eine Erhöhung der Mineralölsteuer, Handlungsansätze (eine Vielzahl zusammenhängender Maßnahmen) wie z. B. die Beeinflussung von Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer, und konkrete Einzelmaßnahmen wie z. B. der Bau einer neuen U-Bahnstrecke. Solche Maßnahmen haben Einfluss auf die Prognose-Verkehrsbeziehungsmarices. So führt beispielsweise die Inbetriebnahme einer neuen U-Bahnstrecke in aller Regel zu Verkehrsverlagerungen vom MIV auf den ÖPNV. Mit geeigneten Modellen (vgl. Abschnitt 4.2.3) werden die Wirkungen der Maßnahmen auf die Verkehrsnachfrage (d. h. auf die Verkehrsbeziehungsmarices) ermittelt (Prognose 2. Stufe). Die Rahmenbedingungen und die Maßnahmen bilden den ›Wenn-Teil‹ eines Szenarios. Der

Szenario 1 (2030)	Szenario 2 (2030)
<p>Rahmenbedingungen: Rückgang der Bevölkerung auf 77,2 Mio.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Null-Wachstum des Bruttoinlandsproduktes ■ soziale Spreizung der Bevölkerung nimmt zu ■ starke Schwächung ländlicher Räume <p>Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Förderung der Elektromobilität nur in Ballungsräumen ■ Reduzierung des ÖPNV-Angebotes in ländlichen Räumen <p>Wirkungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Rückgang der Personenverkehrsleistung um 0,4 %/Jahr ■ Stagnation der Güterverkehrsleistung ■ deutlicher Rückgang der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen 	<p>Rahmenbedingungen: leichter Rückgang der Bevölkerung auf 80,6 Mio.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Zunahme des Bruttoinlandsproduktes um 1,5 %/Jahr ■ soziale Spreizung der Gesellschaft nimmt nicht zu ■ Schwächung ländlicher Räume <p>Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Förderung innovativer Technologien ■ Ausbau des Verkehrssystems <p>Wirkungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Anstieg der Personenverkehrsleistung um 0,2 %/Jahr ■ Anstieg der Güterverkehrsleistung um 2 %/Jahr ■ stagnierende CO₂-Emissionen

Abb. 5.3: Zwei Mobilitätsszenarien für Deutschland (2030)

›Dann-Teil< beschreibt die Wirkungen des ›Wenn-Teils< auf die zu untersuchenden Größen.

In vielen Anwendungsfällen (z. B. bei Verkehrsentwicklungsplänen für eine einzelne Stadt) genügt es, wenn für die in die Untersuchung einbezogenen Szenarien dieselben Entwicklungen der Rahmenbedingungen zugrunde gelegt werden und sich nur die Maßnahmen voneinander unterscheiden. Insbesondere bei großräumigen Untersuchungen sollte aber für jedes Szenario von unterschiedlichen Entwicklungen der Rahmenbedingungen ausgegangen werden.

Als Beispiel für eine Szenarienbildung sind in Abb. 5.3 zwei Szenarien für das Jahr 2030 dargestellt, die einer Studie zur Zukunft der Mobilität in Deutschland [19] entnommen worden sind, allerdings in vereinfachter Form.

In den beiden Szenarien sind die Zielgrößen die Veränderungen der Personenverkehrsleistung, der Güterverkehrsleistung und der verkehrlichen CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2030 unter den jeweiligen Rahmenbedingungen und Maßnahmen, die sich in beiden Szenarien deutlich voneinander unterscheiden. Die wesentlichen Erkenntnisse aus dieser Szenarienbetrachtung können z. B. für das Szenario 1 wie folgt zusammengefasst werden: Eine stagnierende Wirtschaft, einhergehend mit einem starken Bevölkerungsrückgang¹¹ und nur

¹¹ Eine stagnierende oder sogar negative wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland hat auch negative Einflüsse auf die Bevölkerungsentwicklung, weil die Zuwanderung nach Deutschland deutlich geringer ausfällt als bei einer positiven Wirtschaftsentwicklung.

wenigen Maßnahmen zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Verkehrssystems (Wenn-Teil), führt zur Reduktion der Verkehrsleistung und zu einem deutlichen Rückgang verkehrsbedingter CO₂-Emissionen (Dann-Teil).

6 Verkehrsplanerische Konzepte

6.1 Leitbilder der Stadt- und Verkehrsplanung

Die Stadt- und Verkehrsplanung spiegelt gesellschaftliche Leitbilder wider. Aus der nach dem zweiten Weltkrieg in Deutschland beginnenden Motorisierung heraus entstand das Leitbild einer motorisierten Gesellschaft, für die entsprechende Infrastrukturen, insbesondere für den Kraftfahrzeugverkehr, bereitgestellt werden mussten (Leitbild der autogerechten Stadt). Die stärkere Berücksichtigung anderer Verkehrsmittel in der Verkehrsplanung, insbesondere des öffentlichen Personennahverkehrs, führte dann zu Beginn der 70er-Jahre des letzten Jahrhunderts zum Leitbild der verkehrsgerechten Stadt. Interessant ist dabei, dass sich der Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs in den Städten, der ja in den 50er- und 60er-Jahren noch hohe Anteile am Gesamtverkehrsaufkommen hatte und diese immer mehr an den Pkw-Verkehr verlor, auf große Schienenverkehrsprojekte (S-Bahn, U-Bahn) konzentrierte, um damit wieder mehr Verkehrsanteile auf den öffentlichen Verkehr zurück zu holen. In etlichen Städten wurden die vorhandenen Straßenbahnsysteme zugunsten von U-Bahnen aufgegeben.

Die im Wesentlichen auf den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur ausgerichteten Verkehrsplanungskonzepte wurden ab den 90er-Jahren des letzten Jahrhunderts mehr und mehr abgelöst von Konzepten, die städtebauliche Grundsätze wie z.B.

- dezentrale Strukturen,
 - Urbanität durch hohe Bebauungsdichten,
 - Innenentwicklung vor Außenentwicklung,
 - Durchmischung der Funktionen und
 - Konzentration der Siedlungsentwicklung entlang von ÖPNV-Achsen und verkehrliche Grundätze wie insbesondere
 - Verringerung des Ressourcenverbrauchs,
 - Verringerung der Emissionen von Kohlendioxid, gasförmigen Schadstoffen, Feinstaub, Lärm und
 - Verbesserung der Aufenthaltsmöglichkeiten in Stadt-/Straßenräumen
- verfolgen. Dabei werden alle Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, Nutzer des ÖPNV und Autofahrer) gleichermaßen berücksichtigt und Verkehrspla-

nung und Stadtplanung verzahnt (integrierte Planung). In diese Planungskonzepte werden Strategien zur

- Verkehrsvermeidung,
- Verkehrsaufwandsminderung,
- Verkehrsverlagerung auf stadtverträgliche Verkehrsmittel (ÖPNV; Rad- und Fußgängerverkehr),
- zeitlichen und räumlichen Verkehrsverlagerung und
- effizienteren Abwicklungen des Verkehrs durch Verkehrsmanagement einbezogen (Leitbild des stadt- und umweltverträglichen Verkehrs) (vgl. auch Abschnitt 2.2).

Nicht mehr nur verkehrsinfrastrukturelle Maßnahmen, sondern auch Maßnahmen

- der Verkehrsorganisation (z. B. die Stellplatzpolitik einer Stadt),
- für den Rad- und Fußgängerverkehr,
- der Ordnungspolitik (z. B. die Festlegung eines Kfz-Geschwindigkeitsniveaus in einer Stadt),
- der Vernetzung der Verkehrssysteme (z. B. P+R-Anlagen, Mitnahme von Fahrrädern im ÖPNV),
- der Beeinflussung der Nutzerkosten (z. B. Parkgebühren, City-Maut) und
- der Verhaltensbeeinflussung (z. B. Schulungen zum energiesparsamen Fahren)

stehen somit im Fokus verkehrsplanerischer Untersuchungen [20]. Auf einige Maßnahmenbereiche wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

6.2 Verkehrsnetze

Das Straßennetz dient nicht nur dem Kraftfahrzeugverkehr, sondern auch dem öffentlichen Personennahverkehr (sofern keine eigenständigen Schienentrassen genutzt werden), dem Radverkehr und dem Fußgängerverkehr (auch für diese beiden Verkehrsarten gibt es eigenständige, d. h. unabhängig von Straßen verlaufende Wege). Insgesamt ergeben sich somit verschiedene Teilnetze:

- das Fußwegenetz, das aus strassenbegleitenden Gehwegen, eigenständigen Gehwegen und aus Fußgängerzonen sowie verkehrsberuhigten Bereichen besteht,
- das Radwegenetz, das aus strassenbegleitenden Radwegen und Radfahrstreifen, eigenständigen Radwegen (ggf. gemeinsam mit eigenständigen Gehwegen geführt), aus den Straßen selbst, verkehrsberuhigten Bereichen und – sofern freigegeben – aus Fußgängerzonen besteht,

- das Netz des öffentlichen Personennahverkehrs, das aus den Straßen selbst besteht (für Omnibus), aus Fußgängerzonen, aus strassenbündigen Bahnkörpern (für Straßenbahn, kann eingeschränkt auch vom Kraftfahrzeugverkehr einschließlich Omnibus mitgenutzt werden), aus Busspuren, aus besonderen Bahnkörpern (vom Kraftfahrzeugverkehr nicht benutzbar, aber Teil der Fahrbahn) und aus unabhängigen Bahnkörpern (getrennt von Straßenverläufen) besteht und
- das Straßennetz selbst.

Für alle Teilnetze gelten dieselben Grundsätze:

- Ein Netz muss die auftretenden Belastungen bewältigen können (wobei kurzfristige Überlastungen in Kauf genommen werden müssen).
- Ein Netz soll in sich geschlossen und nicht umwegig sein.
- Ein Netz soll kurze Reisezeiten bzw. Fußwegezeiten ermöglichen.
- In einem Netz soll man sich orientieren können.

Diese Grundsätze führen zu folgenden konkreten Forderungen:

- Ein Netz sollte zu möglichst geringen Beförderungs- bzw. Transportzeiten, Investitions- und Betriebskosten führen.
- Ein Netz soll eine hohe Verkehrssicherheit und eine hohe Umweltverträglichkeit bieten.

Grundsätzliche Netzformen sind das Radialnetz, das Ringnetz und das Rasternetz. Radialnetze, bei denen die einzelnen Strecken von außen radial auf einen Punkt (z. B. einen zentralen Busbahnhof), auf einen eng begrenzten innerstädtischen Bereich (City) oder im Schienenpersonenverkehr auf eine zentral liegende Stammbahn, über die alle von außen kommenden Linien geführt werden, zulaufen, sind typisch für den öffentlichen Personennahverkehr.

Orthogonal angelegte Straßennetze (Rasternetze) (vgl. Abschnitt 2) finden sich häufig in Stadtvierteln der Gründerzeit. Sie ermöglichen eine gleichmäßige Flächenerschließung. Allerdings kann diese Netzform wegen ihrer hohen Durchlässigkeit dazu führen, dass gebietsfremder Kraftfahrzeugverkehr solche Gebiete belastet.

Ringnetze, die in aller Regel eine der beiden anderen Netzformen überlappen, treten sowohl im Schienenverkehr als auch im Straßenverkehr auf.

Die einzelnen Teilnetze können nicht sektorale (d. h. unabhängig voneinander), sondern nur integriert geplant werden, d. h. in gegenseitiger Abstimmung und unter Einbeziehung der Verknüpfung der einzelnen Teilnetze bzw. der einzelnen Verkehrssysteme untereinander [21].

Dieser Gedanke wurde in den »Richtlinien für integrierte Netzgestaltung« (RIN, 2008 [22]) aufgegriffen und weitergeführt. Die RIN behandeln

die funktionale Gliederung des Verkehrsnetzes, bewerten die verbindungsbezogene Angebotsqualität und machen Qualitätsvorgaben zur Gestaltung der Verkehrsnetze, der Netzelemente und der Verknüpfungspunkte, wobei der Straßenverkehr, der öffentliche Personennahverkehr, der Radverkehr und der Fußgängerverkehr behandelt werden.

Für Verkehrswege des Kraftfahrzeugverkehrs zeigen die RIN als Grundlage der Straßennetzgestaltung die in Tabelle 6.1 dargestellte Verknüpfungsmatrix.

Tabelle 6.1: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Verkehrswegekategorien für den Kfz-Verkehr
[Quelle: [22]]

Kategorie-gruppe		Auto-bahnen	Land-sträßen	anbaufreie Haupt-verkehrs-sträßen	ausgebaute Haupt-verkehrs-sträßen	Erschlie-ßungs-sträßen
		AS	LS	VS	HS	ES
Verbindungs-funktionsstufe	0	AS 0		–	–	–
	I	AS I	LS I		–	–
	II	AS II	LS II	VS II		–
	III	–	LS III	VS III	HS III	
	IV	–	LS IV	–	HS IV	ES IV
	V	–	LS V	–	–	ES V
AS I	vorkommend, Bezeichnung der Kategorie					
	problematisch aufgrund von Konflikten aus Funktionsüberlagerungen					
–	nicht vorkommend oder nicht vertretbar					

In dieser Matrix beschreibt die Verbindungsfunktionsstufe die Bedeutung einer Verbindung anhand der Zentralität der durch sie verbundenen zentralen Orte (Metropolregion MR, Oberzentrum OZ, Mittelzentrum MZ, Grundzentrum GZ, Gemeinde/Gemeindeteil G, Grundstück Grst) oder der durch sie verbundenen innergemeindlichen Zentren. Je höher die Zentralität der verbundenen Orte oder innergemeindlichen Zentren, desto größer ist die Verbindungsfunktionsstufe (0–V) (Abb. 6.1). Den Verbindungsfunktionsstufen sind Kategoriengruppen von Straßen zugeordnet, die in ihrem Ausbaustandard und Netzzusammenhang davon abhängen, zu welcher Verbindungsfunktionsstufe sie gehören. Dabei sind Autobahnen (AS) und Landstraßen (LS) Außerortsstraßen, die übrigen in Tabelle 6.1 aufgeführten Straßenkategorien VS, HS und ES Innerortsstraßen, die entweder eine Verbindungsfunction (eine Verbindung

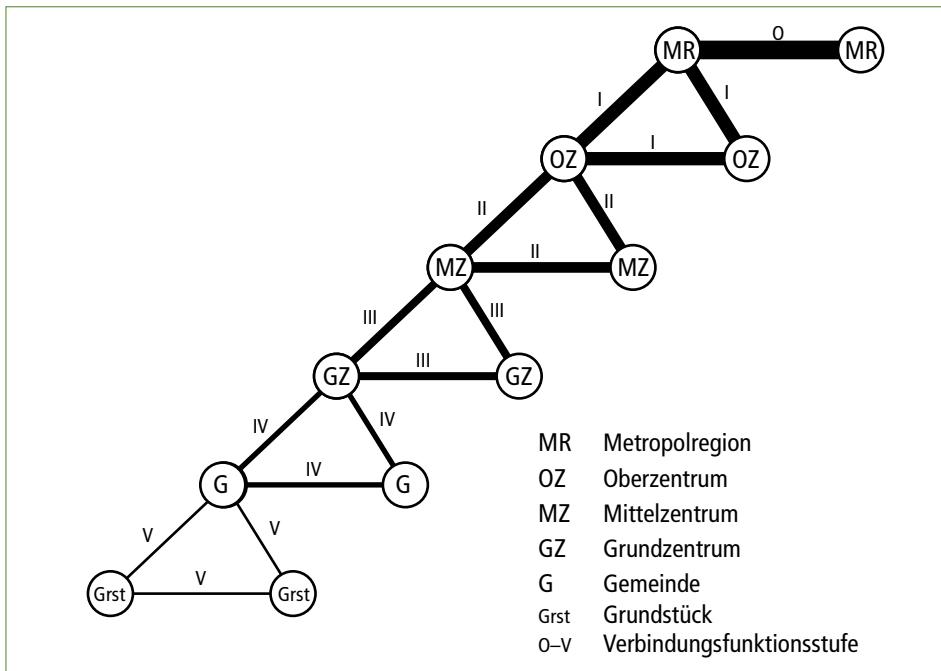


Abb. 6.1: Verbindungsfunktionsstufen im Straßennetz [Quelle: in Anlehnung an RIN [22]]

zwischen zwei zentralen Orten oder zwischen zwei Stadtteilen) oder eine Erschließungsfunktion (Erschließung von Ortsteilen bzw. einzelnen Grundstücken) aufweisen. So dient z. B. eine Straße der Kategorie ES V der kleinräumigen Erschließung von Grundstücken.

Die einzelnen Elemente eines Straßennetzes sollen aufgrund ihrer Gestaltung bestimmte Verkehrsqualitäten erreichen.

Tabelle 6.2 gibt die angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten auf den einzelnen Elementen des Straßennetzes an, wodurch eine bestimmte Ausbauform grundsätzlich definiert wird. Eine entsprechende Kategorisierung nehmen die RIN auch für den öffentlichen Verkehr vor. In Anlehnung an die Verbindungsfunktionsstufen im Straßennetz (Abb. 6.1) werden in Abb. 6.2 Angebotsstufen für den öffentlichen Personennahverkehr dargestellt. Für dieses Bild wurde ein ländlicher Raum (Einwohnerdichte < 150 Einwohner/km²) zugrunde gelegt, der nur mit Bussen bedient wird (Ausnahme ist die Relation MZ-OZ). Die Untergliederung in zentrale Orte unterscheidet sich von der in Abb. 6.1, weil in Abb. 6.2 die zentralen Orte gemäß der hessischen regionalen Raumordnungspläne übernommen wurden. In Tabelle 6.3 treten die Kategoriengruppen FB (Fernverkehrsbahn), NB (Nahverkehrsbahn einschließlich S-Bahn, U-Bahn und Stadtbahn außerhalb bebauter Gebiete), UB (Bahn auf unabhängigem Bahnkörper), SB (Stadtbahn und Straßenbahn auf besonderem

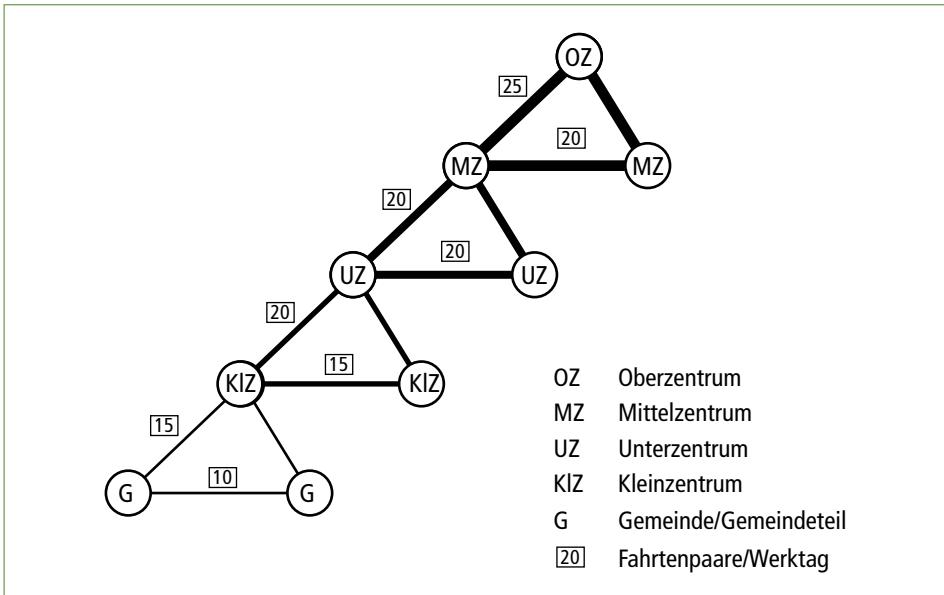


Abb. 6.2: Angebotsstufen im ÖPNV-Netz für den ländlichen Raum [Quelle: in Anlehnung an [23]]

Bahnkörper) und TB (Stadtbahn und Straßenbahn auf strassenbündigem Bahnkörper und Buslinien) auf, wobei UB, SB und TB innerhalb von bebauten Gebieten liegen. Außerdem gibt es noch die Kategoriengruppe RB (Regionalbus außerhalb bebauter Gebiete). Tabelle 6.4 gibt die angestrebten Beförderungsgeschwindigkeiten und damit Ausbaustandards auf den einzelnen Elementen des ÖV-Netzes an.

Für den Radverkehr sind die entsprechenden Angaben in Tabelle 6.5 und Tabelle 6.6 zusammengefasst (dabei umfasst die Kategoriengruppe AR Verkehrswege für den Radverkehr außerhalb, die Kategoriengruppe IR Verkehrswege innerhalb bebauter Gebiete).

Verkehrswege für den Fußgängerverkehr werden nach Außerortswegen (Kategoriengruppe AF) und Innerortswegen (Kategoriengruppe IF) unterschieden. Bei den Innerortswegen handelt es sich zumeist um nah- und kleinräumige Verbindungen, die barriere- und umwegeffrei zu gestalten sind.

Tabelle 6.2: Kategorien der Verkehrswege für den Kfz-Verkehr und angestrebte mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten [Quelle: [22]]

Kategoriengruppe		Kategorie		Standard-fernungsbereich [km]	angestrebte Pkw-Fahrgeschwindigkeiten [km/h]
AS	Autobahnen	AS 0/I	Fernautobahn	40–500	100–120
		AS II	Überregional-autobahn, Stadtautobahn	10–70	70–90
LS	Landstraße	LS I	Fernstraße	40–160	80–90
		LS II	Überregional-strasse	10–70	70–80
		LS III	Regionalstraße	5–35	60–70
		LS IV	Nahbereichs-strasse	bis 15	50–60
		LS V	Anbindungs-strasse	–	keine
VS	anbaufreie Hauptverkehrsstraßen	VS II	anbaufreie Hauptverkehrsstrasse	–	40–60
		VS III	anbaufreie Hauptverkehrsstrasse	–	30–50
HS	angebaute Hauptverkehrsstraßen	HS III	Ortsdurchfahrt, innergemeindliche Hauptverkehrsstraße	–	20–30
		HS IV	Ortsdurchfahrt, innergemeindliche Hauptverkehrsstraße	–	15–25
ES	Erschließungsstraßen	ES IV	Sammelstraße	–	keine
		ES V	Anliegerstraße	–	keine

Tabelle 6.3: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Verkehrswegekategorien für den öffentlichen Personenverkehr [Quelle: [22]]

Kategoriengruppe		Fernverkehr	Nahverkehr			
			unabhängiger Fahrweg		besonderer Fahrweg	straßenbündiger Fahrweg
			außerhalb bebauter Gebiete	innerhalb bebauter Gebiete (einschließlich Übergangsbereiche)		außerhalb bebauter Gebiete
Verbindungs-funktionsstufe	FB	NB	UB	SB	TB	RB
kontinental	0	FB 0				
großräumig	I	FB I	NB I			
überregional	II		NB II	UB II	SB II	TB II
regional	III		NB III	UB III	SB III	TB III
nah-/kleinräumig	IV/V				SB IV	TB IV
						RB IV

Tabelle 6.4: Kategorien für den öffentlichen Personenverkehr und angestrebte Beförderungsgeschwindigkeiten [Quelle: [22]]

Kategoriengruppe		Kategorie		Standardentfernungsbereich [km]	angestrebte Beförderungsgeschwindigkeiten [km/h]
FB	Fernverkehrsbahn	FB 0	kontinentaler Schienenpersonenfernverkehr	200–500	160–250
		FB I	großräumiger Schienenpersonenfernverkehr	60–300	120–160
NB	Nahverkehrsbahn außerhalb bebauter Gebiete	NB I	großräumiger Schienenpersonenfernverkehr	40–200	50–110
		NB II	überregionaler Schienenpersonenfernverkehr	10–70	40–100
		NB III	regionaler Schienenpersonenfernverkehr	5–35	35–100

Tabelle 6.4 Fortsetzung

Kategoriengruppe		Kategorie		Standardentfernungsbereich [km]	angestrebte Beförderungsgeschwindigkeiten [km/h]
UB	Unabhängige Bahn	UB II	SPNV,U-Bahn u. Stadtbahn als Hauptverbindung	–	30–45
		UB III	SPNV,U-Bahn u. Stadtbahn als Nebenverbindung	–	25–35
SB	Stadtbahn	SB II	SPNV,U-Bahn u. Stadtbahn als Hauptverbindung	–	20–30
		SB III	SPNV,U-Bahn u. Stadtbahn als Nebenverbindung	–	15–25
		SB IV	Stadt- und Straßenbahn zur Erschließung	–	10–20
TB	Tram/Bus	TB II	Stadtbahn und Bus als Hauptverbindung	–	10–25
		TB III	Stadtbahn und Bus als Nebenverbindung	–	5–20
		TB IV	Stadtbahn und Bus zur Erschließung	–	keine
RB	Regionalbus außerhalb bebauter Gebiete	RB II	überregionaler Busverkehr	10–70	30–50
		RB III	regionaler Busverkehr	5–35	25–40
		RB IV	nahräumiger Busverkehr	bis 20	20–35

Tabelle 6.5: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung von Verkehrswegekategorien für den Radverkehr
[Quelle: [22]]

Kategoriegruppe Verbindungs-funktionsstufe		außerhalb bebauter Gebiete		innerhalb bebauter Gebiete	
		AR	IR	IR II	IR III
überregional	II	AR II	IR	IR II	
regional	III	AR III		IR III	
nahräumig	IV	AR IV		IR IV	
kleinräumig	V	–		IR V	

Tabelle 6.6: Kategorien von Verkehrs wegen für den Radverkehr und angestrebte Fahrgeschwindigkeiten für den Alltagsradverkehr [Quelle: [22]]

Kategoriengruppe		Kategorie		Standardentfernungsbereich [km]	angestrebte Fahrgeschwindigkeiten [km/h]
AR	außerhalb bebauter Gebiete	AR II	überregionale Radverkehrsverbindung	10 – 70	20 – 30
		AR III	regionale Radverkehrsverbindung	5 – 35	20 – 30
		AR IV	nahräumige Radverkehrsverbindung	bis 15	20 – 30
IR	innerhalb bebauter Gebiete	IR II	innergemeindliche Rad-schnellverbindung	–	15 – 25
		IR III	innergemeindliche Rad-hauptverbindung	–	15 – 20
		IR IV	innergemeindliche Rad-verkehrsverbindung	–	15 – 20
		IR V	innergemeindliche Rad-verkehrsverbindung	–	–

6.3 Strecken und Knotenpunkte

Städtische Straßen sind sowohl Verkehrsraum, um für den Fußgängerverkehr, den Radverkehr, den ÖPNV und den Kfz-Verkehr Erschließungs- und Verbindungsfunctionen zu übernehmen als auch Erlebnis- und Freiraum, der mit der Bebauung in direkter Beziehung steht. Deshalb soll in diesen Fällen die Trennwirkung von Straßen möglichst gering gehalten werden, was durch eine entsprechende bauliche Gestaltung mit damit einhergehender niedriger Verkehrsbelastung erreicht werden kann.

Für die städtischen Straßenkategoriengruppen VS, HS und ES werden in den »Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen« (RASt 06) [24] Hinweise zur Planung und zum Entwurf gegeben. Eine Grundlage dafür sind die in Abb. 6.3 dargestellten Beispiele für den Raumbedarf beim Begegnen, Nebeneinander- und Vorbeifahren verschiedener Fahrzeugkombinationen (Lkw, Pkw, Straßenbahn, Fahrrad). Zusätzlich sind die Grundmaße des Fußgängerverkehrs in diese Abbildung eingefügt worden. Aus diesen Angaben können Straßenquerschnittsmaße abgeleitet werden, wie es für eine Sammelstraße (Erschließungsstraße des Typs ES IV) in Abb. 6.4 beispielhaft gezeigt wird. Ein solcher Straßentyp mit überwiegender Wohnnutzung und einer typischen Querschnittsbelastung zwischen 400 und 800 Kfz/Spitzenstunde weist Fußgängerlängs- und querverkehr sowie Radverkehr auf, ggf. ist Linienbusverkehr vorhanden. Für unterschiedliche verfügbare Straßenraumbreiten und die beiden Fälle »Linienbusverkehr nicht vorhanden« und »Linienbusverkehr vorhanden« werden in Abb. 6.4 Querschnitte empfohlen, die die Nutzungsansprüche des Fußgänger-, Rad- und Kfz-Verkehrs sowie des ÖPNV soweit wie möglich erfüllen.

Zur Planung und zum Entwurf von Strecken und Knotenpunkten von Außerortsstraßen (Landstraßen und Autobahnen) wird auf die »Richtlinien für die Anlage von Landstraßen« [25] und auf die »Richtlinien für die Anlage von Autobahnen« [26] hingewiesen. Als Beispiel für die Planung einer Autobahn im städtischen Bereich (Stadtautobahn) zeigen Abb. 6.5 und Abb. 6.6 die hierfür vorgegebenen Querschnitte und deren Einsatzbereiche in Abhängigkeit von dem dort zu erwartenden durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV). Der Abb. 6.5 liegt die Entwurfsklasse EKA 3 zugrunde. Dies betrifft Autobahnen oder autobahnähnliche Straßen in weitgehend bebautem Gebiet, die eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h, in Ausnahmefällen von 100 km/h aufweisen.

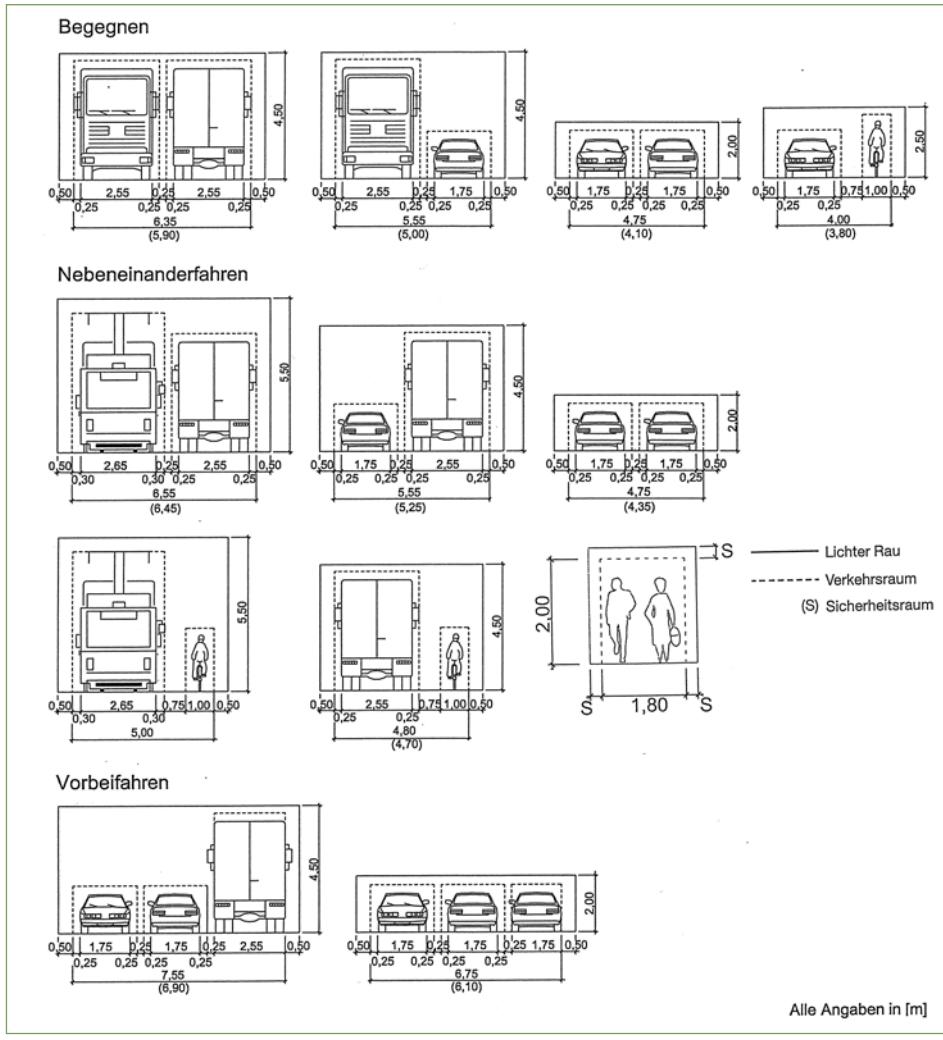


Abb. 6.3: Beispiele für Verkehrsräume und lichte Räume beim Begegnen, Nebeneinander- und Vorbeifahren ausgewählter Kombinationen von Bemessungsfahrzeugen (Klammermaße: mit eingeschränkten Bewegungsspielräumen) [Quelle: [24]]

Verkehrsnetze bestehen nicht nur aus Strecken, sondern auch aus Knotenpunkten. Als Knotenpunktarten kommen Einmündungen oder Kreuzungen mit

- Rechts-vor-Links-Regelung,
- mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen,
- mit Lichtsignalanlage und
- mit teilplanfreier und planfreier Verkehrsführung

in Betracht (letztere kaum im städtischen Bereich). Außerdem können Einmündungen oder Kreuzungen als Kreisverkehre gestaltet werden.

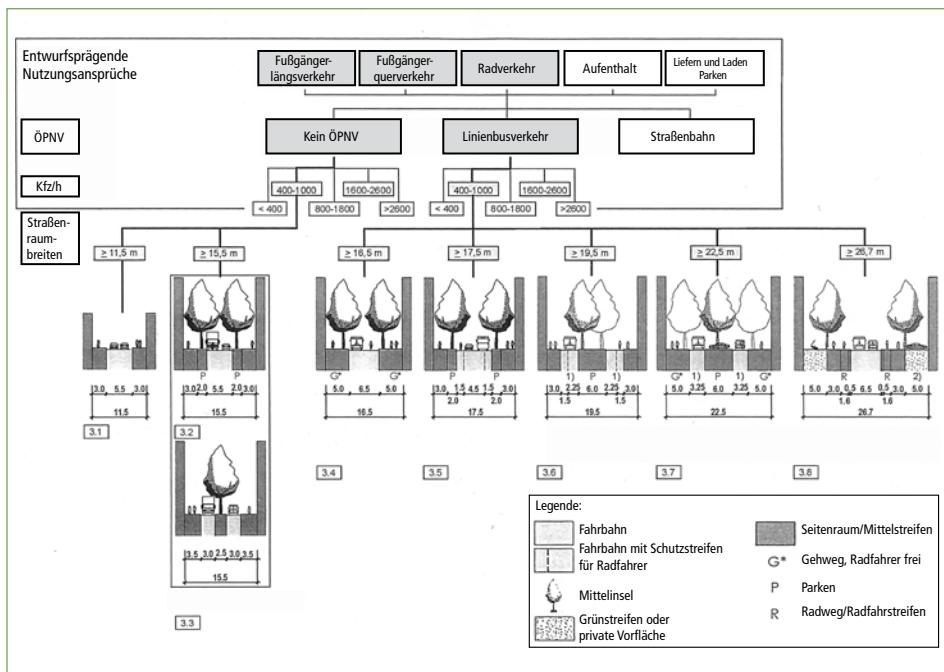


Abb. 6.4: Empfohlene Querschnitte für die typische Entwurfssituation »Sammelstraße« [Quelle: [24]]

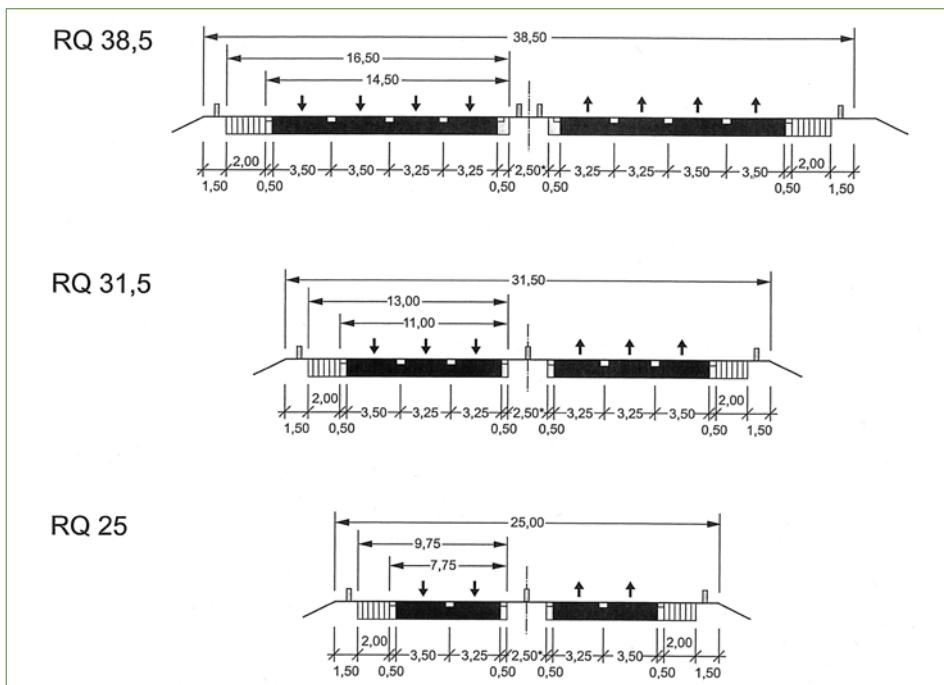


Abb. 6.5: Regelquerschnitte für Autobahnen der EKA 3 (Abmessung in [m]) [Quelle: [26]]

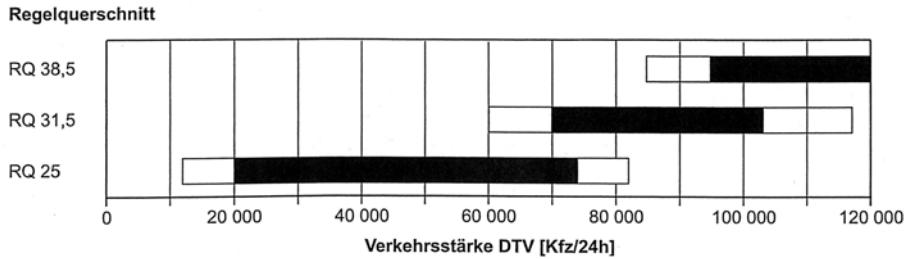


Abb. 6.6: Einsatzbereiche der Regelquerschnitte für Autobahnen der EKA 3 [Quelle: [26]]

Die Auswahl einer geeigneten Knotenpunktart richtet sich nach der Netzfunktion der zu verknüpfenden Straßen, nach ihren Verkehrsstärken, dem Unfallgeschehen sowie der städtebaulichen und straßenräumlichen Situation [24]. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, welche Verkehrsarten (Kfz-Verkehr, ÖPNV, Rad- und Fußgängerverkehr) am Knoten abzuwickeln sind.

- Grundsätzlich ist beim Knotenpunktentwurf auf
- Erkennbarkeit (von allen Zufahrten her),
 - Übersichtlichkeit (der gesamten Verkehrsanlage),
 - Begreifbarkeit (Übereinstimmung von baulicher Gestalt und Verkehrsregelung) und
 - Befahrbarkeit (der den einzelnen Verkehrsarten zugewiesenen Verkehrsflächen)
- zu achten.

Zur Einhaltung der Befahrbarkeit beim Entwurf eines Knotenpunktes kann man sich so genannter Schleppkurven bedienen, womit berücksichtigt wird, dass sich beim Befahren einer Kurve die vom Fahrzeug überstrichene Fläche aufweitet. Durch die Anwendung von Schleppkurven beim Entwurf von Knotenpunkten kann z. B. das Überfahren des Gehweges durch einen abbiegenden Lkw vermieden werden. Abb. 6.7 zeigt die Schleppkurve (Fahrweise 1: Lenkradeinschlag während der Kurvenfahrt) eines dreiachsigem Lkw für verschiedene Abbiegewinkel.

Einzelheiten zum Entwurf von Knotenpunkten in städtischen Straßennetzen sind in den »Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen« [24], für Außerortsstraßen in den »Richtlinien für die Anlage von Landstraßen« [25] und in den »Richtlinien für die Anlage von Autobahnen« [26] enthalten.

- Die spezielle Knotenpunktform »Kreisverkehr«, bei der nach
- Minikreisverkehren (Außendurchmesser zwischen 12 m und 24 m, überfahrbare Kreisinsel),
 - kleinen Kreisverkehren (Außendurchmesser zwischen 26 m und 35 m),

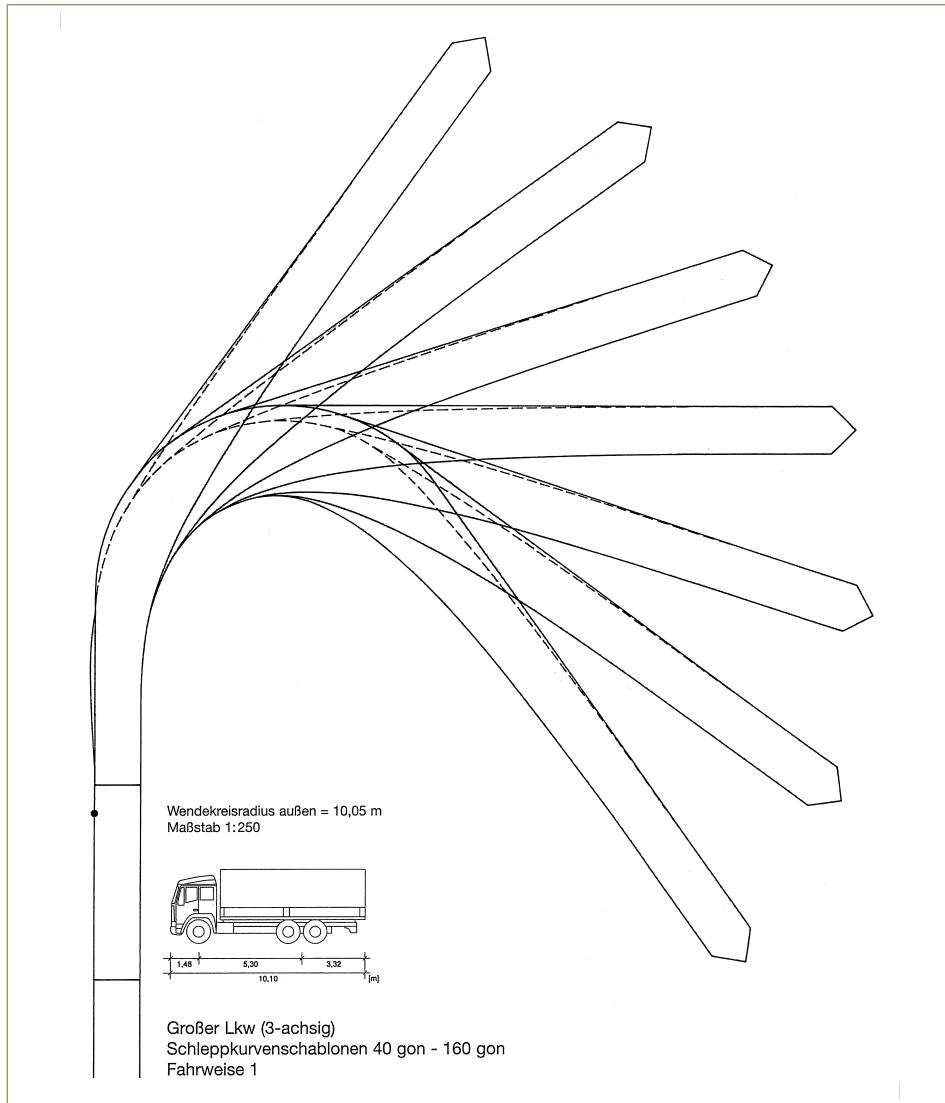


Abb. 6.7: Schleppkurve eines Lkw [Quelle: »Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit in Verkehrsflächen«, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2001]

- kompakten, zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren (Außendurchmesser zwischen 40 m und 60 m) und
- großen, zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren (Außendurchmesser zwischen 60 m und 80 m)

unterschieden wird, ist insbesondere wegen der nicht auftretenden Linksabbieger in der Regel sicherer als eine Kreuzung. Ein Kreisverkehr ist besonders dann

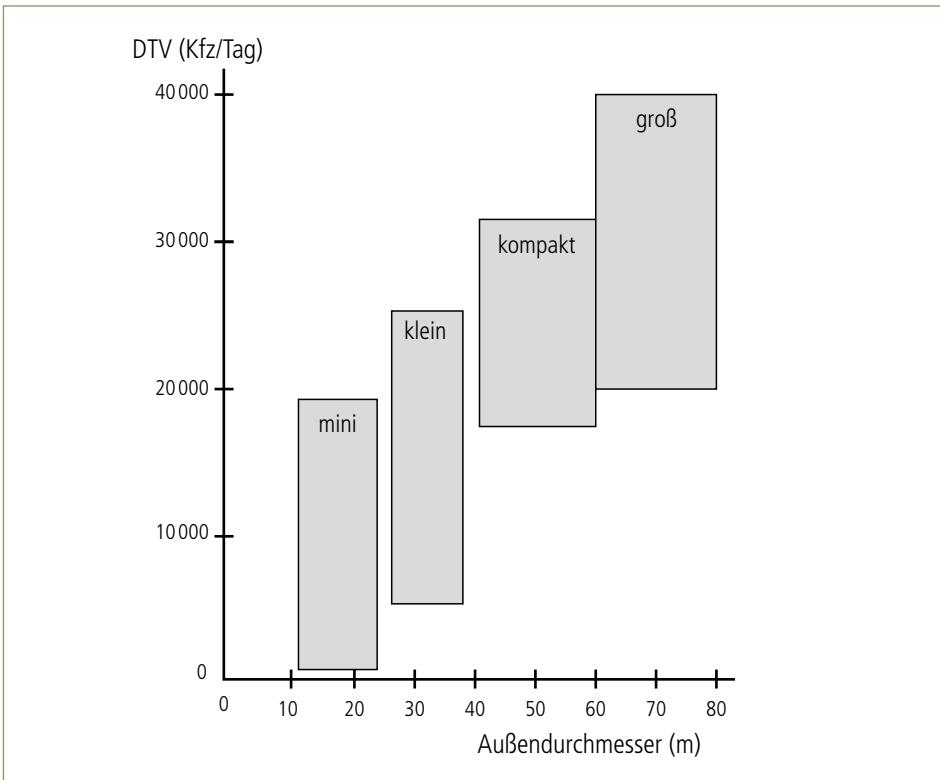


Abb. 6.8: Orientierungswerte für die Kapazität von innerörtlichen Kreisverkehren [Quelle: [27]]

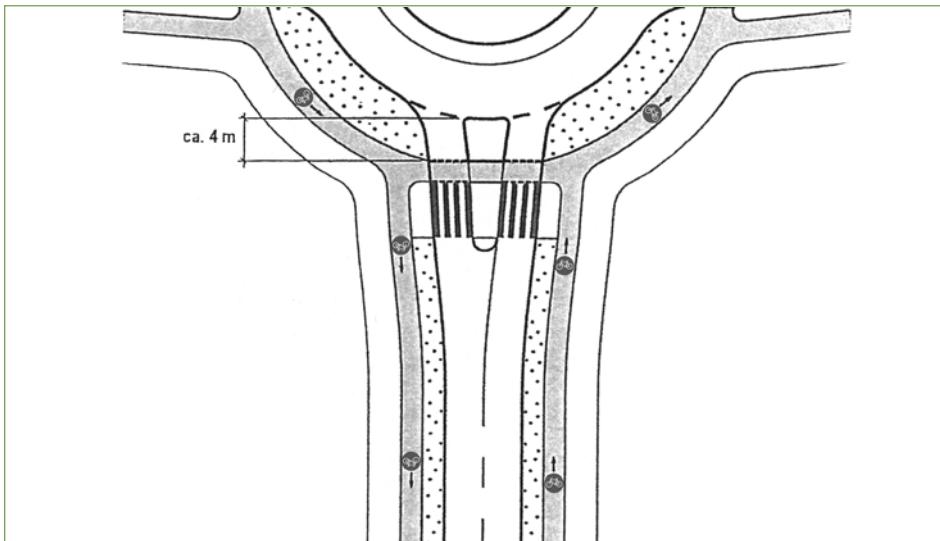


Abb. 6.9: Beispiel der Radverkehrsführung in einem Knotenpunktarm mit strassenbegleitenden Radwegen innerhalb bebauter Gebiete [Quelle: [24]]

vorteilhaft einzusetzen, wenn die einzelnen Zufahrten etwa gleich stark belastet sind. Dann kann die Kapazität eines Kreisverkehrs die oberen Wertebereiche der in Abb. 6.8 dargestellten Kreisverkehrstypen (Kreisverkehre innerhalb bebauter Gebiete) erreichen. Die auf der Ordinate angegebene Verkehrsstärke ist dabei die Summe der Verkehrsbelastungen aller Kreiszufahrten [27, 28]. Auf die Fuß- und Radwegeführung an Kreisverkehren ist besonderer Wert zu legen. Ein Beispiel hierzu zeigt Abb. 6.9.

6.4 Ruhender Verkehr

Die Planung des ruhenden Verkehrs in einer Stadt (insbesondere in inneren Stadtbereichen) ist einer der wichtigsten Bausteine der städtischen Verkehrsplanung. Sie ist auch eine der Stellschrauben zur Beeinflussung des Pkw-Verkehrsaufkommens in Städten, denn es gilt: Jede neue Anlage für den ruhenden Verkehr (Parkhaus, Tiefgarage, ebenerdige Parkplätze) führt zu zusätzlichem Pkw-Verkehr. Es muss also eine Art ‚Gleichgewicht‘ zwischen den Bedürfnissen des Pkw-Verkehrs einerseits und den Ansprüchen an eine Stadt, in der der Kraftfahrzeugverkehr nicht dominiert, andererseits gefunden werden. Deshalb sollte angestrebt werden, dass möglichst viele Wege der Bevölkerung mit öffentlichen Verkehrsmitteln, mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegt werden, wozu diese Systeme entsprechend auszustalten sind. Diese Forderung gilt allerdings uneingeschränkt nur für Großstädte. In Klein- und Mittelstädten ist der Parkdruck in der Regel geringer (und auf kleinere Bereiche beschränkt) und der ÖPNV weist dort eine weniger gute Angebotsqualität auf als in Großstädten [29].

Für die Erarbeitung eines Konzeptes für den ruhenden Verkehr in einem Stadtbereich ist eine ausführliche Analyse unabdingbar. Dazu zählt die Aufnahme des vorhandenen Parkraumangebotes einschließlich der jeweiligen Parkregelung. Darüber hinaus ist es erforderlich, für die in dem Untersuchungsgebiet liegenden Anlagen für den ruhenden Verkehr wichtige Kenngrößen, wie die mittlere Parkdauer und die Umschlagziffer, zu ermitteln. Für eine einzelne Parkierungsanlage wird dabei wie folgt vorgegangen (Abb. 6.10):

1. Erfassung der Einfahrt-Summenlinie $E(t)$ (über einen Betriebstag).
2. Erfassung der Ausfahrt-Summenlinie $A(t)$ (über einen Betriebstag).

Beobachtet man über ein Zeitintervall T (einen Betriebstag) und erhebt die Zählwerte $E(t)$ und $A(t)$ jeweils für die Dauer t eines Zählintervalls i (z. B. $t_i = 60$ Minuten), dann werden innerhalb von T insgesamt $n = T/t_i$ Zählintervalle erfasst.

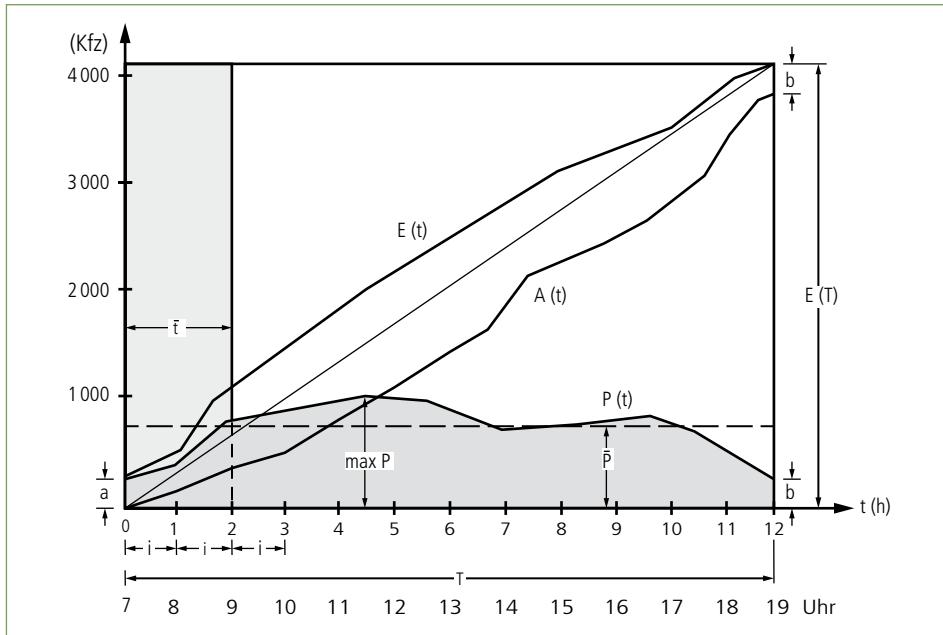


Abb. 6.10: Erfassung der Belegung einer Parkierungsanlage

[Quelle: Umdruck des Instituts für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, 1975]

a Anfangsbelegung; A(t) Ausfahrt-Summenlinie; b Endbelegung; E(t) Einfahrt-Summenlinie;

E(T) Endwert der Einfahrt-Summenlinie; maxP maximal gleichzeitig anwesende Fahrzeuge;

n = T/t_i Anzahl der Zählintervalle; P-bar mittlere Anzahl der anwesenden Kfz;

P(t) = E(t) - A(t) Ganglinie der anwesenden Fahrzeuge; t-bar mittlere Parkdauer [h/Kfz];

T Beobachtungszeitraum [min]; t_i Dauer eines Zählintervalls [min]; t = 0 Beobachtungsbeginn;

t = T Beobachtungsende

Daraus errechnet sich

3. die Ganglinie der gleichzeitig anwesenden Kraftfahrzeuge zu
 $P(t) = E(t) - A(t)$
4. der Ganglinienwert der gleichzeitig anwesenden Kraftfahrzeuge am Ende des i-ten Zählintervalls zu
 $P(t_i) = E(t_i) - A(t_i)$
5. der Mittelwert der gleichzeitig anwesenden Kraftfahrzeuge über das Beobachtungsintervall T zu

$$\bar{P} = \frac{\sum_{n=0}^{T/t_i} P(t_i)}{T/i+1}$$

(+1 deshalb, weil der Anfangswert bei $i = 0$ in der Summe des Zählers enthalten ist).

Aus der Gleichheit der in Abb. 6.10 eingezeichneten (grau unterlegten) Flächen ergibt sich unter der Randbedingung $a, b \ll \bar{P}$

$$E(T) \cdot \bar{t} \approx \bar{P} \cdot T \text{ und hieraus}$$

6. die mittlere Parkdauer in der Parkierungsanlage zu

$$\bar{t} \approx \frac{\bar{P} \cdot T}{E(T)}$$

Über die Anzahl der in der Parkierungsanlage vorhandenen Stellplätze M errechnet sich

7. die Umschlagziffer zu

$$N = \frac{E(T)}{M}.$$

Die Umschlagziffer gibt an, wie häufig ein Stellplatz innerhalb des Zeitintervalls T von verschiedenen Kraftfahrzeugen belegt wurde, d.h. wie viele Parkvorgänge im Mittel auf jedem Stellplatz stattgefunden haben. Sie hängt im Wesentlichen vom Parkzweck ab (weshalb sich z.B. die für ein Parkhaus errechnete Umschlagziffer aus den verschiedenen, dort auftretenden Parkzwecken zusammensetzt). Mithilfe der Umschlagziffer lässt sich z.B. ermitteln, welche Auswirkung die Umnutzung eines Gebäudekomplexes auf das durch die Gebäudenutzung erzeugte Verkehrsaufkommen hat. Dies wird an einem Beispiel erläutert:

Ein Gebäudekomplex mit überwiegender Büronutzung (Haupt-Nachfragegruppe: Beschäftigte) und angeschlossener Tiefgarage mit 400 Stellplätzen wird umgebaut. Nur noch die Hälfte der Bruttogeschossfläche bleibt für die Büronutzung, die andere Hälfte wird ein Einkaufszentrum (Haupt-Nachfragegruppe: Kunden). Die bisherige Umschlagziffer betrug 2 (1/Tag), die zu erwartende Umschlagziffer wird mit 3,5 (1/Tag) geschätzt. Im Vorher-Zustand betrug das auf die Tiefgarage zufließende Verkehrsaufkommen $400 \cdot 2 = 800$ Fahrten pro Tag, im Nachher-Zustand wird es $400 \cdot 3,5 = 1400$ Fahrten/Tag betragen. Eine hohe Umschlagziffer führt also zu deutlich mehr Verkehr.

In vielen Städten Deutschlands wird die nutzungsabhängige Zahl der im Zuge eines Gebäudes zu errichtenden Stellplätze über eine Stellplatzsatzung festgelegt (in mehreren Städten im Übrigen nicht nur die Zahl der Pkw-Stellplätze, sondern auch die Zahl der Fahrradabstellplätze). Diese Richtzahlen sind jedoch – zumindest bei großen Bauvorhaben – durch spezielle Untersuchungen zum

Parkraumbedarf des Bauvorhabens zu hinterfragen, da sie auf örtliche Besonderheiten nicht in ausreichender Differenzierung eingehen. Deshalb werden in den »Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs« [30] zwei Verfahren zur Prognose des Parkraumbedarfs in einem Untersuchungsgebiet beschrieben. Dieser Bedarf kann im Übrigen auch dem in einem Gebiet vorhandenen Stellplatzangebot gegenübergestellt werden. Damit lassen sich Parkraumdefizite oder Überschüsse im Untersuchungsgebiet feststellen.

Das »Integrierte Verfahren« wird im Folgenden beschrieben. Es ist ein Über schlagsverfahren, das drei verschiedene Nachfragegruppen berücksichtigt: Einwohner, Beschäftigte und Kunden. Letztere werden über die Dimension m^2 Verkaufsfläche definiert. Für die Prognose des Parkraumbedarfs sind deshalb zunächst die Einwohner, die Beschäftigten und die für Kunden vorgesehenen Verkaufsflächen für den Prognosezeitpunkt abzuschätzen.

Für jede der drei Nachfragegruppen wird dann das zu erwartende Tagesziel verkehrsaufkommen bestimmt. Sofern hierzu keine spezifischen Werte vorliegen, können sie der Tabelle 6.7 entnommen werden¹².

¹² Liegen aus einem Untersuchungsgebiet tatsächliche Werte des spezifischen Tageszielverkehrsaufkommens (Kfz-Fahrten) vor, spiegeln diese Werte auch die Verkehrsaufteilung der Nachfragegruppen in diesem Untersuchungsgebiet auf die verschiedenen Verkehrsmittel wider.

Tabelle 6.7: Spezifisches Tageszielverkehrsaufkommen nach Gebietstypen [Quelle: [30]]

Gebietstyp	Nachfragegruppe	Spezifisches Tageszielverkehrsaufkommen
Stadt kerngebiet in Oberzentren mit weniger als 400 000 Einwohnern	Einwohner	0,53 Kfz-Fahrten / (Einwohner · d)
	Beschäftigte	0,59 Kfz-Fahrten / (Beschäftigter · d)
	Kunden	0,16 Kfz-Fahrten / (m ² Verkaufsfläche · d)
Stadt kerngebiet in Mittelzentren	Einwohner	0,52 Kfz-Fahrten / (Einwohner · d)
	Beschäftigte	0,70 Kfz-Fahrten / (Beschäftigter · d)
	Kunden	0,21 Kfz-Fahrten / (m ² Verkaufsfläche · d)
Stadt kernnahes Altbaugebiet	Einwohner	0,49 Kfz-Fahrten / (Einwohner · d)
	Beschäftigte	0,64 Kfz-Fahrten / (Beschäftigter · d)
	Kunden	0,19 Kfz-Fahrten / (m ² Verkaufsfläche · d)

Die angegebenen Werte für das spezifische Tageszielverkehrsaufkommen können nur für Grobschätzungen verwendet werden.

Für die Gebietstypen

- Stadt kerngebiete in Unterzentren im Ballungsrandbereich,
- Stadt kerngebiete in Oberzentren mit mehr als 400 000 Einwohnern,
- Reines Wohngebiet,
- Allgemeines Wohngebiet,
- Gewerbe- und Industriegebiet,
- Dörfliches Gebiet und
- Erholungsgebiet

liegen derzeit keine aktuellen Werte vor.

Mithilfe der in Tabelle 6.8 und in Abb. 6.11 zusammengestellten spezifischen Belegungsganglinien, die für Stadt kerngebiete in Oberzentren mit weniger als 400 000 Einwohnern gelten (in den »Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs« [30] sind entsprechende Bewegungsganglinien für weitere Gebietstypen enthalten), lässt sich im letzten Schritt die zukünftige Parkraumbelegung zunächst für jede Nachfragegruppe und dann aufsummiert über alle Nachfragegruppen ermitteln. Der Anteil der Kurzparker an der Parkraumbelegung ist dabei berücksichtigt. An einem Beispiel wird das Verfahren erläutert.

Stadtkernegebiet mit prognostizierten 1 000 Einwohnern und 1 000 Beschäftigten

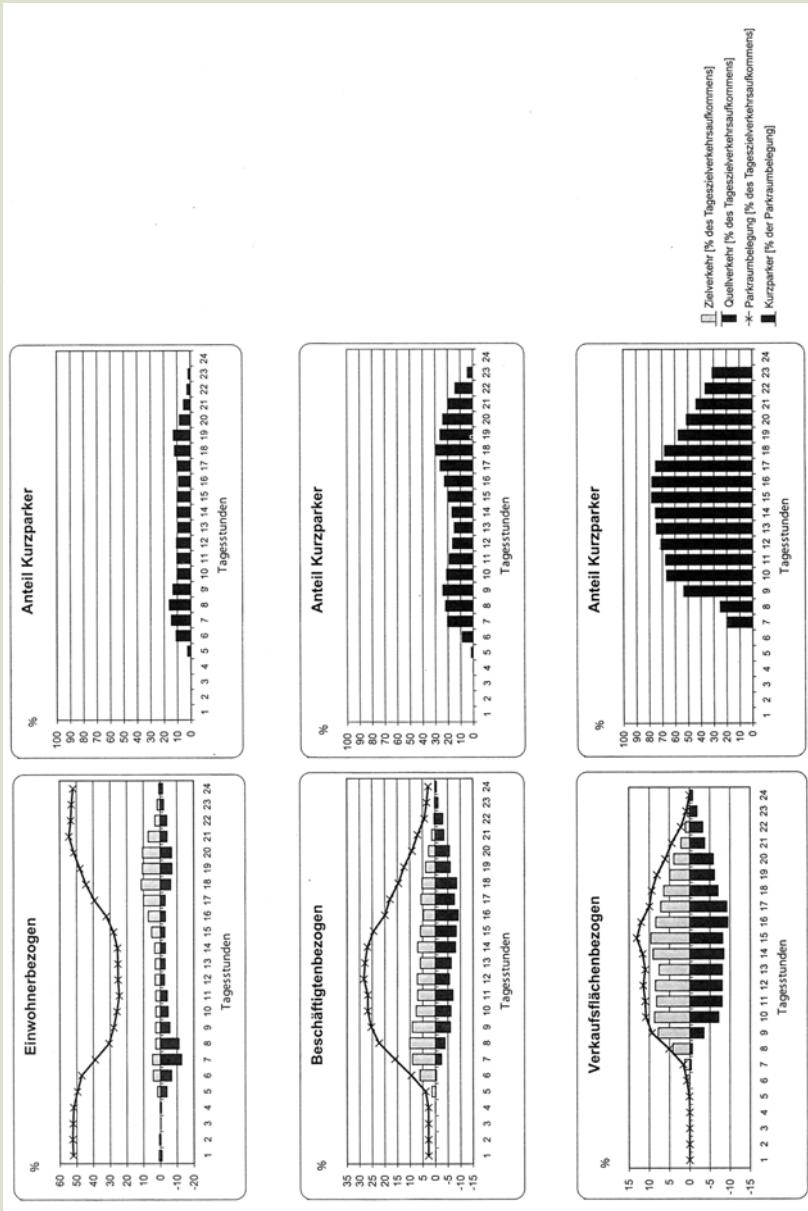


Abb. 6.11: Spezifische Tagesganglinien für Stadtkernegebiete in Oberzentren mit weniger als 400 000 Einwohnern [Quelle: [30]]

Tabelle 6.8: Spezifische Kenngrößen des Parkverhalts für Stadtkernegebiete in Oberzentren mit weniger als 400 000 Einwohnern [Quelle: [30]]

Kenngroße Zeitintervall bis Einwohner	00:00 - 00:00												
	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	
Parkzielverkehr [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0,9	0,7	0	0,2	1,7	4,2	4,6	2,8	2,7	2,8	3,2	3	3,3
Parkquellverkehr [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0,8	0,3	0,2	0,6	3,9	6,7	12,7	11,1	5,6	4,6	4,2	2,5	2,9
Parkraumbelegung [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	52	52	52	50	47	39	31	28	26	25	25	26	28
Anteil Kurzparkar [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0	0	0	0	3	11	15	16	13	10	10	10	10
Beschäftigte													
Parkzielverkehr [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0	0	0	0,1	1,3	6,1	9	10,1	9	7,6	7	7,1	5,9
Parkquellverkehr [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0	0	0	0,2	0,5	2,5	3,8	6	6,2	7	5,6	6,3	8
Parkraumbelegung [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	3	3	3	4	9	16	22	25	27	27	28	28	27
Anteil Kurzparkar [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0	0	0	0	2	9	20	22	24	21	19	16	15
Verkaufsflächen													
Parkzielverkehr [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0	0	0	0	0,1	0,6	1,3	4,2	7,8	8,7	8,2	8,5	7,6
Parkquellverkehr [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0	0	0	0	0	0,4	0,6	3,5	7,2	8	8	8,1	8,4
Parkraumbelegung [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0	0	0	0	0	1	2	5	9	11	11	11	12
Anteil Kurzparkar [% des Tageszielverkehrs aufkommens]	0	0	0	0	0	0	0	20	25	53	67	71	74

Fortsetzung auf S. 86 ➔

Nach Tabelle 6.7 beträgt das spezifische Tagesverkehrsaufkommen der Einwohner 0,53 Kfz-Fahrten pro Einwohner und Tag, das der Beschäftigten 0,59 Kfz-Fahrten pro Beschäftigtem und Tag. Daraus ergeben sich 530 Fahrten pro Tag im Zielverkehr der Einwohner und 590 Fahrten pro Tag im Zielverkehr der Beschäftigten. Über die stundenweisen Angaben der Tabelle 6.8 bzw. der Abb. 6.11 wird die auf die einzelnen Tagesstunden bezogene Anzahl belegter Stellplätze (einschließlich der Kurzparken) errechnet (Tabelle 6.9). Aus Tabelle 6.9 lässt sich dann die Stunde mit der maximalen Gesamtbelegung (Einwohner und Beschäftigte) ablesen. Dieser Wert (377) gibt den voraussichtlichen Stellplatzbedarf in dem betrachteten Untersuchungsgebiet an.

Tabelle 6.9: Werte des Berechnungsbeispiels

Zeitintervall bis Kenngroße \		01:00	00:00	00:00	19:00	18:00	17:00	13:00	08:00	00:00	00:00	...
Einwohner	Parkraumbelegung (%)*	52	47	39	31	25	39	44	48	48	52	
	Parkraumbelegung absolut	276	249	207	164	133	207	233	254	254	276	
	Anteil Kurzparken (%)*	0	11	15	16	10	10	12	13	13	0	
	Kurzparken absolut	0	27	31	26	13	21	28	33	33	0	
	Beschäftigte											
	Parkraumbelegung (%)*	3	9	16	22	28	18	15	12	12	3	
	Parkraumbelegung absolut	18	53	94	130	165	106	89	71	71	18	
	Anteil Kurzparken (%)*	0	9	20	22	15	26	30	26	26	0	
	Kurzparken absolut	0	5	19	29	25	28	27	18	18	0	
	Gesamtsumme	294	334	351	349	336	362	377	376	376	294	

* Siehe Tabelle 6.8

Wie schon angesprochen gehen die Stellplatzsatzungen auf keine örtlichen Besonderheiten ein. Um zumindest die Qualität des ÖPNV-Angebotes in einem Stadtgebiet zu berücksichtigen, werden in einigen Städten Einschränkungen der nach der Satzung erforderlichen Zahl an Stellplätzen, in Abhängigkeit von der Qualität des ÖPNV-Angebotes, vorgeschrieben. Dies bedeutet, dass bei einem sehr guten ÖPNV-Angebot in einem Stadtgebiet deutlich weniger Stellplätze anzulegen sind als nach der Satzung vorgegeben.

Um Parkraum für Bewohner innerstädtischer Gebiete mit keinen oder wenigen Stellplätzen auf den Grundstücken (z. B. in Gründerzeitvierteln) zu schaffen, haben die Städte die Möglichkeit, Anwohnerparkzonen einzurichten, die das Parken im Straßenraum innerhalb definierter Zeiten (z. B. zwischen 18 Uhr und 8 Uhr) nur für Anwohner erlauben. Anwohner können dieses Recht gegen eine Gebühr erwerben.

Auch durch die Höhe der Preise, die für die Nutzung eines Stellplatzes zu bezahlen sind, lässt sich die Nachfrage nach Parkraum in gewisser Weise steuern. Allerdings können die Bundesländer Höchstgrenzen für Parkgebühren im öffentlichen Raum festlegen.

Für den Lieferverkehr sind organisatorische Maßnahmen zu ergreifen (z. B. die Einrichtung von Ladezonen), um das sonst häufig unvermeidbare Parken in zweiter Reihe zu verhindern.

Einen nicht geringen Anteil am gesamten innerstädtischen Verkehr kann der Parksuchverkehr annehmen, also der zum Auffinden eines freien Stellplatzes entstehende Verkehr. Bei hoher Verkehrsbelastung kann dieser Verkehrsanteil durch ein dynamisches Parkleitsystem erheblich reduziert werden, da ein solches System die aktuelle Belegung der einzelnen Parkierungsanlagen anzeigt und damit auch zu einer gleichmäßigeren Auslastung aller an das System angegeschlossenen Anlagen führt.

Zum Entwurf von Parkierungsanlagen (z. B. Abmessung der Stellplätze, Bauarten von Parkhäusern bzw. Tiefgaragen) wird auf die »Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen« [24] und die »Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs« [30] verwiesen.

6.5 Radverkehr

Das Radverkehrsnetz im Innerortsbereich besteht aus den Elementen [31]:

- Schutzstreifen (Teil der Fahrbahn, der von Kraftfahrzeugen im Bedarfsfall befahren werden darf; nur bei einem Schwerverkehrsaufkommen von $\leq 1\,000$ Kfz/Tag; Regelbreite: 1,50 m),
- Radfahrstreifen (in der Fahrbahn abgetrennter Sonderfahrstreifen; Regelbreite: 1,85 m),

- Einrichtungsradweg (Regelbreite: 2,00 m),
- beidseitiger Zweirichtungsradweg (Regelbreite: 2,50 m),
- einseitiger Zweirichtungsradweg (Regelbreite: 3,00 m),
- gemeinsamer Geh- und Radweg (Regelbreite: $\geq 2,50$ m),
- Fahrradstraße (mit Zeichen 244.1 StVO ausgeschilderte Fahrbahn, auf der sonstiger Fahrzeugverkehr nur mit entsprechenden Zusatzzeichen erlaubt ist),
- Fahrbahn (im Mischverkehr mit Kraftfahrzeugen bis 400 Kfz/Spitzenstunde im Querschnitt, bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, bis 700 Kfz/Spitzenstunde im Querschnitt bei $V_{zul} = 30$ km/h).

Radfahrstreifen haben gegenüber den von der Fahrbahn abgetrennten Radwegen folgende Vorteile:

- bessere Sichtbarkeit zwischen Radfahrer und Kfz-Fahrer, besonders an Knotenpunkten,
- weniger Gefahren an Grundstücksausfahrten,
- keine Beeinträchtigung des Fußgängerverkehrs und
- geringere Baukosten.

Nachteilig wirkt sich dagegen die möglicherweise starke Beeinträchtigung durch auf dem Radfahrstreifen verbotenerweise haltende oder parkende Kraftfahrzeuge aus.

Bei Führung des Radverkehrs auf Radwegen soll wegen der an Grundstücksausfahrten auftretenden Gefährdungen der Radfahrer durch ausfahrende Kraftfahrzeuge der Radweg gegebenenfalls auffällig markiert werden.

Besondere Beachtung erfordert die Führung des Radverkehrs an Knotenpunkten. Der Radfahrer soll dort grundsätzlich im Sichtfeld des Kraftfahrzeugfahrers erscheinen, d.h. die Radverkehrsfurt soll direkt über die Knotenpunktzufahrt geführt und nicht abgesetzt werden.

Das Linksabbiegen für Radfahrer, insbesondere an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten, kann direkt oder indirekt erfolgen. Eine direkte Führung des Radverkehrs zeigt Abb. 6.12. Bei einer indirekten Führung überquert der Radfahrer zunächst die einmündende Knotenpunktzufahrt und überquert anschließend die Straße, aus der er nach links abbiegen will.

Um dem Radverkehr Umwege zu ersparen, können Einbahnstraßen für den Radverkehr in Gegenrichtung geöffnet werden. Dabei kann der Radverkehr auf der Fahrbahn (nur innerhalb von Tempo-30-Zonen erlaubt) oder auf einem gegen die Einbahnstraßenrichtung verlaufenden Radfahrstreifen oder Radweg oder in einer unechten Einbahnstraße geführt werden. In unechten Einbahnstraßen ist der Fahrzeugverkehr in beiden Richtungen zugelassen, und nur am

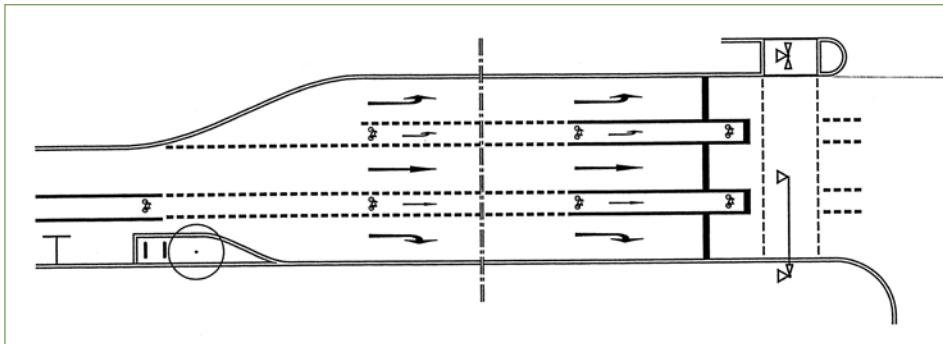


Abb. 6.12: Radfahrstreifen für geradeaus fahrenden und links abbiegenden Radverkehr [Quelle: [31]]

Ende der Straße wird das Einfahren von Fahrzeugen (außer dem Fahrrad) mit dem Zeichen 267 StVO verhindert [31].

6.6 Fußgängerverkehr

Das Fußwegenetz im Innerortsbereich setzt sich aus

- straßenbegleitenden Gehwegen,
- gemeinsamen Geh- und Radwegen,
- eigenständigen Gehwegen,
- Fahrbahnen (in Wohnstraßen, nur bei sehr geringem Kfz-Verkehr, zum Teil als verkehrsberuhigter Bereich ausgeschildert) und
- Fußgängerzonen (in der Regel mit Zulassung von Lieferverkehr zu bestimmten Zeiten und mit/ohne Zulassung von Radverkehr)

zusammen. Dieses Netz dient im Wesentlichen der Nahmobilität und dem Aufenthalt im öffentlichen Raum. Entscheidende Kriterien für die Nutzbarkeit des Fußwegenetzes, gerade für mobilitätsbehinderte und mobilitätseingeschränkte Menschen, sind seine Barrierefreiheit und seine Umwegfreiheit. Die Regelbreite straßenbegleitender Gehwege soll 2,50 m betragen. Überall dort, wo intensive Nutzungen in der Randbebauung (z.B. Geschäfte, Gastronomie) vorhanden sind, sollen ausreichende Breitenzuschläge berücksichtigt werden.

Das Überqueren einer Fahrbahn ist für Fußgänger mit Gefahren verbunden. Deshalb sind – gerade bei etwas höheren Kraftfahrzeugbelastungen – Überquerungshilfen erforderlich. In Abb. 6.13 sind Einsatzbereiche verschiedener Querungsanlagen dargestellt (für zweistufige Straßen), die über die vorhandene Kfz-Belastung zwischen den Hochborden der Fahrbahn (Kfz/Spitzenstunde)¹³, die Anzahl der pro Stunde querenden Fußgänger und die zulässige Geschwin-

¹³ Bei Mittelinseln bzw. Mittelstreifen wird die höher belastete Fahrtrichtung gewählt.

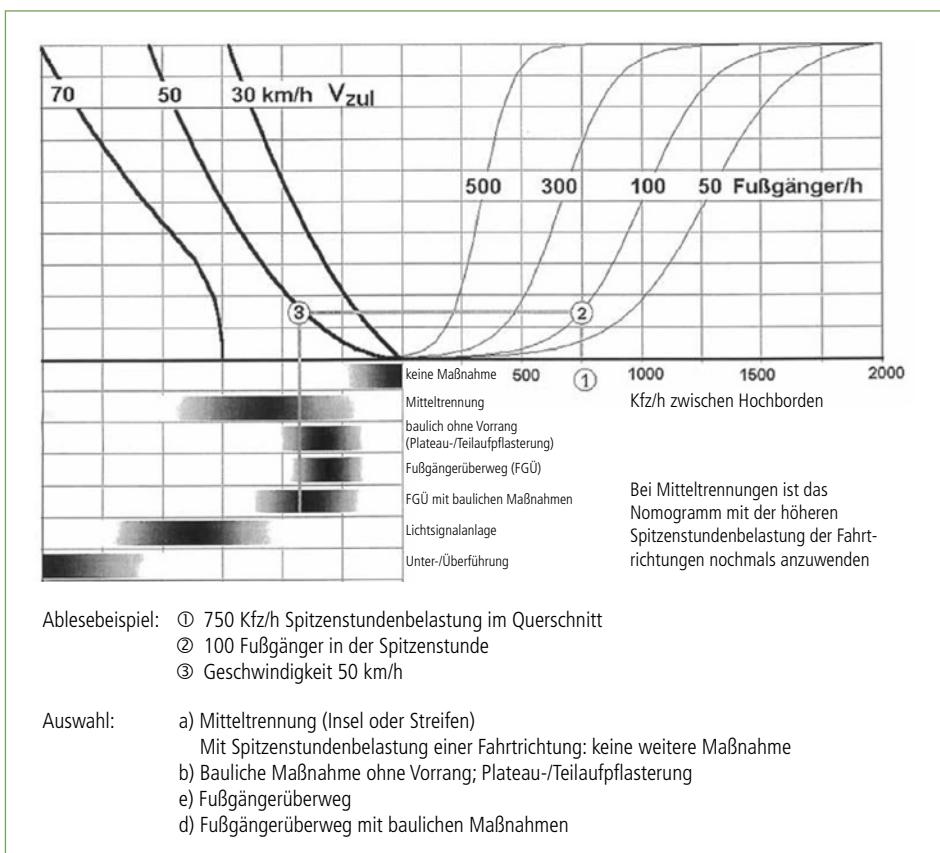


Abb. 6.13: Einsatzbereiche von Querungsanlagen auf der Strecke von zweistreifigen Innerortsstraßen <8,50 m Fahrbahnbreite [Quelle: [32]]

digkeit des Kfz-Verkehrs definiert sind. In dieser Abbildung werden folgende Querungsanlagen angesprochen [32]:

- Mitteltrennung (Mittelinsel oder Mittelstreifen mit einer Breite von 2,50 m – 3,00 m),
- bauliche Maßnahme ohne Vorrang (punktuell vorgezogene Seitenräume zur Verbesserung der Sichtbeziehungen mit/ohne Aufpflasterung, Aufpflasterung (zur Geschwindigkeitsreduktion)),
- Fußgängerüberweg (FGÜ) (Zebrastreifen),
- Fußgängerüberweg mit baulicher Maßnahme,
- Lichtsignalanlage und
- Unter-/Überführung.

Fußgängerüberwege dürfen nur auf innerörtlichen Straßen mit $V_{zul} \leq 50 \text{ km/h}$ und mit nur einem Fahrstreifen pro Richtung angelegt werden.

6.7 Öffentlicher Personennahverkehr

Das Netz des öffentlichen Personennahverkehrs besteht aus folgenden Streckenelementen:

Im Busbereich sind das

- die Fahrbahn (gemeinsame Führung von Bus und Kraftfahrzeugverkehr) und
- der Bussonderfahrstreifen (in Mittel- oder in Seitenlage mit einer Regelbreite von 3,50 m).

Im Straßenbahnbereich sind das

- der straßenbündige Bahnkörper
 - ohne räumliche Trennung der Straßenbahn vom Kraftfahrzeugverkehr,
 - mit räumlicher Trennung der Straßenbahn vom Kraftfahrzeugverkehr (Abgrenzung z. B. durch Fahrstreifenbegrenzung – durchgezogene Linien),
 - mit dynamischer Straßenraumfreigabe (Freischaltung des Straßenraumes für die Straßenbahn durch Lichtsignalanlagen),
- der besondere Bahnkörper (Abgrenzung in der Regel durch Borde)
 - mit geschlossenem Oberbau (z. B. gepflastert und deshalb auch von Bussen und Notfallfahrzeugen nutzbar) (Abb. 6.14),
 - mit geschottertem Oberbau,
 - mit begrüntem Oberbau (Rasengleis) und
- der unabhängige Bahnkörper (eigene Trasse; im Straßenbahnbereich selten; die Regel bei Stadtbahn, U-Bahn, S-Bahn, Eisenbahn).

Aus Fahrgastsicht sind die Haltestellen des ÖPNV das wichtigste Netzelement.

Haltestellenformen im Busbereich sind

- die Haltestelle am Fahrbahnrand,
- die Busbucht und
- das Haltestellenkap (Abb. 6.15).

Das Buskap hat gegenüber der Busbucht einerseits deutliche Vorteile, sowohl für den Fahrgast als auch für den Betrieb (höherer Beförderungskomfort aufgrund fahrdynamischer Vorteile, zügige An- und Abfahrt), andererseits können die auf der Fahrbahn haltenden Busse den fließenden Kfz-Verkehr behindern [33]. In Abb. 6.16 sind die unter Abwägung dieser Vor- und Nachteile ermittelten Einsatzbereiche von Buskaps, in Abhängigkeit vom Bustakt und von der richtungsbezogenen Verkehrsbelastung auf der Straße, für zweistufige städtische Hauptverkehrsstraßen angegeben.

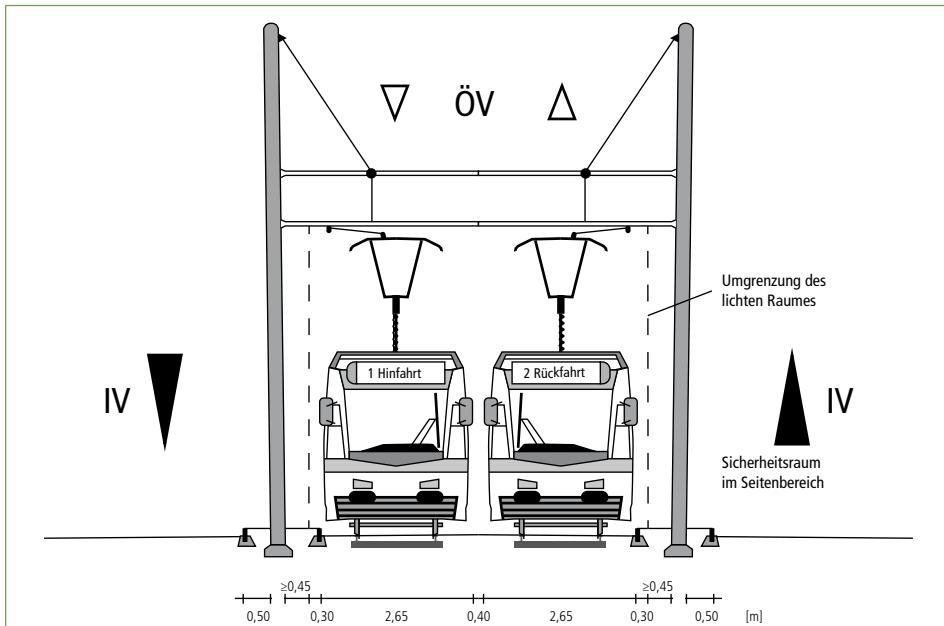


Abb. 6.14: Besonderer Bahnkörper in Mittellage mit Seitenmasten und Sicherheitsraum im Seitenbereich
[Quelle: Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs EAÖ; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013]

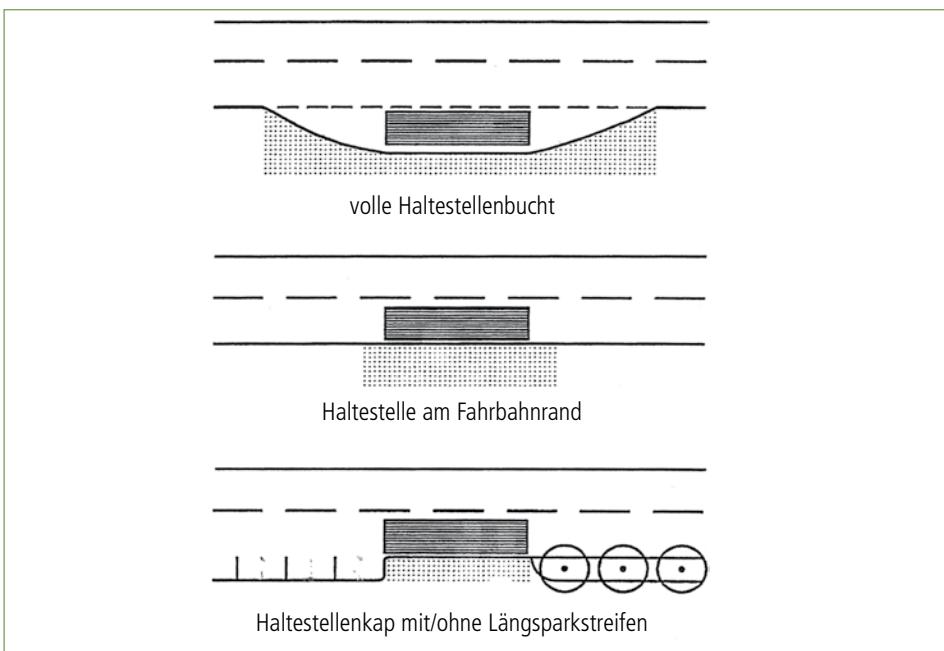


Abb. 6.15: Grundformen von Bushaltestellen in Seitenlage [Quelle: [33]]

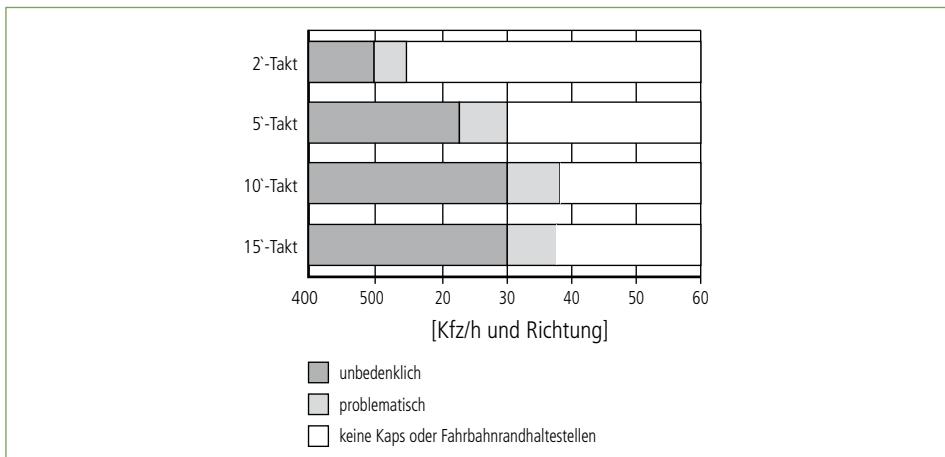


Abb. 6.16: Einsatzbereiche für die Anlage von Haltestellenkaps an zweistreifigen Hauptverkehrsstraßen
[Quelle: [33]]

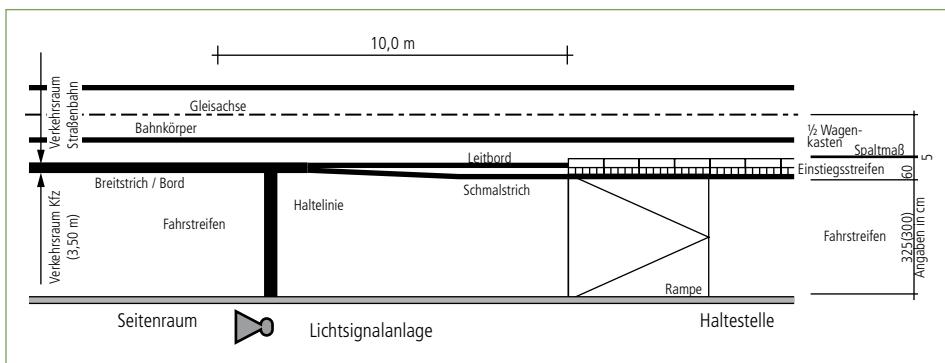


Abb. 6.17: Straßenbahnhaltstelle mit Zeitinsel und angehobener Fahrbahn [Quelle: nach [24]]

Haltestellen für Busse auf Bussonderfahrstreifen und für Straßenbahnen können

- in Mittellage
 - mit Haltestelleninsel,
 - mit Zeitinsel¹⁴ und angehobener Fahrbahn (Abb. 6.17) und
 - in Seitenlage (als Haltestellenkap)
- angelegt werden.

Haltestellen müssen barrierefrei ausgebildet werden. Dies bedeutet, dass die Höhe der Fahrzeugsböden mit der Höhe des Bahnsteigs bzw. der Haltestellen-

¹⁴ Eine sich der Haltestelle nähерnde Straßenbahn schaltet über einen Oberleitungskontakt die schlafende Lichtsignalanlage für den Kfz-Verkehr auf rot, sodass die Fahrgäste ungehindert ein- und aussteigen können. Nach Verlassen der Haltestelle schaltet sich die Lichtsignalanlage wieder aus.

fläche übereinstimmen muss. Ebenso sind die Zu- und Abgänge barrierefrei auszustalten. Haltestellen für Stadtbahnen, U-Bahnen, S-Bahnen und Eisenbahnen weisen je nach Niveaulage sehr unterschiedliche Formen auf.

Zur Netzplanung im ÖPNV gehört auch die Festlegung der Haltestellenabstände. In den »Empfehlungen für Planung und Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs« [23] werden zur Größe von Haltestelleneinzugsbereichen, getrennt nach Bus und Straßenbahn einerseits und Schienenpersonennahverkehr andererseits, Angaben gemacht (Tabelle 6.10). Die Größe der Haltestelleneinzugsbereiche spielt bei der Linienplanung eine wesentliche Rolle, weil mindestens 80 % der bebauten Flächen einer Siedlung innerhalb von Haltestelleneinzugsbereichen liegen sollen.

Bei der Linienplanung im ländlichen Raum ist darüber hinaus von Bedeutung, ob eine Gemeinde oder ein Gemeindeteil direkt oder über Zubringer an das Liniennetz des Regionalbusverkehrs angebunden werden soll. In [23] wird hierzu folgende Empfehlung gegeben:

- Geschlossene Siedlungsgebiete mit mehr als 3 000 Einwohnern werden grundsätzlich an den Linienverkehr (Bus) angebunden.
- Geschlossene Siedlungsgebiete mit weniger als 3 000 Einwohnern werden dann an den Linienverkehr (Bus) angebunden, wenn die Siedlung auf dem direkten Linienweg liegt. Im anderen Fall erfolgt eine Anbindung über eine Zubringerlinie oder über bedarfsgesteuerte Verkehre.

Welche dieser beiden Anbindungsformen in einem konkreten Planungsfall in Betracht kommt, ergibt sich aus der Verkehrsnachfrage in der abseits des direkten Linienverlaufs liegenden Gemeinde (oder mehrerer Gemeinden). Ist die dortige Nachfrage so gering, dass bei weniger als 70 % aller Fahrten auf der Grundlinie mindestens ein Ein- oder Ausstiegswunsch in der Gemeinde auftritt, dann sind bedarfsgesteuerte Verkehrsbedienungsformen (z. B. AnrufSammel-Taxi) sinnvoller einzusetzen.

Im Personenbeförderungsgesetz und in den Nahverkehrsgesetzen der meisten Bundesländer ist die Erstellung von Nahverkehrsplänen festgelegt. Durch den Nahverkehrsplan wird der Rahmen für die Entwicklung des ÖPNV in einem definierten Bedienungsgebiet (Stadt, Landkreis oder Zusammenschlüsse von Stadt- und Landkreisen) gebildet. Er besteht in der Regel aus

- einer Bestandsaufnahme,
- einer Mängelanalyse (in Bezug auf Erschließungsqualität, Verbindungsqualität (Reisezeit), Bedienungsqualität (Zahl der angebotenen Fahrten/Tag), Tarif und Betriebsablauf),
- einem Anforderungsprofil (Standards für das ÖPNV-Angebot, wie z. B. Größe von Haltestelleneinzugsbereichen),

- der Konzeption der Netze und des Angebotes sowie
- einer Abschätzung der zu erwartenden Nachfrage, der Kosten und Einnahmen.

Der Nahverkehrsplan soll in regelmäßigen Zeitabständen (z.B. alle fünf Jahre) fortgeschrieben werden.

Tabelle 6.10: Haltestelleneinzugsbereiche (Luftlinie) [Quelle: [23]]

Gemeindeklasse	Haltestelleneinzugsbereich (m)	
	Bus/Strab*	SPNV**
OZ	300 bis 500	400 bis 800
MZ	300 bis 500	400 bis 800
UZ	400 bis 600	600 bis 1 000
G	500 bis 700	800 bis 1 200

In den Außenbereichen der Zentren sind auch größere Einzugsbereiche möglich.

* **Strab** Straßenbahn; ** **SPNV** Schienenpersonennahverkehr

G Gemeinde; **MZ** Mittelzentrum; **OZ** Oberzentrum; **UZ** Unterzentrum

6.8 Verknüpfung und Vernetzung der Verkehrssysteme

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für ein gut funktionierendes Gesamtverkehrssystem und insbesondere für ein multimodales, d.h. verkehrsträgerübergreifendes Verkehrsverhalten ist eine Vernetzung der verschiedenen Teilverkehrssysteme, wobei die Verknüpfung der Teilsysteme untereinander durch bauliche Anlagen ein wichtiges Element der verkehrsträgerübergreifenden Vernetzung darstellt¹⁵. Erst durch ein Zusammenwirken der verschiedenen Verkehrssysteme können die Vorteile der einzelnen Teilsysteme besser zur Geltung kommen, wie folgende Beispiele zeigen.

Verknüpfung von Pkw-Verkehr und ÖPNV durch Park-and-Ride(P+R)-Anlagen:

Bei P+R wird die Fahrt (in der Regel) von der Wohnung zu einer ÖPNV-Haltestelle und zurück mit dem Pkw durchgeführt, der Pkw auf einer P+R-Anlage an der Haltestelle abgestellt und für die weitere Fahrt zum Ziel (und zurück) das öffentliche, zumeist schienengebundene, Verkehrsmittel genutzt.

¹⁵ Zur internen Verknüpfung verschiedener Systeme des öffentlichen Personenverkehrs siehe die Hinweise für den Entwurf von Verknüpfungsanlagen des öffentlichen Personennahverkehrs [Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2009].

Wie durch P+R die jeweiligen Vorteile der einzelnen Teilverkehrssysteme zum Tragen kommen, zeigt das in Abb. 6.18 dargestellte Beispiel der Fahrt eines Berufspendlers von seiner Wohnung im Umland zu seinem Arbeitsplatz in der City mit dem Pkw, mit dem ÖPNV (Bus und S-Bahn) und unter Nutzung von P+R (Pkw und S-Bahn). Der Vorteil des Pkw besteht in seiner höheren Reisegeschwindigkeit im Umland, der Vorteil der S-Bahn in ihrer höheren Beförderungsgeschwindigkeit im städtischen Bereich. Insgesamt schneidet in diesem Beispiel das intramodale Verhalten des Pendlers (Nutzung verschiedener Verkehrsmittel auf einem Weg) bezüglich der Gesamtreisezeit am besten ab.

Verknüpfung von Fahrradverkehr und ÖPNV durch Bike-and-Ride(B+R)-Anlagen:

Statt mit dem Pkw kann der Weg von der Wohnung zur ÖPNV-Haltestelle und zurück auch mit dem Fahrrad zurückgelegt werden. An der ÖPNV-Haltestelle ist dafür eine geeignete Fahrradabstellanlage erforderlich.

Mitnahme von Fahrrädern in öffentlichen Verkehrsmitteln:

Ein Nachteil von B+R besteht darin, dass für den Weg von der ÖPNV-Ausstiegshaltestelle zum eigentlichen Ziel (und zurück) das Fahrrad nicht genutzt werden kann (sofern nicht z. B. der Arbeitgeber an der Zielhaltestelle Fahrräder für die Angestellten bereit hält). Dieser Nachteil entfällt, wenn das Fahrrad im ÖPNV-Fahrzeug mitgenommen werden kann. Eine solche Vernetzung von Fahrradverkehr und ÖPNV ist allerdings noch nicht überall und zu jeder Zeit vorhanden.

Verknüpfung von schnellem Personenfernverkehr mit dem Luftverkehr:

Die Zahl innerdeutscher Flüge kann durch eine Verknüpfung des Luftverkehrs mit dem schnellen Schienenpersonenverkehr (ICE) an Flughafenbahnhöfen reduziert werden.

Verknüpfung von Straßengüter-, Schienengüter- und ggf. Binnenschiffsverkehr in Güterverkehrszentren:

In einem Güterverkehrszentrum (GVZ) werden die Güterverkehre einer Stadt oder eines Raumes an einem verkehrlich günstig gelegenen Standort räumlich und funktional gebündelt, wobei möglichst viele, aber zumindest zwei Verkehrsträger (Straßengüterverkehr und Schienengüterverkehr) so zusammengeführt werden, dass ein reibungsloser Güterumschlag zwischen diesen Verkehrsträgern ermöglicht wird. Ein GVZ muss demnach die Aufgabe erfüllen, zumindest die aus einer Stadt herausgehenden Güter, die mit Lastkraftwagen in das GVZ gebracht werden, zu sammeln und auf die Eisenbahn bzw. das Binnenschiff zum weiteren Transport umzuladen (und umgekehrt). Neben den Umschlaganlagen selbst umfasst ein Güterverkehrszentrum Einrichtungen zur

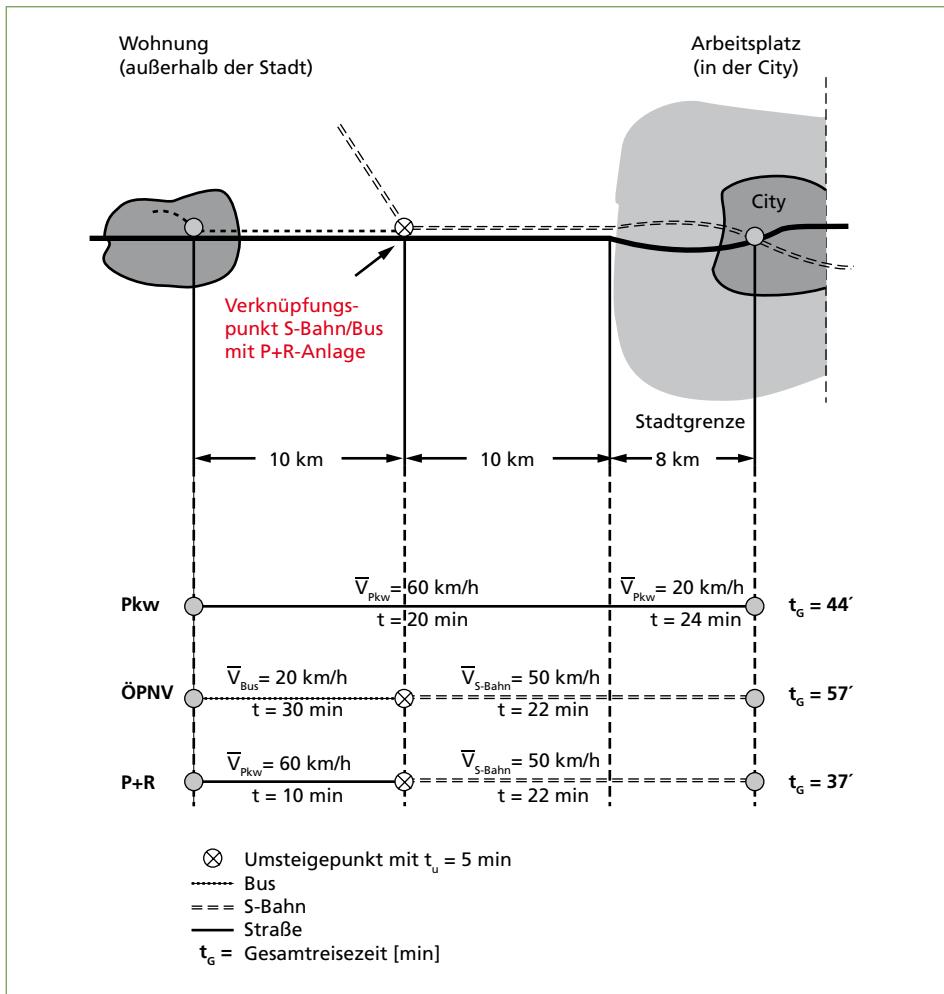


Abb. 6.18: Vergleich zwischen Pkw-, ÖPNV- und P+R-Nutzung an einem Beispiel

Disposition und zum Handling der Güter, aber auch Lagerflächen und Serviceeinrichtungen, wie z. B. Werkstätten und Tankstellen.

Verknüpfung von öffentlichem Personennah-, Regional- und Fernverkehr durch integrale Taktfahrpläne:

Ein integraler Taktfahrplan (ITF) vernetzt auf der Basis eines gemeinsamen Grundtaktes die in einem ITF zusammengeschlossenen Verkehrsmittel des öffentlichen Verkehrs (Busse, Nahverkehrsbahnen, Regionalbahnen, Fernbahnen), indem an definierten Verknüpfungspunkten (Bahnhöfen) alle vernetzten Verkehrsmittel zur etwa gleichen Zeit ankommen, sodass zwischen diesen Verkehrsmitteln innerhalb einer bestimmten Zeitdauer umgestiegen werden kann.

Um einen integralen Taktfahrplan zu ermöglichen, müssen einige Randbedingungen berücksichtigt werden. Dies betrifft u.a. die Fahrzeit zwischen zwei benachbarten Verknüpfungspunkten, die auf den ITF ausgerichtet sein muss.

Weitere Vernetzungen im Verkehrssektor ergeben sich durch verkehrs-trägerübergreifende elektronische (Echtzeit-)Informationssysteme und innerhalb des Kraftfahrzeugverkehrs durch eine Kommunikation zwischen einzelnen Fahrzeugen oder zwischen Fahrzeugen und Leiteinrichtungen (Car-to-X-Kommunikation¹⁶⁾.

6.9 Einsatzbereiche von Verkehrsmitteln

Verkehrssysteme weisen spezifische Einsatzbereiche auf, in denen sie ihren jeweiligen Eigenschaften gemäß sinnvoll eingesetzt werden können. Für ausgewählte Systeme des öffentlichen Personennahverkehrs und des Individualverkehrs werden grundsätzliche Spezifikationen der Einsatzbereiche dargestellt.

S-Bahn

Für nachfragestarke Stadt-Umlandrelationen in Metropolregionen; wegen großer Haltestellenabstände im Umland geringe Flächenerschließung.

Regionalbahn

Für mittlere Nachfragen auf großräumigen Stadt-Umlandrelationen; wegen großer Haltestellenabstände geringe Flächenerschließung.

U-Bahn/Stadtbahn

Für nachfragestarke städtische oder zwischenstädtische Relationen in Metropolen oder größeren Oberzentren; wegen mittlerer Haltestellenabstände mittlere Flächenerschließung.

Straßenbahn

Für mittlere bis größere Nachfragen auf städtischen Relationen; wegen kürzerer Haltestellenabstände gute Flächenerschließung.

¹⁶ Das „X“ steht z.B. für „Car“ (dann also Car-to-Car-Kommunikation) oder für eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Lichtsignalanlage.

Regionalbus

Für geringere Nachfragen auf Stadt-Umlandrelationen und auf Relationen innerhalb des Umlandes; wegen geringer bis mittlerer Haltestellenabstände gute bis mittlere Flächenerschließung.

Städtischer Bus

Für höhere (Doppelgelenk- oder Gelenkbus) bis mittlere Nachfragen (Gelenkbus, StandardLinienbus) auf städtischen Relationen; wegen geringer Haltestellenabstände sehr gute Flächenerschließung.

AnrufSammelTaxi (AST)

Für sehr geringe Nachfragen auf Umland- und Stadtrandrelationen; wegen geringer Haltestellenabstände und Zu-Tür-Bedienung sehr gute Flächenerschließung.

Taxi

Für sehr geringe Nachfragen auf städtischen und Stadt-Umland-Relationen; wegen Tür-zu-Tür-Bedienung sehr gute Flächenerschließung.

Pkw

Für geringe bis hohe Nachfragen auf städtischen und Stadt-Umland-Relationen sowie auf Relationen innerhalb des Umlandes und im Fernverkehr; wegen Stellplatz-zu-Stellplatz-Bedienung gute Flächenerschließung.

Fahrrad

Für geringe bis höhere Nachfragen auf städtischen und Stadt-Umland-Relationen (bis etwa 10 km Fahrtlänge); wegen Tür-zu-Tür-Bedienung sehr gute Flächenerschließung.

Abb. 6.19 zeigt Nachfragebereiche der beschriebenen Verkehrsmittel in der Dimension »Personen pro Stunde und Richtung«. Die dargestellten Bereiche geben nur eine grobe Einschätzung wieder.

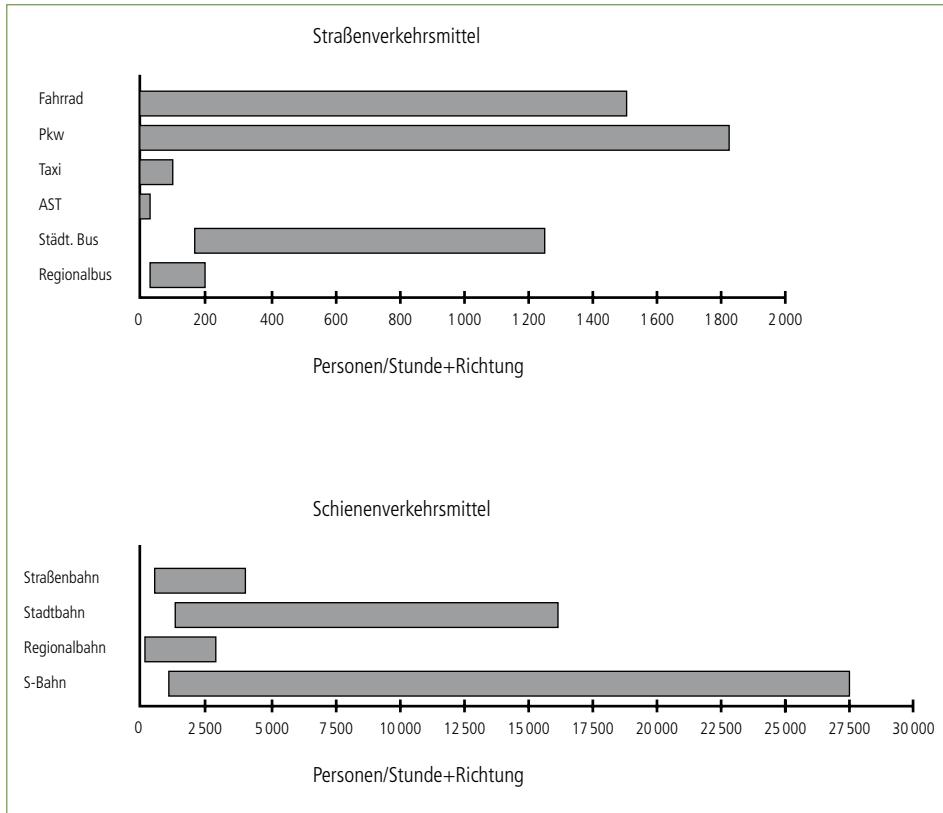


Abb. 6.19: Nachfragebereiche öffentlicher und individueller Verkehrssysteme

7 Verkehrliche Wirkungen

7.1 Grundlagen

Durch verkehrliche Maßnahmen (siehe hierzu Kapitel 6) soll das Verkehrsgeschehen in eine gewünschte Richtung beeinflusst werden. Verkehrliche Maßnahmen können untergliedert werden in

- Maßnahmen der Ordnungspolitik (z. B. Anordnung einer Geschwindigkeitsbegrenzung),
- Maßnahmen der Verkehrsorganisation (z. B. Begrenzung der Zahl der Stellplätze in einem Stadtgebiet),
- Maßnahmen der Verkehrsinfrastruktur (z. B. Bau einer Ortsumgehung),
- betriebliche Maßnahmen (z. B. Erhöhung des Fahrtenangebotes im öffentlichen Personennahverkehr),
- Maßnahmen zur Vernetzung der Verkehrssysteme (z. B. Vernetzung von Schienen- und Straßengüterverkehr in Güterverkehrszentren),
- Maßnahmen der Verkehrstechnik (z. B. verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerung),
- informatorische Maßnahmen (z. B. Routenempfehlung eines Navigationsgeräts),
- Maßnahmen zur Beeinflussung der Nutzerkosten (z. B. Einführung einer City-Maut),
- Maßnahmen zur Verhaltensbeeinflussung (z. B. Anleitungen zu defensivem Fahrverhalten).

Nicht angesprochen werden hier Maßnahmen der Fahrzeugtechnik (z. B. neue Kraftfahrzeugantriebe).

Daneben beeinflussen stadt- und raumplanerische Maßnahmen (Maßnahmen der Flächennutzung), ebenso wirtschaftsstrukturelle und logistische Maßnahmen das Verkehrsgeschehen (z. B. hat eine verkehrsparsame Siedlungsstruktur kürzere Wege zur Folge als eine verkehrsaufwändige Struktur).

Die angesprochenen verkehrlichen Maßnahmen führen zu verkehrlichen, umweltbezogenen, städtebaulichen, raumstrukturellen, wirtschaftlichen, kostenbezogenen und sozialen Wirkungen. Beispiele einzelner Wirkungen sind

- für das Wirkungsfeld Verkehr: Verkehrssicherheit, Erreichbarkeit, Verkehrsmittelwahl,
- für das Wirkungsfeld Umwelt: Flächeninanspruchnahme, Lärm-, Schadstoff-, CO₂-Emissionen,

- für das Wirkungsfeld Städtebau, Raumstruktur: siedlungsstrukturelle Veränderungen, wie z. B. Zersiedelung,
- für das Wirkungsfeld Wirtschaft: Beschäftigtenstruktur, Standortqualität,
- für das Wirkungsfeld Kosten: Bau-, Unterhaltungs-, Betriebskosten und
- für das Wirkungsfeld Sozialstruktur: soziale Segregation (Gentrifizierung).

Die Ermittlung der Wirkungen kann auf

- Wirkungsberechnungen (quantitativ) (ein Beispiel dazu siehe Abschnitt 7.2),
- Wirkungsabschätzungen (eher qualitativ) oder
- fachlich begründeten Wirkungsvermutungen

beruhen.

Grundsätzlich sind solche Wirkungen anzustreben, die gewährleisten, dass Menschen ihre Mobilitätsbedürfnisse erfüllen können, jedoch

- mit einem möglichst geringen Verkehrsaufwand insbesondere im Kraftfahrzeugverkehr,
- bei einem möglichst stadtverträglichen Verkehrsablauf.

Um dies zu erreichen, sind

- Strategien zur Verkehrsvermeidung,
- Strategien zur Verkehrsverlagerung und
- Strategien zu einem stadtverträglichen Verkehrsgeschehen einzusetzen.

Strategien zur Verkehrsvermeidung (der Entfall von motorisierten Fahrten oder zumindest eine Reduzierung von Wegelängen im motorisierten Verkehr) sind eher langfristig angelegt, da sie u. U. eine Veränderung der Stadt- oder der Raumstruktur erforderlich machen. Strategien zur Verkehrsverlagerung können ggf. kurzfristiger zum Erfolg führen. Zu unterscheiden sind

- zeitliche Verlagerungen (das sind Verlagerungen von Fahrten auf andere Zeitbereiche),
- intramodale Verlagerungen (das sind Verlagerungen auf andere Routen innerhalb desselben Verkehrssystems),
- intermodale Verlagerungen (das sind Verlagerungen auf andere Verkehrssysteme, z. B. vom Pkw-Verkehr auf den ÖPNV) und
- intra-/intermodale Verlagerungen (das sind Verlagerungen auf andere Routen und andere Verkehrssysteme) [34].

Strategien zu einem stadtverträglichen Verkehrsablauf zeichnen sich vor allem in Städten durch ein Miteinander der verschiedenen Verkehrsarten (Fußgänger-

verkehr, Radverkehr, ÖPNV und Kraftfahrzeugverkehr) auf ‚gleicher Augenhöhe‘ aus.

Neben verkehrsvermeidenden und verkehrsverlagernden Wirkungen ist in diesem Zusammenhang eine weitere verkehrliche Wirkung anzusprechen: der induzierte Verkehr. Induzierter Verkehr entsteht dadurch, dass aufgrund von Verbesserungen in einem Verkehrssystem, die zu Verkürzungen der Reisezeit in diesem System führen, Ziele erreicht werden können, die bisher innerhalb eines für Ortsveränderungen relativ konstanten Reisezeitbudgets nicht erreicht werden konnten. Die durch die Angebotsverbesserung eingesparte Zeit wird somit – zumindest zu einem Teil – in neue oder weitere Fahrten umgesetzt [12].

In den folgenden Abschnitten wird auf die Wirkungsbereiche

- Umwelt (Flächeninanspruchnahme, Lärm-, Schadstoff-, CO₂-Emissionen) und
 - Verkehr (Verkehrssicherheit, Erreichbarkeit)
- näher eingegangen.

7.2 Verkehr und Umwelt

Verkehrsvermeidung von Kraftfahrzeugfahrten, Verkehrsverlagerungen (insbesondere vom Pkw-Verkehr auf den ÖPNV, den Rad- und den Fußgängerverkehr) und ein (stadt-)verträglicher Verkehrsablauf führen zu geringeren negativen Umweltauswirkungen. Sinngemäß gilt dies auch für den Güterverkehr.

Welche negativen Auswirkungen auf die Umwelt gehen vom Verkehr aus? Das sind im Wesentlichen der Flächenverbrauch durch Verkehrsanlagen, Läremissionen, Emissionen von gas- und staubförmigen Schadstoffen und Kohlenstoffdioxidemissionen.

Für den Flächenbedarf F eines sich bewegenden Fahrzeuges gilt

$$F_F = v \cdot t \cdot s \quad (\text{m}^2/\text{Fz}) \quad (\text{Gleichung 7.1})$$

bzw.

$$F_p = v \cdot t \cdot s / P_b \quad (\text{m}^2/\text{Person}) \quad (\text{Gleichung 7.2})$$

mit

t = Zeitlücke zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen (einschl. Fahrzeuglänge) (s)

s = Breite des Fahrzeuges (m)

P_b = Anzahl Personen im Fahrzeug (Personen/Fz)

Die Gleichungen 7.1 und 7.2 leiten sich ab aus der sogenannten Fundamental-Gleichung des Verkehrs

$$q = k \cdot \bar{v}$$

mit

q = Verkehrsstärke (Fz/s)

k = Verkehrsdichte (Fz/m)

\bar{v} = Geschwindigkeit der Fahrzeuge (m/s),

die den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen der zeitbezogenen Größe ›Verkehrsstärke‹ und der längenbezogenen Größe ›Verkehrsdichte‹ herstellt¹⁷.

Für zehn Pkw mit einer Breite $s = 1,80\text{ m}$, die mit je zwei Personen besetzt sind und mit einer Bruttozeitlücke (d.h. einschl. der Fahrzeuglänge) von 10 s sowie einer Geschwindigkeit $v = 13,9\text{ m/s}$ (= 50 km/h) hintereinander herfahren, errechnet sich

$$F_F = 13,9 \cdot 10 \cdot 1,8 = 250,2\text{ m}^2/Fz$$

und

$$F_p = 250,2 : 2 = 125,1\text{ m}^2/\text{Person.}$$

Für einen Bus mit einer Breite $s = 2,55\text{ m}$, der mit 20 Personen besetzt ist und mit einer Bruttozeitlücke von 10 s sowie einer Geschwindigkeit $v = 13,9\text{ m/s}$ hinter einem anderen Fahrzeug fährt, errechnet sich

$$F_F = 13,9 \cdot 10 \cdot 2,55 = 354,45\text{ m}^2/Fz$$

und

$$F_p = 354,45 : 20 = 17,72\text{ m}^2/\text{Person.}$$

Der Unterschied im personenbezogenen Flächenbedarf zwischen Pkw als einem individuellen und Bus als einem öffentlichen Verkehrsmittel ist beträchtlich.

Insgesamt werden von der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland ($357\,000\text{ km}^2$) etwa 2% ($\sim 7\,100\text{ km}^2$) von Straßen (Bundesautobahnen, Bundesstraßen, Landesstraßen, Kreisstraßen, Gemeindestraßen ohne begleitende Geh- und Radwege) und $0,7\%$ ($\sim 2\,500\text{ km}^2$) von Bahnanlagen bedeckt. Die

17 Aus der Fundamentalgleichung $q = k \cdot \bar{v}$ ergibt sich durch Umformen $1/k = \bar{v} \cdot 1/q$ und durch Erweitern mit

$$s \text{ (= Breite eines Fahrzeugs)}: \frac{s}{k} = \bar{v} \cdot \frac{1}{q} \cdot s$$

$$\text{Mit } \frac{1}{q} = t \text{ (= Zeitlücke zwischen zwei aufeinander folgenden Fahrzeugen)} \text{ ergibt sich } F = \bar{v} \cdot t \cdot s.$$

Anteile werden aufgrund von weiteren Ausbaumaßnahmen im Straßen- und im Bahnbereich zwar noch leicht zunehmen, die Zuwachsrate werden aber geringer, da in Zukunft insbesondere im Straßennetz Erhaltungsmaßnahmen vor Ausbaumaßnahmen einen höheren Stellenwert erreichen werden. Dennoch ist bei der Planung von Verkehrsanlagen Flächensparsamkeit weiterhin ein wichtiges Ziel.

Die durch Verkehrsvorgänge entstehenden Lärmemissionen zählen zu den größten negativen Umweltauswirkungen des Verkehrs (Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Luftverkehr). Dabei ist ‚Lärm‘ ein subjektiver Begriff, der nicht messbar ist. Messbar ist dagegen der Schall, der sich in Form mechanischer Schwingungen (Verdichtung und Verdünnung der Luft) von der Schallquelle aus mit bestimmten Frequenzen (Tonhöhen) fortpflanzt. Die Stärke des Schalls wird als Schallintensität gemessen. Das menschliche Ohr kann Schall in einem Intensitätsbereich zwischen $I_o = 10^{-12}$ Wattsekunden (=Hörschwelle) und $I_i = 1$ Wattsekunde (=Schmerzgrenze) aufnehmen. Das menschliche Ohr nimmt allerdings die Schallintensität nicht direkt wahr, sondern stattdessen die Lautstärke (physikalisch: Schallpegel). Die Lautstärke bzw. der Schallpegel L steigt annähernd linear an, wenn der die Lautstärke auslösende Reiz (die Schallintensität) logarithmisch zunimmt:

$$L_x = 10 \lg \frac{I_x}{I_o} \text{ (dB)} \quad (\text{Gleichung 7.3})$$

Die gemessene Schallintensität I_x wird auf die Hörschwelle I_o bezogen. Der Logarithmus dieses Verhältniswertes wird mit Bel (B) bezeichnet. Dies ist im engeren Sinn keine Dimension, sondern nur ein Name. Der Faktor 10 wird deshalb eingeführt, weil der Schallpegel aus praktischen Erwägungen nicht in Bel, sondern in Dezibel (dB) angegeben wird.

Wegen des logarithmischen Maßstabes gilt z.B.: Eine Erhöhung des Schallpegels um 10 dB entspricht einer Verzehnfachung, eine Erhöhung um 20 dB einer Verhundertfachung der Schallintensität. Tabelle 7.1 zeigt die Schallpegel einiger Schallquellen bespielhaft auf.

Tabelle 7.1: Schallpegel verschiedener Schallquellen
 [Quelle: www.hug-technik.com/inhalt/ta/schallpegel_laermpiegel.html]

Schallquelle	Schallpegel (dB)
Hörschwelle	0
raschelndes Blatt	10
Flüstern (1 m Entfernung)	30
leises Gespräch	50
verkehrsreiche Straße	80
Gesteinsbohrer	110
Schmerzschwelle 120	
Nietpistole	130

Da die gleiche Schallintensität bei unterschiedlichen Frequenzen (Tonhöhen) vom menschlichen Ohr nicht gleichartig empfunden wird, wird eine Frequenzbewertung vorgenommen. Tiefe Töne unter 1000 Hz und hohe Töne über 6000 Hz werden vergleichsweise ‚leiser‘ wahrgenommen, sodass über die in Abb. 7.1 dargestellte A-Kurve eine Bewertung der unterschiedlichen Frequenzen bei Verkehrslärm vorgenommen wird (mit dem Wert von 1000 Hz als Bezugsfrequenz). Der so bewertete Schallpegel wird mit dB (A) bezeichnet [35].

Sind mehrere Schallquellen (z. B. mehrere Fahrzeuge) vorhanden, addieren sich die einzelnen Schallintensitäten I_i . Wegen des logarithmischen Zusammenhangs gilt für den dann auftretenden Gesamtschallpegel

$$L_g = 10 \lg \frac{1}{I_0} \sum_i I_i = 10 \lg \sum_i 10^{0,1 \cdot I_i} \quad (\text{dB bzw. dB (A)}) \quad (\text{Gleichung 7.4})$$

(vgl. auch Abb. 7.3).

Hieraus lässt sich ableiten, dass z. B. eine Verdoppelung der Zahl der Schallquellen (z. B. Verdoppelung der Verkehrsstärke) den Schallpegel um 3 dB (A) anhebt [36].

Im Jahre 1990 trat die 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung) in Kraft und führte Lärmgrenzwerte ein, die für alle Straßen und Schienenwege der Eisenbahn und Straßenbahnen gelten. Allerdings sind dies Vorsorgewerte, die nur für den Bau neuer oder wesentliche Änderungen vorhandener Verkehrswege gelten (Tabelle 7.2).

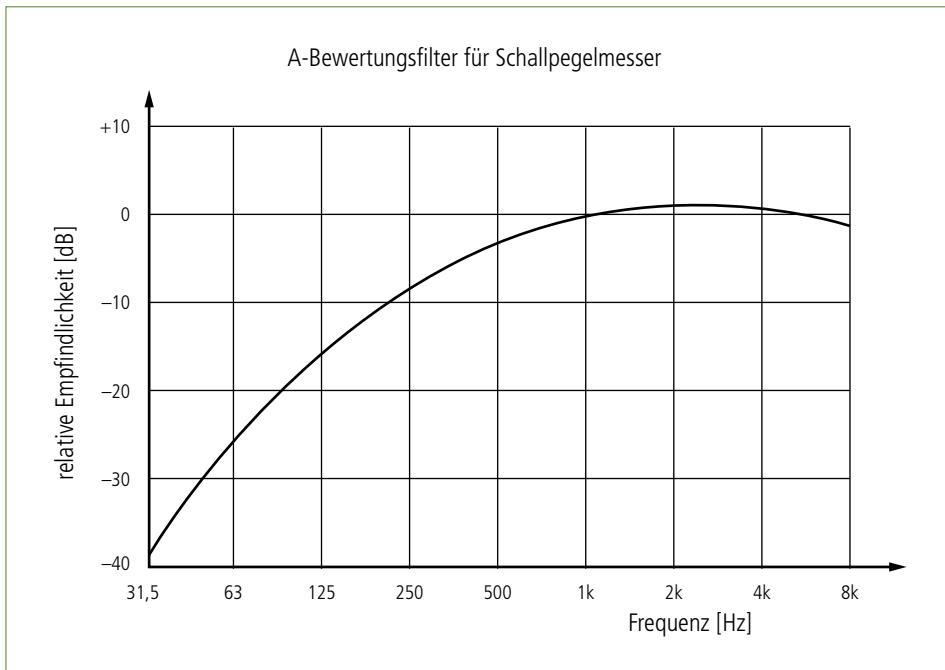


Abb. 7.1: A-Kurve zur Bewertung unterschiedlicher Frequenzen im Verkehrsbereich [Quelle: [35]]

Tabelle 7.2: Immissionsgrenzwerte für die Lärmvorsorge nach der Verkehrslärmschutzverordnung vom 21.06.1990 [Quelle: 16 BlmSchV]

Gebietstyp	Immissionsgrenzwerte (dB (A)) für Straßen- und Schienenwege			
	Tag		Nacht	
Krankenhäuser, Schulen, Heime	57	(50)	47	(40)
Wohngebiete	59	(WR: 50 WA: 55)	49	(WR: 40 WA: 45)
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	64	(Misch: 60 Dorf: 60 Kern: 65)	54	(Misch: 50 Dorf: 50 Kern: 55)
Gewerbegebiete	69	(65)	59	(55)

Entsprechende allgemeingültige Grenzwerte für bestehende Straßen gibt es nicht, obwohl sie vielfach gefordert wurden und werden und die DIN 18005 die in Tabelle 7.2 in Klammern angegebenen Orientierungswerte enthalten.

Wie wird nun für eine neu zu bauende Straße der Schallpegel berechnet, der als Immissionswert z. B. an einem neben der geplanten Straße stehenden Kran-

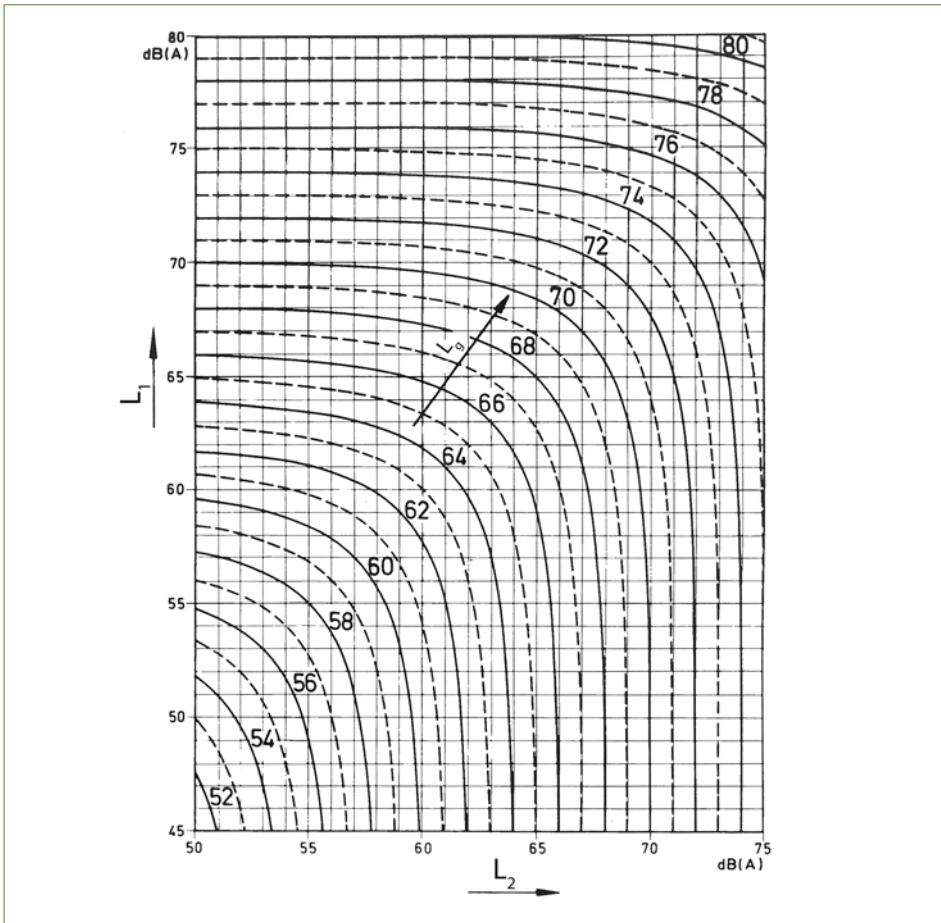


Abb. 7.2: Grafische Ermittlung des resultierenden Schallpegels L_g aus zwei Einzellschallpegeln L_1 und L_2
[Quelle: [36]]

kenhaus ankommt? Dieser Schallpegel darf den in Tabelle 7.2 angegebenen Grenzwert für Krankenhäuser nicht überschreiten. Die genaue Vorgehensweise für die Berechnung des von dem Verkehr auf der geplanten Straße ausgehenden und an das Gebäude gelangenden Schallpegels ist in [36] erläutert. In das Verfahren gehen folgende Größen ein:

- Abstand zwischen Fahrstreifenachse und Gebäudefront,
- vorgesehene Höchstgeschwindigkeit auf der geplanten Straße,
- richtungsbezogene stündliche Prognoseverkehrsstärke und Lkw-Anteile,
- Art der Straßenoberfläche,
- Steigung der Straße,
- meteorologische und topografische Einflüsse sowie
- Einflüsse von Lichtsignalanlagen im Umfeld.

Zeigt sich bei der Anwendung des Verfahrens, dass der geforderte Grenzwert nicht eingehalten werden kann, muss die Planung überarbeitet werden. Grundsätzlich kommen mehrere Möglichkeiten zur Minderung des Schallpegels in Betracht:

- lärmärmere Straßenoberflächen (Flüsterasphalt: Lärmreduzierung von 3 bis 5 dB (A)),
- dichte Bepflanzung mit Gehölzen zwischen Straße und Gebäude (maximal 5 dB (A) Lärmreduzierung bei 100 m breitem Gehölz),
- nur im Außerortsbereich bzw. außerhalb einer an die Straße angebundenen Bebauung
 - Erdwall,
 - (bepflanzte) Steilwand und
 - Lärmschutzwand (für diese Formen gilt: Lärmreduzierung von 6 bis 15 dB (A)).

Daneben gibt es die generellen Möglichkeiten einer Abstandsvergrößerung zwischen geplanter Straße und Gebäude, einer Tieferlegung oder Einhausung der Straße, einer Reduktion der Höchstgeschwindigkeit auf der Straße sowie des Einbaus von Lärmschutzfenstern. Auch eine Verringerung der Verkehrsbelastung auf der Straße durch verkehrslenkende und/oder verkehrsplanerische Maßnahmen führt zu einer Lärmreduktion. Zur Ermittlung der lärmreduzierenden Wirkung z.B. einer Lärmschutzwand einer bestimmten Höhe wird in [36] ein entsprechendes Verfahren beschrieben.

Seit dem Jahre 1990 sind Kommunen verpflichtet, Lärminderungspläne aufzustellen, in denen für Wohngebiete mit hoher Lärmbelastung auf der Grundlage von Schallmissionsplänen technische, bauliche, planerische, gestalterische, verkehrliche und organisatorische Maßnahmen konzipiert und die Wirkungen dieser Maßnahmen dargestellt werden.

Darüber hinaus verpflichtet die EU-Umgebungslärmrichtlinie die zuständigen Behörden zur Lärmkartierung bestimmter Geräuschquellen und zur Aufstellung eines Lärmaktionsplanes¹⁸ [37]. Die Umgebungslärmrichtlinie legt fest, dass

- bis Mitte 2012 strategische Lärmkarten für Ballungsräume über 100 000 Einwohner, Hauptverkehrsstraßen mit jährlich über 3 Millionen Kraftfahrzeugen, Haupteisenbahnstrecken mit jährlich über 30 000 Zügen und Großflughäfen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 50 000 Bewegungen pro Jahr vorzulegen sind und

¹⁸ Die Regelungen für Lärmaktionspläne sind in Teil 3 (§§ 14a–14n) des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes (UVPG) enthalten, das im Jahre 2005 in Kraft getreten ist.

- bis zum 18.Juli 2013 die entsprechenden Lärmaktionspläne fertiggestellt sein müssen.

Die EU-Umgebungslärmrichtlinie mit dem Lärmaktionsplan steht rechtlich über dem Lärminderungsplan.

Verkehrsvorgänge, bei denen fossile Brennstoffe als Energieträger verwendet werden, verursachen Emissionen der gasförmigen Stoffe

- Kohlenmonoxid (CO),
- Schwefeldioxid (SO_2),
- Stickstoffmonoxid (NO) bzw. Stickstoffdioxid (NO_2)
- Kohlenwasserstoffe (HC) und
- Kohlendioxid (CO_2).

Daneben entstehen bei Dieselfahrzeugen Emissionen von Rußpartikeln und bei allen Fahrzeugen Emissionen sonstiger Feinstäube durch Reifen- und Straßenabrieb (staubförmige Schadstoffe). Während allerdings bei benzinbetriebenen Kraftfahrzeugen der Ausstoß von Kohlenmonoxid, Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen durch die gesetzlich vorgeschriebenen Katalysatoren in den Kraftfahrzeugen deutlich gesenkt werden konnte (und Schwefeldioxid im Verkehrssektor keine wesentliche Rolle spielt), bereiten bisher, insbesondere bei Dieselfahrzeugen, Feinstaub- und Stickstoffemissionen noch Probleme. Durch Partikelfilter in Dieselfahrzeugen¹⁹ können die Feinstaubemissionen (Rußpartikel) stark reduziert werden, zur Reduzierung der Stickoxidemissionen werden in Dieselfahrzeugen neuerer Bauart AdBlue- bzw. BlueTec-Katalysatoren (Zusatz von Harnstoff zur Nachbehandlung der Abgase) eingesetzt.

In mehreren Städten Deutschlands (und anderer EU-Länder) wurden und werden, insbesondere zur Reduktion der Feinstaubemissionen, Umweltzonen eingerichtet, in die nur noch Kraftfahrzeuge einfahren dürfen, die definierte Grenzwerte für Feinstaubemissionen nicht überschreiten. Der Sinn solcher Umweltzonen ist umstritten, weil vermutet wird, dass die erhofften Wirkungen nicht im erforderlichen Maß eintreten. Selbst wenn dies so sein sollte, haben Umweltzonen aber den positiven Effekt, dass sich die Kraftfahrzeugflotte schneller erneuert als ohne den Druck durch die Umweltzone und dadurch der Umfang der Emissionen zurückgeht. Tabelle 7.3 zeigt die derzeit gültigen bzw. künftigen Grenzwerte für die oben genannten Schadstoffe, die in der Europäischen Union formuliert und in den Ländern der EU durch Gesetz eingeführt wurden.

19 Seit dem Jahr 2008 gesetzlich vorgeschrieben.

Tabelle 7.3: Immissionsgrenzwerte der EU [Quelle: EU-Richtlinie 2008/50/EG]

Komponente	Immissions-grenzwert	Einzuhalten ab	Bemerkungen
PM_{10} (Feinstaub)	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2005	Jahresmittelwert
	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2005	Tagesmittelwert; 35 Überschreitungen pro Kalenderjahr erlaubt
$\text{PM}_{2,5}$ (Feinstaub)	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2015	Jahresmittelwert; ab 2010 Zielwert, der so weit wie möglich einzuhalten ist
	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2020	Jahresmittelwert; unter Revisionsvorbehalt im Jahr 2013
NO_2 (Stickstoffdioxid)	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2010	Jahresmittelwert
	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2010	Stundengrenzwert; 18 Überschreitungen pro Kalenderjahr erlaubt
NO_x (Stickstoffoxide)	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2001	Jahresmittelwert; Messung emissionsfern für das Schutzgut Ökosystem
SO_2 (Schwefeldioxid)	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2005	Tagesmittelwert; 3 Überschreitungen pro Kalenderjahr erlaubt
	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2005	Stundengrenzwert; 24 Überschreitungen pro Kalenderjahr erlaubt
	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2005	Jahresmittelwert und Wintermittelwert; Messung emissionsfern für das Schutzgut Ökosystem
Pb (Blei)	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2005	Jahresmittelwert
C_6H_6 (Benzol)	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2010	Jahresmittelwert
CO (Kohlenmonoxid)	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2005	8-Stundenwert

Als wesentliches Problem bleibt die Emission von Kohlendioxid, einem (außer in hoher Konzentration) nicht giftigen Gas, das – wenn auch in sehr geringen Mengen – Bestandteil der Atmosphäre ist. Der Verkehrssektor ist mit etwa 20 % an der gesamten Emission von CO_2 beteiligt, als einziger Sektor (neben den Sektoren Industrie, Kraftwerke, Haushalte, Landwirtschaft und sonstige Verbraucher) mit noch weiter zunehmenden Mengen. Durch die zunehmende Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas), durch Waldrodung (Wald „verbraucht“ CO_2) und durch Bodenverlust stieg der Anteil von Kohlendioxid in der Atmosphäre insbesondere seit Beginn der Industrialisierung deut-

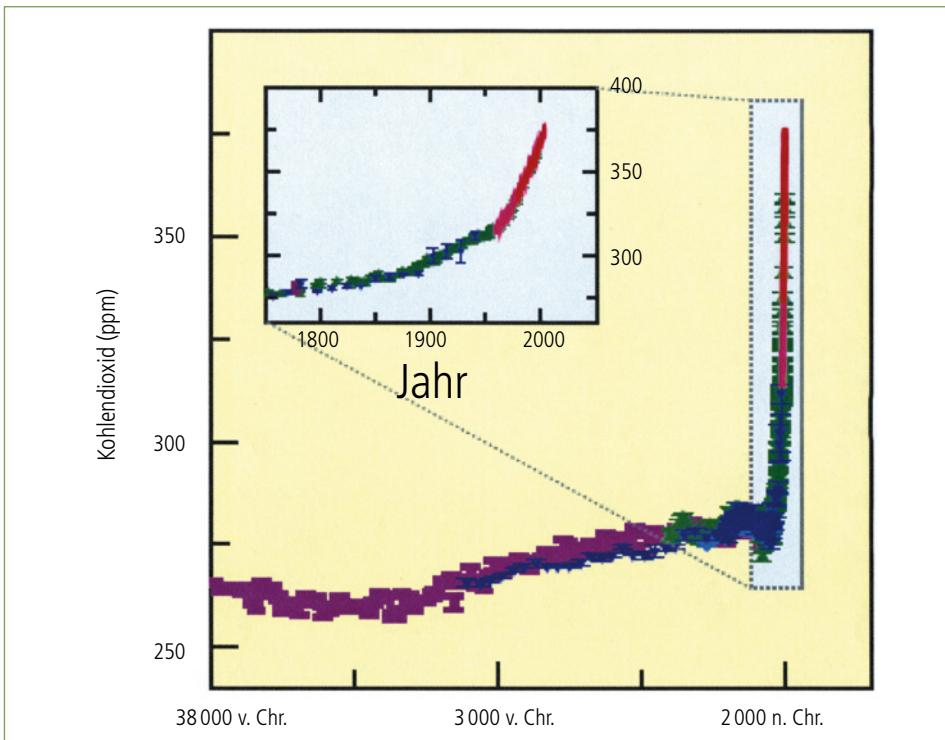


Abb. 7.3: Anteile von CO₂ in der Atmosphäre (in parts per million ppm) [Quelle: 4. Sachstandsbericht IPCC (Intergovernmental found on Climate change)]

lich an (Abb. 7.3). Dieser ansteigende CO₂-Gehalt der Luft führt in Verbindung mit einigen anderen Stoffen (insbesondere Methan (CH₄), Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW) und Ozon (O₃)) zur Bildung einer Schicht in der unteren Atmosphäre, die wie das gläserne Dach eines Treibhauses dazu führt, dass weniger Infrarotstrahlung²⁰ wieder zurück in den Weltraum reflektiert wird. Dies bedeutet, dass auf der Erdoberfläche immer mehr Wärme gespeichert wird, je höher die CO₂-Konzentration ist (Abb. 7.4).

Die Verringerung der CO₂-Emissionen im Verkehr ist somit ein wesentliches Ziel jeder stadtplanerischen, verkehrsplanerischen, verkehrstechnischen und technologischen Überlegung. Stadt- und Raumkonzepte, durch die Kraftfahrzeugverkehr vermieden werden kann (Stadt der kurzen Wege), führen zu einer Reduktion verkehrsbedingter CO₂-Emissionen. Verkehrsplanerisch kommt der Verlagerung von größeren Teilen des Pkw-Verkehrs auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel (zu Fuß gehen, Fahrrad, öffentlicher Personenverkehr) die größte

²⁰ Die UV-Strahlung der Sonne wird auf der Erde in Wärme umgewandelt und zu einem Teil als Infrarotstrahlung wieder in den Weltraum reflektiert.

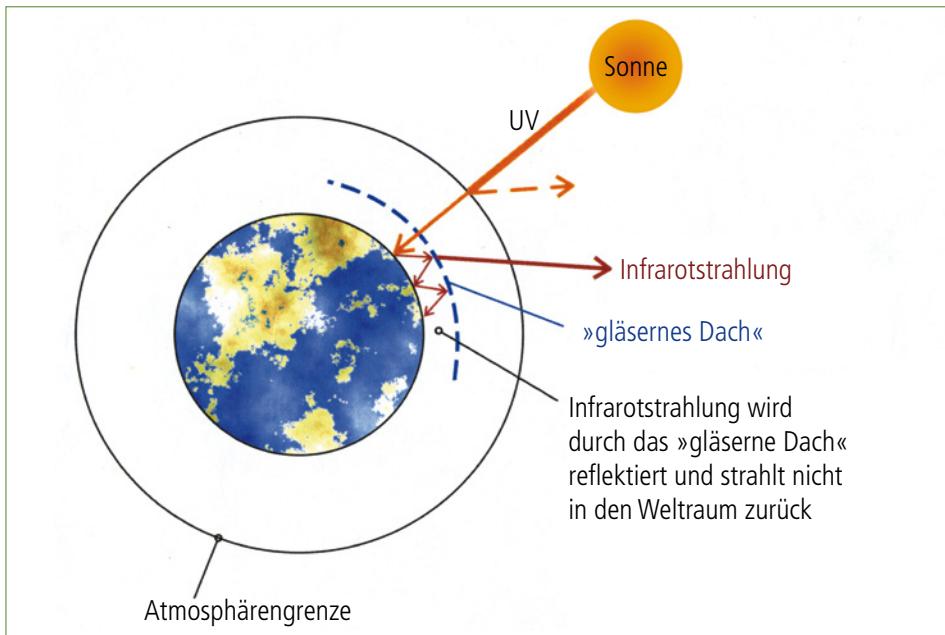


Abb. 7.4: Treibhauseffekt

Bedeutung zu. Verkehrstechnische Maßnahmen sind u. a. eine Vergleichsmäßigung des Verkehrsflusses gegebenenfalls durch Geschwindigkeitsbegrenzungen und eine Verringerung der Zahl der Fahrzeugstopps an Lichtsignalanlagen durch deren Optimierung. Ein großer Beitrag zur CO₂-Reduzierung liegt bei den Fahrzeugantrieben (optimierte konventionelle Antriebe, Hybridantriebe, Elektroantriebe, Wasserstoffantriebe).

Die Europäische Union hat als Ziel gefordert, die Emission von Treibhausgasen (an denen Kohlendioxid (CO₂) einen Anteil von rund 87 % hat) bis zum Jahre 2050 um mindestens 80 % zu senken (bezogen auf das Referenzjahr 1990). Der Verkehrssektor ist dementsprechend gefordert.

In Luftreinhalte- und Aktionsplänen werden für Kommunen (oder größere Gebiete) Maßnahmen entwickelt, um die Luftqualität so zu verbessern, dass die von der EU festgelegten Grenzwerte für Luftschadstoffe (vgl. Tabelle 7.3) eingehalten werden können. Zu solchen Maßnahmen zählt auch die Einrichtung von Umweltzonen.

Am Fall der Inbetriebnahme einer neuen U-Bahnstrecke in einem Stadtgebiet, die zu Verlagerungen von Teilen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) auf den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) führt, werden die Schritte dargestellt, die erforderlich sind, um die Wirkung dieser Maßnahme auf die CO₂-Emissionen des MIV zu quantifizieren (Wirkungsberechnung,

vgl. hierzu Abschnitt 4.2.7). Die im ÖPNV eintretenden höheren CO₂-Emissionen werden hier wegen ihres vergleichsweise geringen Umfangs vernachlässigt.

1. Definieren des Untersuchungsgebietes, in dem die Maßnahme »Neue U-Bahnstrecke« zu merkbaren Veränderungen der Verkehrsleistung im MIV führen wird, d.h. in dem Verlagerungen vom MIV auf den ÖPNV auftreten werden.
2. Zusammenstellung der Widerstandsmatrices $W_{ij}^{ÖV}$ im Untersuchungsgebiet für die Zustände vor und nach Inbetriebnahme der U-Bahn und der Widerstandsmatrices W_{ij}^{IV} im Untersuchungsgebiet (W_{ij}^{IV} ist vor und nach Inbetriebnahme der U-Bahn identisch) (vgl. Abschnitt 4.2.7).
3. Zusammenstellung der Verkehrsbeziehungsmatrix F_{ij}^{IV} im Untersuchungsgebiet für den Zustand vor Inbetriebnahme der U-Bahn (vgl. Abschnitt 4.2.7).
4. Umlegung dieser MIV-Verkehrsbeziehungsmatrix auf das Straßennetz des Untersuchungsgebietes und Berechnung der auf diesem Netz erbrachten MIV-Verkehrsleistung (Kfz-km/Jahr) (vgl. Abschnitt 4.2.4).
5. Berechnung des Umfangs der Verlagerung vom MIV auf den ÖPNV, z.B. mithilfe eines Logit-Modells und Erstellung der neuen MIV-Verkehrsbeziehungsmatrix für den Nachher-Zustand (vgl. Abschnitt 4.2.3).
6. Umlegung dieser MIV-Verkehrsbeziehungsmatrix auf das Straßennetz des Untersuchungsgebietes und Berechnung der auf diesem Netz erbrachten MIV-Verkehrsleistung (Kfz-km/Jahr).
7. Berechnung der CO₂-Emissionen pro Jahr im Untersuchungsgebiet für den Vorher- und den Nachher-Zustand mithilfe spezifischer CO₂-Emissionswerte und der MIV-Verkehrsleistungen vorher und nachher. Die Differenz ergibt die CO₂-Einsparung und zeigt die Wirkung der Maßnahme »Neue U-Bahnstrecke« auf die CO₂-Emissionen des MIV auf.

7.3 Verkehrssicherheit

Die möglichst hohe Verkehrssicherheit ist ein grundsätzliches Ziel bei der Gestaltung des Verkehrssystems (vgl. Abschnitt 7.1). Im Straßenverkehr ist dieses Ziel zwar noch nicht erreicht worden, durch eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen ist man diesem Ziel aber schon etwas näher gekommen (Abb. 7.5). Welche Maßnahmen haben im Straßenverkehr zu dieser Entwicklung beigetragen? Die folgende Auflistung stellt nur eine Auswahl solcher Maßnahmen dar.

- Maßnahmen am/im Fahrzeug:
 - Sicherheitsgurtpflicht,
 - Airbags,

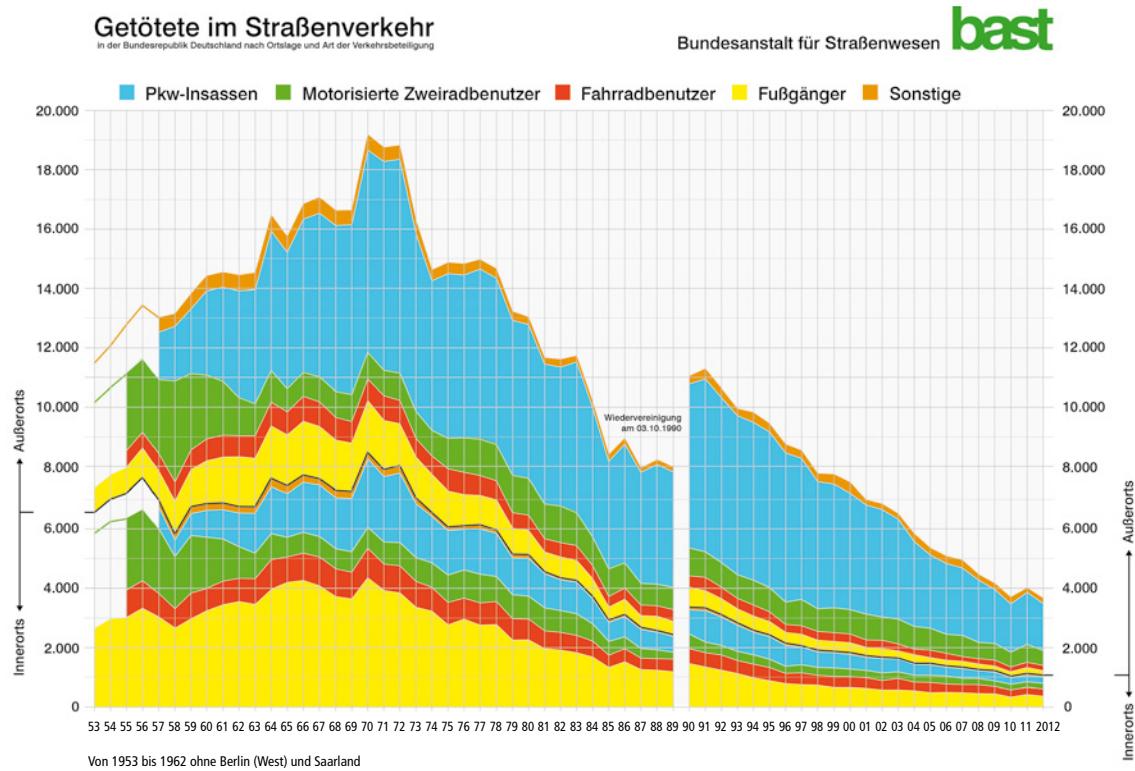


Abb. 7.5: Getötete im Straßenverkehr der Bundesrepublik Deutschland [Quelle: Bundesanstalt für Straßenwesen 2012, Bereich Unfallforschung]

- crashkompatible Fahrzeugkarosserie,
- Fahrerassistenzsysteme (ABS, ESP, ...).
- Straßenbezogene Maßnahmen:
 - sicherere Verkehrsinfrastruktur für Fußgänger und Radfahrer,
 - Einführung des Sicherheitsaudits,
 - Geschwindigkeitsbegrenzungen, insbesondere
 - Tempo 30 in Wohngebieten,
 - Tempo 100 auf Bundes- und Landesstraßen,
 - Verkehrsbeeinflussungsanlagen (verkehrsabhängige Geschwindigkeitsregelung),
 - verstärkter Einsatz von Kreisverkehren.
- Organisatorische/verhaltensbeeinflussende Maßnahmen:
 - Verkehrsüberwachung,
 - Grenzwerte für Alkohol am Steuer,
 - Verbesserung des Rettungswesens,

- Fahrerausbildung,
- Verkehrserziehung,
- Aufklärungskampagnen.

Wie die Wirkungen solcher Maßnahmen auf die Verkehrssicherheit dargestellt werden können, wird an drei Beispielen erläutert.

Beispiel Gurtpflicht

Die Einführung der Sicherheitsgurtpflicht im Jahre 1984 veränderte zwar nicht die Zahl der Unfälle, hatte aber einen großen Einfluss auf die Unfallschwere. So ging, wie Abb. 7.6 zeigt, die Zahl der getöteten Pkw-Insassen in der damaligen Bundesrepublik Deutschland um etwa 100 pro Monat zurück [38].

Beispiel Tempo 30 in Wohngebieten

Mitte der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts begann die Freie und Hansestadt Hamburg mit der Einführung von Tempo-30-Zonen in Wohngebieten. Im Jahre 1989 stellte die Baubehörde in einem Zwischenbericht erste Ergebnisse vor, die deutlich den positiven Effekt auf die Unfallschwere zeigen. So ging in den untersuchten Zonen, in denen nur wenige bauliche Maßnahmen umgesetzt wurden, die Zahl der verletzten und getöteten Menschen signifikant zurück (Abb. 7.7).

In den beiden obigen Beispielen wurden absolute Zahlen zur Beschreibung der Wirkungen von Maßnahmen verwendet. Absolute Zahlen allein sind aber nicht in allen Fällen aussagefähig genug. So könnten sich die Absolutzahlen der Verletzten im zweiten Beispiel auch allein dadurch verändert haben, dass sich z. B. die Verkehrsleistung im Pkw-Verkehr zwischen dem Vorher- und dem Nachher-Betrachtungszeitraum verringert hat (mit abnehmender Verkehrsleistung auf einem städtischen Straßenabschnitt geht auch – unter sonst gleichen Bedingungen – die Zahl der Unfälle und damit die Zahl der Verletzten zurück). Deshalb werden zusätzlich zu den Absolutwerten auch Unfallmaßzahlen zur Beschreibung der Verkehrssicherheit herangezogen. Die gebräuchlichsten Maßzahlen sind

- die Unfallrate und
- die Unfallkostenrate.

Die Unfallrate bezieht das Unfallgeschehen auf die Verkehrsleistung (in Personenkilometern oder Fahrzeugkilometern, je nachdem, ob die Unfallrate auf der Zahl der zu Schaden gekommenen Menschen oder auf der Zahl der Unfälle

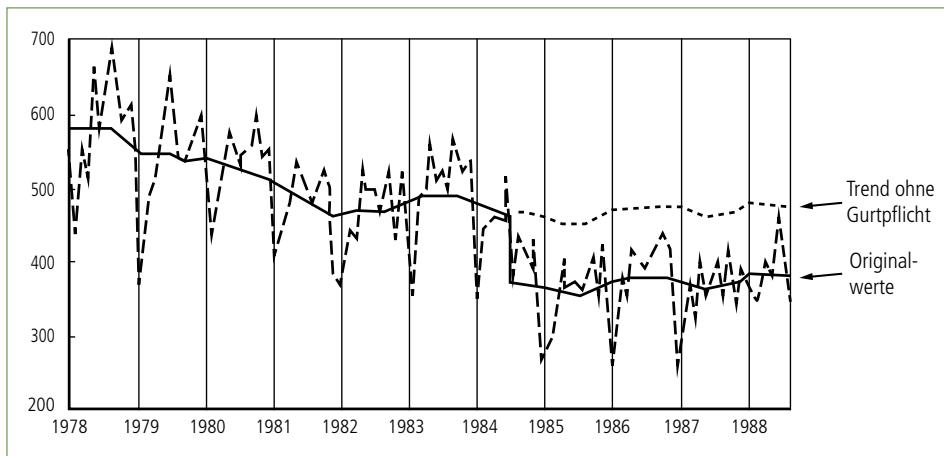


Abb. 7.6: Monatliche Anzahl getöteter Pkw-Insassen mit Berücksichtigung der Einführung der Sicherheitsgurtflicht [Quelle: [38]]

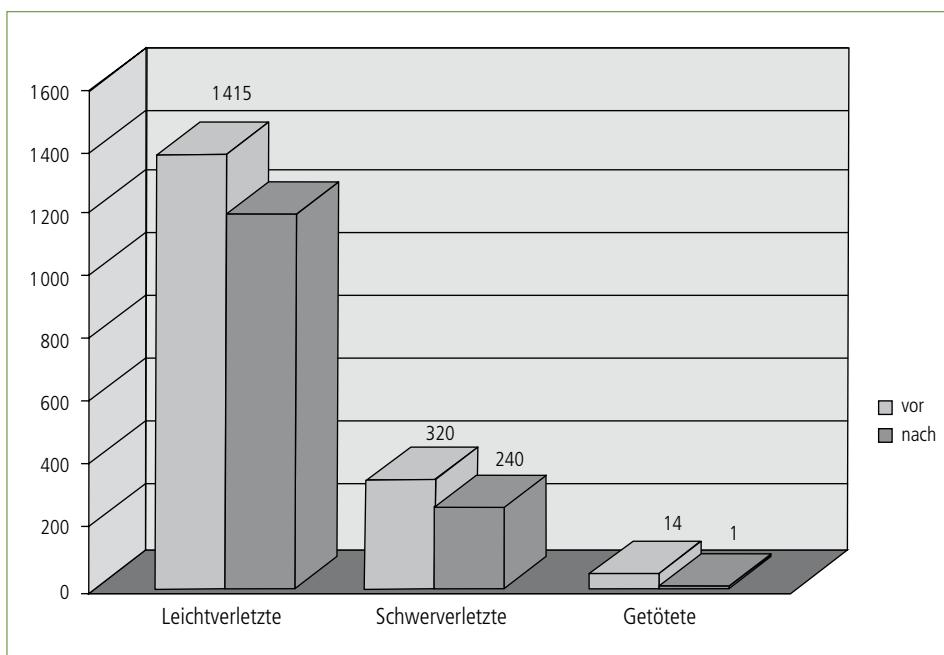


Abb. 7.7: Anzahl verletzter und getöteter Menschen VOR und NACH Einführung von Tempo 30 in Hamburg [Quelle: Baubehörde Hamburg, 1989]

beruht) mit ein. Die Unfallrate wird zumeist auf einen Zeitraum von einem Jahr bezogen und errechnet sich zu

$$U_r = \frac{U \cdot 10^6}{365 \cdot DTV \cdot L} \left[\frac{\text{Unfälle}}{1 \text{ Million Kfzkm}} \right] \quad (\text{Gleichung 7.5})$$

bzw.

$$U_r^p = \frac{V \cdot 10^6}{365 \cdot p \cdot DTV \cdot L} \left[\frac{\text{verunglückte Personen}}{1 \text{ Million Perskm}} \right] \quad (\text{Gleichung 7.6})$$

mit

U_r = Unfallrate bezogen auf die Zahl der Unfälle und auf eine Verkehrsleistung von 1 Million Kfzkm

U = Zahl der Unfälle auf einem Straßenabschnitt der Länge L [km]

DTV = durchschnittlicher täglicher Verkehr auf der Strecke L [Kfz/Tag]

U_r^p = Unfallrate bezogen auf die Zahl der verunglückten Personen und auf eine Verkehrsleistung von 1 Million Kfzkm

V = Zahl der verunglückten Personen auf einem Straßenabschnitt der Länge L [km]

p = Besetzungsgrad der Kraftfahrzeuge.

Bei der Unfallkostenrate sind die Unfallkosten der bei einer Verkehrsleistung von 100 Kfzkm auf einem Streckenabschnitt der Länge L innerhalb eines Jahres geschehenen Unfälle die Bezugsgröße. Sie errechnet sich zu

$$UK_r = \frac{100 \cdot S}{365 \cdot DTV \cdot L} \left[\frac{\text{Euro}}{100 \text{ Kfzkm}} \right] \quad (\text{Gleichung 7.7})$$

In die Kosten S gehen die Sachschäden (auch solche, die nicht an den Fahrzeugen, sondern im Umfeld des Unfalls entstanden sind) sowie die durch Verletzung und Tod entstandenen volkswirtschaftlichen Kosten ein.

Beispiel Tempo 100 auf Bundes- und Landesstraßen

Im Jahre 1972 wurde – zunächst probeweise – eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf 100 km/h für Bundes- und Landesstraßen eingeführt. In einem Großversuch wurde u.a. die Wirkung auf das Unfallgeschehen untersucht, wozu 54 Untersuchungsstrecken einbezogen wurden. In Tabelle 7.4 sind die Ergebnisse der Vorher-Nachher-Unfalluntersuchungen dargestellt, wobei vier Straßengruppen unterschieden wurden. In den beiden Erhebungszeiträumen vor Einführung von Tempo 100 liegen die Unfallraten relativ nahe beisammen. Ins-

besondere im zweiten Erhebungszeitraum nach Einführung von Tempo 100 haben die Unfallraten dagegen deutlich abgenommen. Die Begrenzung der Geschwindigkeit hatte also eindeutige positive Effekte auf die Verkehrssicherheit.

Tabelle 7.4: Unfallraten vor und nach Einführung von Tempo 100 auf Bundes- und Landesstraßen
[Quelle: Projektgruppe Tempo100, Bundesanstalt für Straßenwesen, 1975]

Straßen- gruppen	Unfallraten U_i [$\frac{\text{Unfälle}}{10^6 \text{Kfzkm}}$]			
	1970/71 V1	1971/72 V2	1972/73 N1	1973/74 N2
1	1,54	1,56	1,43	1,21
2	2,26	2,40	2,25	1,50
3	1,58	1,71	1,63	1,43
4	1,67	1,88	1,92	1,61

Straßengruppe 1 stark belastet, zügig ausgebaut; **Straßengruppe 2** stark belastet, weniger zügig; **Straßengruppe 3** schwach belastet, zügig ausgebaut; **Straßengruppe 4** schwach belastet, weniger zügig

7.4 Erreichbarkeit

Die Mobilitätsbedürfnisse der Menschen können nur dann erfüllt werden, wenn die Orte, an denen die Menschen ihren Aktivitäten nachgehen, innerhalb einer zumutbaren Zeit erreichbar sind. Um solche Zeiten, innerhalb derer ein Zielort von einem Quellort aus erreichbar sein soll, darzustellen, werden Isochronen verwendet, also Linien, auf denen jeder Punkt von einem Bezugspunkt (Quellort) aus mit demselben Zeitaufwand erreicht werden kann (siehe das folgende Beispiel).

Bezogen auf die Anfangshaltestelle i (Quellort) einer Buslinie soll aufgezeigt werden, welche Zielorte innerhalb von 10 Minuten von i aus erreichbar sind, d.h. es soll die auf i bezogene 10-Minuten-Isochrone ermittelt werden. Folgende Daten werden zugrunde gelegt:

Busgeschwindigkeit $V_B = 18 \text{ km/h} = 5 \text{ m/s}^*$
Fußgängergeschwindigkeit $V_F = 1,2 \text{ m/s}$
Haltestellenabstand $h = 500 \text{ m}$
Haltestellenaufenthaltszeit $t_H = 20 \text{ s}$.

Fortsetzung auf S. 120 ➔

Das Ergebnis ist in Abb. 7.8 dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass von der Anfangshaltestelle i aus die 10-Minuten-Isochrone (Grenzlinie) mittels eines Fußweges (nicht mittels einer Busfahrt) erreicht wird, für den 10 Minuten (=600 Sekunden) benötigt und 720 Meter zurückgelegt werden (Geschwindigkeit = Weg/Zeit).

Die Haltestelle 1 wird von i aus mit dem Bus in 100 Sekunden erreicht. Somit bleiben für den Fußweg von der Haltestelle 1 bis zu der Grenzlinie, an der insgesamt 10 Minuten (=600 Sekunden) verstrichen sind, noch 500 Sekunden. In dieser Zeit legt der Fußgänger einen Weg von 600 Metern zurück.

Die Haltestelle 2 wird von i aus mit dem Bus in 220 Sekunden erreicht (einschließlich 20 Sekunden Aufenthaltszeit an der Haltestelle 1). Es bleiben für den restlichen Fußweg bis zur Grenzlinie noch 350 Sekunden übrig, in denen 456 Meter zurückgelegt werden. Entsprechend bleiben an der Haltestelle 3 für den Fußweg noch 260 Sekunden übrig, was einer Länge von 312 Metern entspricht.

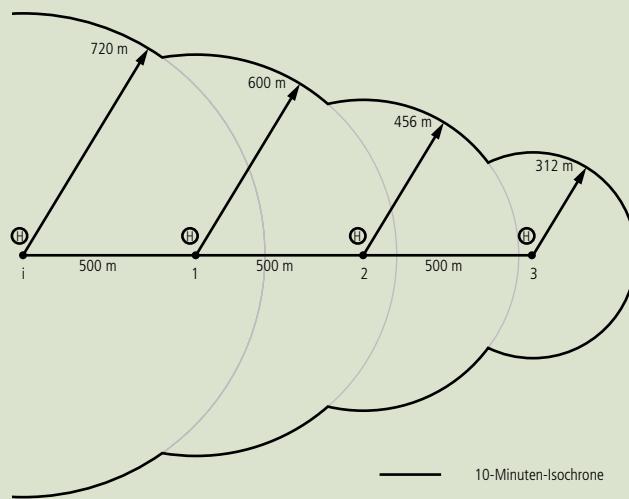


Abb. 7.8: 10-Minuten-Isochrone einer Buslinie, bezogen auf die Anfangshaltestelle i

Die 10-Minuten-Isochrone ergibt sich als Einhüllende der einzelnen Kreise. Jeder Ort innerhalb dieser Einhüllenden kann von i aus in weniger als 10 Minuten erreicht werden, jeder Ort auf der Einhüllenden in exakt 10 Minuten.

* Die Zeiten für Verzögern des Busses vor und Beschleunigungen des Busses hinter der Haltestelle sind in diesem Wert enthalten.

Neben der Zeit (Reisezeit), innerhalb der von einem Quellort aus ein Zielort (oder mehrere Zielorte) mit einem Verkehrsmittel (zu Fuß, Rad, Bus, Bahn, Straßenbahn, Pkw) im Nah- und Regionalverkehr (bis 100 km Wegelänge) bzw. mit Flugzeug, Eisenbahn und Pkw im Fernverkehr (über 100 km Wegelänge) erreichbar ist, spielt auch die Anzahl an Aktivitätsglegenheiten, die in dem Zielort (den Zielorten) vorhanden sind, für die Definition der Erreichbarkeit eine wesentliche Rolle. Demnach ist Erreichbarkeit also nicht nur eine Funktion der Reisezeit mit einem Verkehrsmittel x zwischen einem Quellort i und einem Zielort j , sondern auch eine Funktion der Gelegenheiten (bezogen auf einen bestimmten Fahrtzweck oder generell²¹) in einem Zielort j . Dabei umfasst die Reisezeit alle Zeitanteile eines Gesamtweges (Zu- und Abgangszeit, Startwartzeit, Parksuchzeit, Umsteigezeit, Beförderungszeit, je nach Verkehrsmittel). Es gilt somit allgemein [39]

$$ER_i^x = \sum_j f_1(G_j) \cdot f_2(t_{ij}^x) \quad (\text{Gleichung 7.8})$$

mit

ER_i = Erreichbarkeit von einem Quellort i aus

G_j = Gelegenheit am Zielort j

t_{ij} = Reisezeit in Minuten zwischen i und j

x = Verkehrsmittel

Die Lagegunst einer Raumeinheit oder eines Standortes ist umso besser, je mehr Gelegenheiten in j vorhanden sind und je kürzer die Reisezeit zwischen i und j ist²². Werden mehrere Zielorte j in die Betrachtung einbezogen, findet die auf den Mittelwert der Anzahl der Gelegenheiten in allen betrachteten Zielorten j bezogene Größe g_j Verwendung

$$g_j = \frac{G_j}{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k G_j} \quad (\text{Gleichung 7.9})$$

g_j = relative Zahl an Gelegenheiten in j

k = Anzahl der betrachteten Relationen ij

21 Gelegenheiten, die auf einen bestimmten Fahrtzweck bezogen sind, können z. B. sein

- Zahl der Arbeitsplätze (Fahrtzweck: Arbeit),
- Größe (m^2) der Einkaufsgelegenheiten (Fahrtzweck: Einkaufen),
- Zahl der Ärzte (Fahrtzweck: Arztbesuch).

Generelle, nicht auf einen bestimmten Fahrtzweck ausgerichtete Gelegenheiten können z. B. über die Zahl der Einwohner beschrieben werden.

22 Sinngemäß gilt diese Definition auch für den Güterverkehr. Dann ist der Ausgangsort i z. B. der Produktionsort einer Ware und die Zielorte j sind deren Absatzmärkte.

Damit wird der Grad der Ausstattung eines Ortes im Vergleich zu den anderen Zielorten berücksichtigt. Allerdings muss auch die absolute Anzahl an Gelegenheiten in die Betrachtung einfließen. Dies geschieht durch die zusätzliche Angabe der Gesamtzahl an Gelegenheiten in allen Zielorten j,

Die Reisezeit ist abhängig von der Art des betrachteten Verkehrsmittels und von dessen Angebotsqualität. Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln (ÖV) spielt neben der Reisezeit selbst auch die Zahl der (pro Tag) angebotenen Fahrten eine Rolle (je weniger Fahrten pro Tag angeboten werden, desto geringer ist die Nutzung des ÖV). Dies kann über einen Zuschlagfaktor a_{ij} zur Reisezeit in der Berechnung berücksichtigt werden²³. Die Erreichbarkeit von k Zielorten j vom Ausgangsort i aus mit dem Verkehrsmittel x errechnet sich somit zu

$$ER_i^x = \sum_{j=1}^k \frac{g_j}{a_{ij} \cdot t_{ij}^x} \left(\frac{1}{\min} \right) \quad (\text{Gleichung 7.10})$$

Neben der quellortbezogenen Betrachtungsweise (wie gut ist von einem Ausgangsort i aus die Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen an einem Zielort j mit dem Verkehrsmittel x) gibt es auch die zielorientierte Betrachtungsweise (wie gut ist für Zulieferer an den Quellorten i eine Fabrik am Zielort j mit dem Verkehrsmittel x erreichbar). Sie wird in gleicher Weise behandelt, nur weisen i und j gerade eine umgekehrte Bedeutung auf.

Gleichung 7.10 bezieht sich auf ein bestimmtes Verkehrsmittel x. Die Qualität der Erreichbarkeit eines Zielortes j von einem Quellort i aus sollte aber nicht nur auf der Basis eines einzelnen Verkehrsmittels beurteilt werden. Vielmehr ist davon auszugehen, dass nicht jeder potenzielle Verkehrsteilnehmer z.B. über einen Pkw verfügt. Für eine solche Person ist ein Ort j mit schlechter ÖV-Anbindung nur sehr schwer erreichbar (auch wenn die Pkw-Erreichbarkeit gut ist). Neben der Möglichkeit, die Qualität der Erreichbarkeit für jedes der zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel getrennt zu bewerten, kann eine Beurteilung der Qualität der Erreichbarkeit von Zielorten j auch auf alle das Verkehrssystem bildenden Verkehrsmittel gemeinsam, auf jeden Fall aber auf mindestens zwei Verkehrsmittel (in der Regel ein individuelles und ein öffentliches Verkehrs-

23 Der Zuschlagfaktor a könnte z.B. wie folgt festgesetzt werden, was allerdings empirisch nicht abgesichert ist:

Anzahl Fahrten/h	$a_{ÖPNV}$	$a_{ÖV}$
≥12	1,0	1,0
≥6	1,2	1,0
≥4	1,4	1,0
≥2	1,6	1,2
≥1	1,8	1,4
<1	2,0	1,6

($a_{ÖPNV}$ gilt für den Personenverkehr, $a_{ÖV}$ für den Fernverkehr)

mittel) bezogen werden (Gesamterreichbarkeit). Zur Beschreibung der Qualität der Erreichbarkeit eines Ortes werden somit folgende Größen benötigt:

- der Quotient V aus der Reisezeit mit dem zweitschnellsten Verkehrsmittel ($x = \min + 1$) zu der Reisezeit mit dem schnellsten Verkehrsmittel ($x = \min$) auf einer Relation ij

$$V = t_{ij}^{\min+1} / t_{ij}^{\min}$$

(je näher das Reisezeitverhältnis an den Wert ‚1‘ heranrückt, desto ähnlicher sind die Reisezeiten der beiden Verkehrsmittel. Die Erreichbarkeit eines Ortes wird auch erst dann als gut bezeichnet, wenn beide Verkehrsmittelalternativen ähnliche Reisezeiten aufweisen),

- die absolute Reisezeit und
- die absolute (G_j) und relative (g_j) Zahl an Gelegenheiten.

Durch die Einbeziehung von mindestens zwei Verkehrsmitteln in die Erreichbarkeitsbetrachtung wird berücksichtigt, dass nicht jeder Verkehrsteilnehmer über alle Verkehrsmittel verfügt, mit denen ein Ort j von einem Ort i aus erreichbar ist und dass die Gesamterreichbarkeit eines Ortes schlechter zu beurteilen ist, wenn nur ein Verkehrsmittel eine gute Erreichbarkeit gewährleistet, das zweite jedoch nicht [40].

8 Verfahren zur Entscheidungsfindung

8.1 Beurteilung, Abwägung und Auswahl

Mit Verfahren zur Entscheidungsfindung im Verkehrswesen als einem wichtigen Element des Verkehrsplanungsprozesses (Abb. 2.4) soll eine fachliche Antwort auf die Frage gegeben werden, ob die Realisierung einer verkehrlichen Einzelmaßnahme oder eines Maßnahmenbündels im Hinblick auf ein gegebenes Zielsystem zulässig und vorteilhaft ist oder welche Maßnahme unter verschiedenen Maßnahmen die vorteilhafteste ist²⁴.

Verfahren zur Entscheidungsfindung bestehen aus einem Beurteilungs-, Abwägungs- und Auswahlprozess. Gegenstand der Maßnahmenbeurteilung sind die Maßnahmenwirkungen (vgl. hierzu Kapitel 7). Maßnahmenwirkungen können erwünscht sein (z. B. Verkehrslärmreduzierung), als unvermeidlich (zumindest bis zu einer bestimmten Schwelle) angesehen werden (z. B. Baukosten) oder unerwünscht sein (z. B. Verkehrslärmerhöhung). Maßstäbe zur Beurteilung sind Referenzwerte, Richtwerte, Prüfwerte und Grenzwerte.

Im Abwägungsprozess werden die vorteilhaften und nachteiligen Wirkungen der Maßnahmen oder der Maßnahmenbündel gegenübergestellt und die Belange der Begünstigten und der Benachteiligten abgewogen. Eine Abwägung muss grundsätzlich stattfinden, und dabei sind alle relevanten Sachverhalte zu berücksichtigen (ganzheitliche Abwägung). Im Auswahlprozess wird auf der Grundlage der vorausgegangenen Beurteilung und Abwägung eine Lösung ausgewählt, bei der entweder die Vorteile die Nachteile insgesamt überwiegen (Kaldorkriterium) oder bei der mindestens ein Betroffener besser und kein Betroffener schlechter gestellt wird als ohne Maßnahme (Paretokriterium). Der Abwägungs- und Auswahlprozess besteht in der Regel aus mehr oder weniger formalisierten Verfahrensabläufen und stellt das eigentliche Bewertungsverfahren dar [41].

²⁴ Entscheidungen werden zwar letztlich von politischen Gremien getroffen, müssen aber fachlich vorbereitet werden.

Die Verfahren zur Entscheidungsfindung werden im Verkehrswesen deshalb unterteilt in

- nichtformalisierte Verfahren,
- teilformalisierte Verfahren und
- formalisierte Verfahren.

Verfahren zur Entscheidungsfindung werden im Verkehrswesen eingesetzt zur Beurteilung, Abwägung und Auswahl von

- Maßnahmen der Europäischen Union, des Bundes, eines Bundeslandes, einer Region oder einer kommunalen Gebietskörperschaft und
 - langfristigen, mittelfristigen und kurzfristigen Maßnahmen,
- wobei dafür alle in Abschnitt 7.1 aufgeführten Maßnahmengruppen in Betracht kommen. Die Verfahren sollen folgenden Anforderungen genügen:
- Konsistenz und Fehlerfreiheit,
 - Transparenz, Kontrollierbarkeit, Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit.

Die Verfahren können eingesetzt werden, um

- einen Vergleich der Wirkungen einer Maßnahme (eines Maßnahmenbündels) mit dem Ist-Zustand,
 - einen Vergleich der Wirkungen einer Maßnahme (eines Maßnahmenbündels) mit absoluten Anforderungen (z. B. Grenzwerten, die nicht überschritten werden dürfen),
 - Vergleiche der Wirkungen verschiedener Maßnahmen (Maßnahmenbündel) oder
 - Kombinationen davon
- durchzuführen.

Für die Anwendung eines Verfahrens zur Entscheidungsfindung ist es erforderlich, den Wirkungsraum zu definieren. Der Wirkungsraum beschreibt die räumliche Reichweite der Wirkungen einer Maßnahme (eines Maßnahmenbündels). Entsprechend ist auch der Wirkungshorizont einer Maßnahme zu definieren, der die zeitliche Wirkungsweite einschließlich möglicher Langfristwirkungen beschreibt.

8.2 Zielsystem

Für die Anwendung der meisten Einzelverfahren, die zu den am Ende des Abschnitts 8.1 aufgeführten drei Verfahrensgruppen gehören, ist die Aufstellung eines Zielsystems erforderlich, denn verkehrliche Maßnahmen werden realisiert, um damit bestimmte Ziele möglichst gut erreichen zu können. Erst auf-

grund der Formulierung von Zielen können nämlich die Wirkungen verkehrlicher Maßnahmen oder Maßnahmenbündel abgewogen und beurteilt werden. Deshalb muss sich die Verkehrsplanung an Zielen orientieren (vgl. dazu auch Abb. 2.4). Ein Zielsystem ist auch erforderlich, um eine Reihenfolge verschiedener konkurrierender Maßnahmen (Alternativen²⁵) festlegen zu können (je besser die Zielerreichung einer Alternative ist, desto höher ist die Position dieser Alternative in der Reihenfolge).

Ein Zielsystem kann hierarchisch aufgebaut sein und besteht dann zumindest aus einer Ebene von Oberzielen und einer darunter angesiedelten Ebene von Unterzielen. Oberziele für städtische/regionale Verkehrsplanungen können aus den im Abschnitt 7.1 genannten Wirkungsfeldern z.B. wie folgt abgeleitet werden:

- Verbesserung der Erreichbarkeit aller relevanten Standorte,
- Verringerung der negativen Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt,
- Erhöhung der Verkehrssicherheit,
- Unterstützung der Ziele des Städtebaus und der Raumplanung,
- Steigerung der Wirtschaftskraft und
- Minimierung der Kosten.

Die hieraus wiederum abgeleiteten Unterziele, mit denen die Oberziele konkretisiert werden, müssen eine ganzheitliche Abwägung gewährleisten, was bedeutet, dass alle entscheidungsrelevanten Aspekte im Zielsystem auch berücksichtigt werden. Außerdem müssen die Ziele für alle Alternativen eine Gültigkeit aufweisen. Ziele können untereinander in Konkurrenz stehen, wenn die Erreichung eines Ziels durch die Verfolgung eines anderen Ziels beeinträchtigt wird (Beispiel: Das Ziel »Minimierung des Energieverbrauchs im Kraftfahrzeugverkehr auf der Relation R« steht in Konkurrenz zum Ziel »Minimierung der Reisezeiten im Kraftfahrzeugverkehr auf der Relation R«). Bei der Erstellung eines Zielsystems ist es aber nicht immer zu vermeiden, dass einzelne Ziele sich widersprechen. Vermieden werden muss aber auf jeden Fall, dass ein Ziel in einem anderen Ziel implizit enthalten ist, weil dieses Ziel dann ein doppeltes Gewicht bekäme (Beispiel: Das Ziel »Verringerung des durchschnittlichen Flottenverbrauchs im Pkw-Verkehr« ist in dem Ziel »Minimierung der Energieverbrauchs im Kraftfahrzeugverkehr« schon enthalten).

Die Unterziele werden mithilfe von Zielkriterien beschrieben. Die gemessenen Eigenschaften und Folgen einer verkehrlichen Alternative sind die quanti-

²⁵ Alternativen sind Lösungsmöglichkeiten mit grundsätzlich unterschiedlichen Lösungswegen, Varianten stellen für eine Alternative leicht voneinander abweichende Lösungen dar (Beispiel: Eine Ortsumgehung kann nördlich oder südlich an der Gemeinde vorbeigeführt werden. Dies sind zwei Alternativen. Die nördliche Ortsumgehung beinhaltet eine Einmündung, die entweder mit einer Lichtsignalanlage oder mit Vorfahrtszeichen geregelt werden soll. Das sind zwei Varianten).

tativ, qualitativ oder in Form einer Abschätzung dargestellten Ausprägungen dieser Kriterien, wobei drei Arten von Darstellungsskalen unterschieden werden:

- Nominalskala, die eine Einordnung von Maßnahmenwirkungen in bezeichnungsmäßig, aber nicht zahlenmäßig definierte Klassen erlaubt (z. B. niedrig),
- Ordinalskala, die die Bildung einer Rangordnung von Maßnahmen durch eine Klasseneinteilung erlaubt (z. B. Altersklassen, wobei das genaue Alter von Befragten nicht bekannt sein muss),
- Kardinalskala, die über die Bildung einer Rangordnung hinaus die Bildung einer exakten Reihenfolge erlaubt.

Die Unterziele müssen für die verschiedenen Alternativen unterschiedliche Ausprägungen der Zielkriterien erwarten lassen. Zielkriterien können auch in Form von Standards bzw. Grenzwerten formuliert werden (siehe z. B. Tabelle 7.3). In Tabelle 8.1 sind für das Oberziel »Verringerung der negativen Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt« die wesentlichen Unterziele und deren Zielkriterien zusammengestellt. Dabei beziehen sich die Zielkriterien auf ein definiertes Untersuchungsgebiet (z. B. eine Stadt).

Tabelle 8.1: Beispiel eines Zielsystems für ein Oberziel

Oberziel	Unterziel	Zielkriterien
■ Verringerung der negativen Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt	■ Verringerung des Flächenverbrauchs für Verkehrsanlagen	ha Verkehrsfäche
	■ Verringerung der Lärmimmissionen durch Verkehr	Anzahl betroffener Einwohner über den Grenzwerten in Tabelle 7.3
	■ Verringerung der gasförmigen Schadstoffemissionen (Beispiel NO ₂) durch Verkehr	Anzahl der Tage mit >200 µg NO ₂ /m ³ Luft im Kalenderjahr (Tabelle 7.3)
	■ Verringerung der CO ₂ -Emissionen durch Verkehr	Verhältnis der CO ₂ -Emissionen 2030 zu denen in 2010
	■ Verringerung der Feinstaubemissionen durch Verkehr	Anzahl der Tage mit >50 µg Feinstaub (PM ₁₀)/m ³ Luft im Kalenderjahr (Tabelle 7.3)

8.3 Nichtformalisierte Bewertungsverfahren

Nichtformalisierte Verfahren weisen keinen vorgegebenen Verfahrensablauf auf. Sie werden im Wesentlichen eingesetzt, um aus einer größeren Zahl alternativer Maßnahmen diejenigen in einer Vorauswahl auszusuchen, die unzulässig oder eindeutig unvorteilhaft sind. Die Wirkungsbeschreibungen beruhen häufig nicht auf quantitativen Aussagen, sondern auf verbal-argumentativen Einschätzungen [41]. So ist die verbal-argumentative Beurteilung einer Dissertation durch mehrere Hochschullehrer, ggf. auf der Basis eines von jedem Hochschullehrer aufgestellten Zielsystems, ein Beispiel für ein nichtformalisiertes Verfahren (Verfahren der Expertenurteile).

8.4 Teilformalisierte Bewertungsverfahren

Der Übergang von den nichtformalisierten Verfahren zu den teilformalisierten Verfahren ist fließend. Der Grad der Formalisierung nimmt insbesondere hinsichtlich der Ermittlung der Wirkungen und der vorgegebenen Verfahrensschritte zu. Zu den teilformalisierten Verfahren gehören u. a.:

- Verfahren der Vorteil-Nachteil-Darstellungen,
- Rangordnungsverfahren,
- Verfahren der multikriteriellen Wirkungsanalyse,
- Verfahren der Verträglichkeitsanalyse,
- Eliminationsverfahren,
- Formalisiertes Abwägungs- und Rangordnungsverfahren.

Das Verfahren der Vorteil-Nachteil-Darstellungen zeigt z. B. mithilfe von Plus- und Minuszeichen vorteilhafte (erwünschte) bzw. nachteilige (nicht erwünschte) Wirkungen von verkehrlichen Maßnahmen auf. Dabei kann das Problem einer Aufrechnung von erwünschten und nicht erwünschten Wirkungen entstehen (z. B. Lärmreduktion versus hohe Investitionskosten). Deshalb wird dieses Verfahren eher als Argumentationshilfe als ein eigenständiges Entscheidungsverfahren herangezogen.

Beim Rangordnungsverfahren werden die zu bewertenden Alternativen (Maßnahmen) in Bezug auf ihre Vorteilhaftigkeit in eine Rangfolge gebracht. Auch hier tritt u. U. das Problem einer Aufrechnung von erwünschten und nicht erwünschten Wirkungen auf. Auch dieses Verfahren wird in der Regel nicht als eigenständiges Entscheidungsverfahren verwendet.

Eine Weiterentwicklung des Rangordnungsverfahrens ist das Verfahren der multikriteriellen Wirkungsanalyse, das darauf abzielt, den Wert verkehrlicher Maßnahmen durch eine anschauliche Darstellung der Wirkungen zu verdeut-

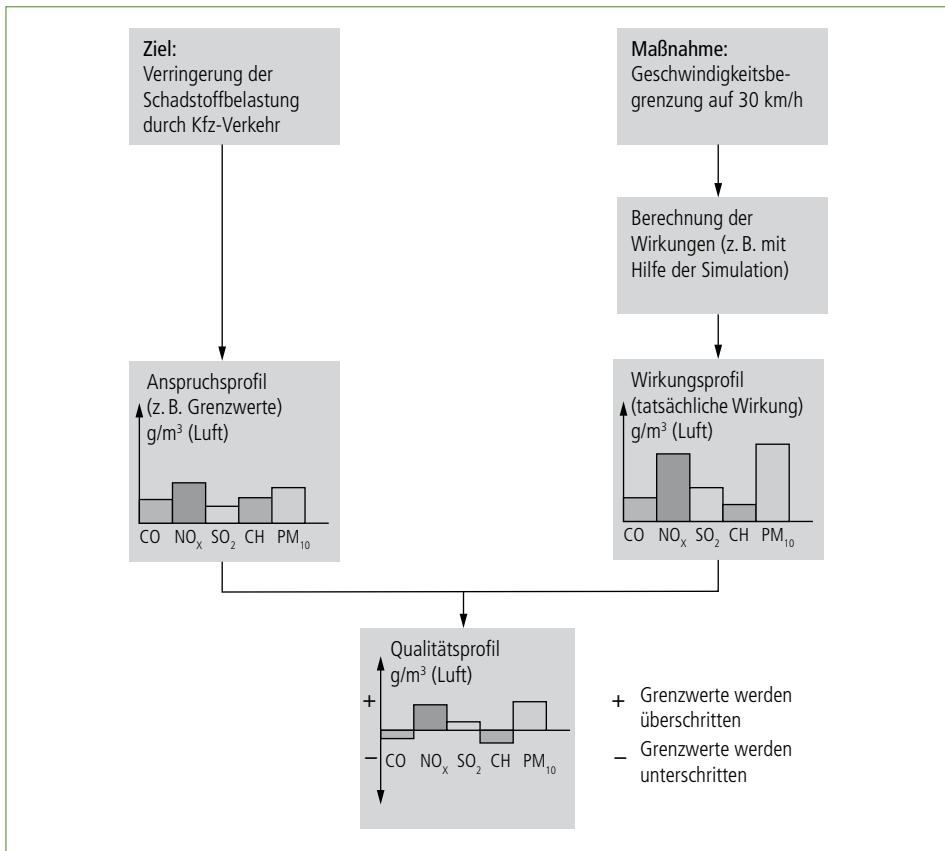


Abb. 8.1: Beispiel für eine eindimensionale multikriterielle Wirkungsanalyse

lichen. Dabei spielen der Vergleich zwischen Zielsetzungen (Anspruchsprofil) und Wirkungen der Maßnahmen (Wirkungsprofil) und die Ergebnisdarstellung als vergleichende Gegenüberstellung (Qualitätsprofil) die entscheidende Rolle.

In Abb. 8.1 ist die prinzipielle Verfahrensweise anhand eines eindimensionalen Beispiels (nur ein Ziel, nur eine Maßnahme) dargestellt, in dem der Untersuchungsgegenstand das Straßennetz eines Stadtteils ist. Die Regel sind aber mehrdimensionale Anwendungen mit mehreren Zielen und mindestens zwei Alternativen und entsprechend vielen Wirkungsprofilen (Abb. 8.2).

Die Verträglichkeitsanalyse verläuft nach einem ähnlichen Muster wie die multikriterielle Wirkungsanalyse mit dem Unterschied, dass in das Anforderungsprofil nur vorgegebene bzw. festgelegte Standards (insbesondere Grenzwerte) aufgenommen werden. Ähnliches gilt auch für das Eliminationsverfahren, das mit der schrittweisen Verschärfung von Standards eine Verengung des Lösungsraumes in Frage kommender Alternativen bewirkt [41].

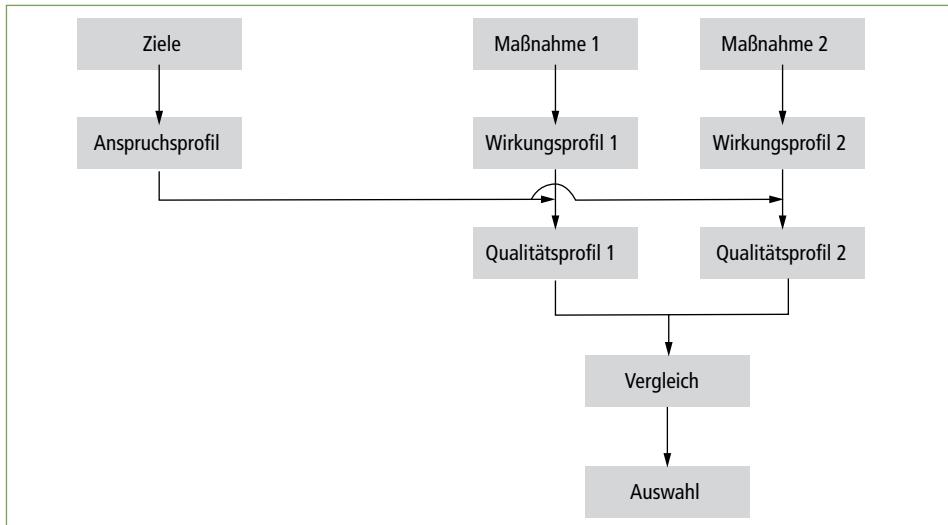


Abb. 8.2: Ablauf einer mehrdimensionalen Wirkungsanalyse

In dem Formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahren (FAR) spielt die Abwägung und Festlegung einer Rangordnung der verschiedenen Alternativen die wesentliche Rolle. Dieses Verfahren weist schon relativ starke formalisierte Elemente auf und steht somit auf der Grenze zwischen teilformalisierten und formalisierten Bewertungsverfahren.

Bei der Abwägung unterschiedlicher verkehrlicher Maßnahmen werden die damit erzeugten erwünschten und nicht erwünschten Wirkungen jeder Alternative in paarweisen Vergleichen untereinander abgewogen. Bei mehr als zwei Alternativen müssen also jeweils zwei Alternativen untereinander verglichen werden, was bei n Alternativen zu insgesamt $n \cdot (n-1)/2$ Abwägungsvorgängen führt²⁶. Der Abwägungsaufwand ist dementsprechend hoch [42]. Das Verfahren wird an einem einfachen Beispiel erläutert [43].

1. Schritt:

Darstellung der zu bewertenden Alternativen einer Ortsumfahrung A1 bis A3*

2. Schritt:

Festlegung der Ziele und der Zielkriterien

- Minimierung des Flächenbedarfs; Flächenbedarf [ha]
- Hohe landschaftliche Einbindungsfähigkeit; landschaftliche Einbindung [-]
- Hohe städtebauliche Entwicklungschancen; städtebauliche Entwicklungschancen [-]

²⁶ Eine Alternative wird nicht mit sich selbst verglichen und der Vergleich ist richtungsneutral, was bedeutet, dass es egal ist, ob A1 mit A2 oder A2 mit A1 verglichen wird.

3. Schritt:
Erstellung der Datentabelle in Matrixform (Tabelle 8.2)

Tabelle 8.2: Datentabelle des Beispiels

Zielkriterium	Alternativen		
	A1	A2	A3
Flächenbedarf [ha]	15	25	17
Landschaftliche Einbindung	gut	schlecht	mittel
Städtebauliche Entwicklungschancen	nein	nein	ja

4. Schritt:
Durchführung der paarweisen Vergleiche (mit n = 3 Alternativen ergeben sich drei paarweise Abwägungsvorgänge), d.h. es ist zu fragen

1. Ist A1 besser als A2?
2. Ist A2 besser als A3?
3. Ist A1 besser als A3?

Zur 1. Frage: Ist A1 besser als A2?

Zielkriterium	Alternativen		Antwort
	A1	A2	
Flächenbedarf [ha]	15	25	Vorteil A1
Landschaftliche Einbindung	gut	schlecht	Vorteil A1
Städtebauliche Entwicklungschancen	nein	nein	gleich

A1 ist besser als A2.

Zur 2. Frage: Ist A2 besser als A3?

Zielkriterium	Alternativen		Antwort
	A2	A3	
Flächenbedarf [ha]	25	17	Vorteil A3
Landschaftliche Einbindung	schlecht	mittel	Vorteil A3
Städtebauliche Entwicklungschancen	nein	ja	Vorteil A3

A3 ist besser als A2.

Fortsetzung auf S. 132 ➔

Zur 3. Frage: Ist A1 besser als A3?

Zielkriterium	Alternativen		Antwort
	A1	A3	
Flächenbedarf [ha]	15	17	Vorteil A1
Landschaftliche Einbindung	gut	mittel	Vorteil A1
Städtebauliche Entwicklungschancen	nein	ja	Vorteil A3

A1 ist besser als A3.

5. Schritt:

Ergebnis und Rangfolge:

Die Alternative A1 weist die meisten Vorteile auf, gefolgt von A3. A2 ist die Alternative mit den geringsten Vorteilen.

* Eine der Alternativen kann der Ohne-Fall sein, d.h. der vorhandene Zustand ohne Ortsumfahrung

Bei diesem Verfahren können nominale, ordinale und kardinale Skalen verwendet werden. Allerdings werden (nicht vergleichbare) Wirkungen gegeneinander aufgerechnet.

8.5 Formalisierte Bewertungsverfahren

Die Gruppe der formalisierten Verfahren weist aufgrund des formalen Aufbaus eine hohe Transparenz, d.h. Nachvollziehbarkeit auf. Diese Verfahren führen allerdings in ihren Ergebnissen zu sogenannten Einwertaussagen, d.h. Vorteile werden mit Nachteilen gegeneinander verrechnet (weshalb die original skalierten Werte der Zielkriterien zumeist ergänzend ausgewiesen werden [41]). Die im Verkehrswesen zur Anwendung kommenden formalisierten Bewertungsverfahren bauen auf einem der drei Grundtypen

- Nutzen-Kosten-Analyse (NKA),
- Nutzwertanalyse (NWA) und
- Wirksamkeits-Kosten-Analyse (WKA)

auf. Alle drei Typen beziehen Wirkungen auf das Verkehrssystem (einschl. Verkehrsteilnehmer), auf die Umwelt, auf den Lebensraum und das soziale Umfeld, auf die Wirtschaft und auf Maßnahmekosten ein. Im Unterschied zu betriebswirtschaftlichen Wirtschaftlichkeitsrechnungen werden bei diesen Verfahren z.B. Wirkungen auf den Lebensraum und das soziale Umfeld auch be-

rücksichtigt. Alle drei Verfahren beruhen im Übrigen auf dem Kaldor-Kriterium (vgl. Abschnitt 8.1).

8.5.1 Nutzen-Kosten-Analyse

Eine Maßnahme ist dann grundsätzlich geeignet, wenn der volkswirtschaftliche Nutzen die volkswirtschaftlichen Kosten überwiegt, d.h. wenn gilt:

$$NKV = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^{alt} - \sum_{i=1}^n N_i^{neu}}{\sum_{j=1}^m K_j^{neu} - \sum_{j=1}^m K_j^{alt}} > 1 \quad (\text{Gleichung 8.1})$$

mit

NKV = Nutzen-Kosten-Verhältnis

N_i^{alt} = jährliche Kosten der Kostengröße i für die Nutzer (Verkehrsteilnehmer) im heutigen Zustand

N_i^{neu} = jährliche Kosten der Kostengröße i für die Nutzer (Verkehrsteilnehmer) im Zustand nach Realisierung der Maßnahme

K_j^{alt} = jährliche Kosten der Kostengröße j für den Betreiber/Investor im heutigen Zustand

K_j^{neu} = jährliche Kosten der Kostengröße j für Betreiber/Investor im Zustand nach Realisierung der Maßnahme

Beispiel: Zwischen A und B besteht eine Straßenverbindung, die durch eine neue Straße ersetzt werden soll. Die jährlichen Straßennutzerkosten (Kosten, die den Nutzern der Straße durch deren Befahren entstehen) im heutigen Zustand seien N_i^{alt} , die entsprechenden Kosten im Zustand nach Realisierung der neuen Straße Nineu (mit $N_i^{alt} > N_i^{neu}$, weil die neue Straßenverbindung kürzer ist und mit einer gleichmäßigeren Geschwindigkeit befahren werden kann als die vorhandene Straße und dadurch den Nutzern geringere Kosten entstehen, der Nutzen also höher ist). Dann entsteht für die Verkehrsteilnehmer durch die neue Straße ein Nutzen der Größe $N_i^{alt} - N_i^{neu}$.

In diesem Beispiel wird also ein Mit-Fall (Untersuchungsfall, bei dem die Maßnahme als realisiert angenommen wird) mit dem Ohne-Fall (Zustand ohne Maßnahme) verglichen. Es können auch mehrere Mit-Fälle ($m > 1$) einbezogen werden. Dann ist derjenige Mit-Fall der beste, für den das Nutzen-Kosten-Verhältnis am größten ist (max. NKV_m).

In die Nutzen-Kosten-Analyse werden monetäre oder über anerkannte Verfahren monetarisierbare Größen einbezogen. Deshalb werden als Kostengrößen nur berücksichtigt:

- Investitionskosten,
 - Betriebs- und Unterhaltungskosten
- und als Nutzengrößen
- Reisezeitdifferenzen zwischen Mit-Fall und Ohne-Fall (Umrechnung in Geldgrößen),
 - Betriebskostendifferenzen (Straßennutzerkosten),
 - Unfallkostendifferenzen,
 - Differenzen von Umweltwirkungen (z.B. Lärm) und
 - Differenzen von Flächenverbrauch.

Alle in das Verfahren einfließenden Kostengrößen, die in Geldeinheiten ausgedrückt werden, müssen auf Jahresraten (Annuitäten) wie folgt diskontiert werden:

$$K = a \cdot KB$$

Gleichung 8.2)

mit

K = jährliche Kosten- oder Nutzengröße [€/Jahr]

a = Annuitätenfaktor

KB = absolute Höhe der Kosten- oder Nutzengröße [€]

Der Annuitätenfaktor errechnet sich nach der Zinseszinsformel zu

$$a = \frac{10^{-2} \cdot p \cdot (1+10^{-2} \cdot p)^d}{(1+10^{-2} \cdot p)^d - 1} \quad (\text{Gleichung 8.3})$$

mit

p = Zinssatz [%/Jahr]

d = Abschreibungszeitraum (Nutzungsdauer) [Jahr]

Beispiel:

Baukosten KB einer Straße = 10 Mio [€]

Nutzungsdauer d = 30 [Jahr]

Zinssatz p = 3 [%/Jahr]

Dann gilt nach Gl. (8.2) und Gl. (8.3)

$$K = a \cdot KB = \frac{10^{-2} \cdot 3 \cdot (1+10^{-2} \cdot 3)^{30}}{(1+10^{-2} \cdot 3)^{30} - 1} \cdot 10\,000\,000$$

$$K = 510\,000 [\text{€}/\text{Jahr}]$$

Dann sind 333 333 [€/Jahr] die Abschreibung und 176 667 [€/Jahr] die Zinsen.

Der Verfahrensablauf der Nutzen-Kosten-Analyse besteht insgesamt aus folgenden Schritten:

1. Definition der Zielfunktion (z.B. Nutzen-Kosten-Verhältnis) und der darin aufzunehmenden Kosten- und Nutzengrößen,
2. Ermittlung der Wirkungen der verkehrlichen Maßnahme auf die Kosten- und Nutzengrößen (in originalen Dimensionen auf Kardinalskalen),
3. Umrechnung der Wirkungen in monetäre Größen,
4. Umrechnung der Kostengrößen in Jahresraten (Annuitäten),
5. Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses als Entscheidungskriterium.

Häufig wird eine Sensitivitätsanalyse²⁷ angeschlossen, in der durch Variation einzelner Eingangsgrößen die Stabilität des Ergebnisses überprüft wird [41].

Da die Anwendung der Nutzen-Kosten-Analyse zu einer Einwertaussage führt, ist sie ein Verfahren, bei dem erwünschte und nicht erwünschte Wirkungen gegeneinander aufgerechnet werden.

8.5.2 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein Verfahren, bei dem die unterschiedlichen Präferenzen der Entscheidungsträger durch eine Gewichtung der einbezogenen Ziele berücksichtigt werden. Ein wesentlicher Unterschied zur Nutzen-Kosten-Analyse besteht darin, dass nicht nur Ziele mit monetären oder monetarisierbaren Zielkriterien einbezogen werden, sondern auch Ziele mit Zielkriterien, die andere Dimensionen als Geldwert aufweisen oder die dimensionslos sind und in Kardinalskalen dargestellt werden. Auch bei der Nutzwertanalyse werden ein Mit-Fall mit dem Ohne-Fall oder mehrere Mit-Fälle untereinander und/oder mit dem Ohne-Fall verglichen.

Da die Zielkriterien bzw. deren Ausprägungen (Zielerträge) unterschiedliche Dimensionen aufweisen, ist es erforderlich, die Größen über eine Skalentransformation in vergleichbare, d.h. dimensionslose Größen (Zielerfüllungsgrade) umzuwandeln. Dazu müssen Zielwertfunktionen definiert werden, z.B. eine lineare Funktion wie in Abb. 8.3 dargestellt.

Die Kardinalskala für die Zielerfüllungsgrade soll einen Wertebereich zwischen 0 und 10 abdecken, wobei 0 den denkbar schletesten und 10 den denk-

²⁷ Überprüfung der Stabilität des Ergebnisses durch Variation einzelner Parameter oder der Gewichtungsfaktoren

bar besten Wert beschreibt. Abb. 8.3 zeigt ein Beispiel einer Skalentransformation.

Dargestellt ist die Erreichbarkeit eines Einkaufszentrums von einem Ausgangspunkt (z.B. einem Wohngebiet) für drei Planungsalternativen eines ÖPNV-Netzes. Das angestrebte Ziel ist die Verbesserung der Erreichbarkeit des Einkaufszentrums, das Zielkriterium die Reisezeit mit der Dimension [min/Fahrt], die Ausprägungen (Messwerte) der drei Alternativen sind die Zielerträge 11,8 [min/Fahrt] für Planfall 1, 13,6 [min/Fahrt] für Planfall 2 und 14,2 [min/Fahrt] für Planfall 3.

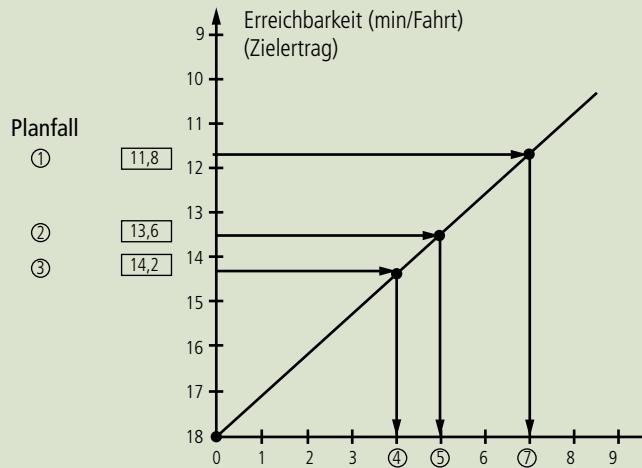


Abb. 8.3: Beispiel einer Skalentransformation

Über die lineare Zielwertfunktion mit dem unteren Grenzwert (Bestwert) von 9 Minuten (Annahme: Umwegfaktor zwischen Wohngebiet und Einkaufszentrum ist 1) und dem oberen Grenzwert (schlechtester Wert) von 18 Minuten (Annahme: Umwegfaktor ist 2) ergeben sich die dimensionslosen Zielerfüllungsgrade 4, 5 und 7.

In der Nutzwertanalyse spielt die Gewichtung der einzelnen Ziele eine wesentliche Rolle. Häufig wird dabei so vorgegangen, dass insgesamt 100 Punkte (= 100 %) auf die Oberziele aufgeteilt und diese Punkte auf die zugehörigen Unterziele eines jeden Oberziels verteilt werden. In die Festlegung der Punkte werden alle Beteiligten und Betroffenen einer Maßnahme einbezogen, um Präferenzen einzelner Gruppen möglichst auszuschließen. Diese Einzelgewichtungen werden gemittelt.

Das Ergebnis einer Nutzwertanalyse, nämlich die Nutzwerte der einzelnen Alternativen, ergibt sich dadurch, dass zunächst die für jedes Unterziel ermittelten Zielerträge (k_{ij} mit den n Alternativen i und den m Unterzielen bzw. Zielkriterien j) in die Zielerfüllungsgrade u_{ij} umgewandelt und mit den

Kriterien Alternativen \	k_1	k_2	.....	k_j	.....	k_m
A_1	k_{11}	k_{12}	.....	k_{1j}	.....	k_{1m}
A_2	k_{21}	k_{22}	.....	k_{2j}	.....	k_{2m}
...
A_i	k_{i1}	k_{i2}	.....	k_{ij}	.....	k_{im}
...
A_n	k_{n1}	k_{n2}	.....	k_{nj}	.....	k_{nm}

Zielertragsmatrix [k_{ij}]

Skalierung

Kriterien Alternativen \	k_1	k_2	.....	k_j	.....	k_m
A_1	u_{11}	u_{12}	.....	u_{1j}	.....	u_{1m}
A_2	u_{21}	u_{22}	.....	u_{2j}	.....	u_{2m}
...
A_i	u_{i1}	u_{i2}	.....	u_{ij}	.....	u_{im}
...
A_n	u_{n1}	u_{n2}	.....	u_{nj}	.....	u_{nm}

Zielerfüllungsgrad-
matrix [u_{ij}]

Gewichte

Gewichte Alternativen \	g_1	g_2	.....	g_j	.....	g_m
A_1	q_{11}	q_{12}	.....	q_{1j}	.....	q_{1m}
A_2	q_{21}	q_{22}	.....	q_{2j}	.....	q_{2m}
...
A_i	q_{i1}	q_{i2}	.....	q_{ij}	.....	q_{im}
...
A_n	q_{n1}	q_{n2}	.....	q_{nj}	.....	q_{nm}

Zielwertmatrix [q_{ij}]

$$q_{ij} = u_{ij} \times g_j$$

Alternativen	Nutzwerte					
A_1	N_1					
A_2	N_2					
...	...					
A_i	N_i					
...	...					
A_n	N_n					

Nutzwertmatrix [N_i]

$$N_i = q_{i1} + q_{i2} + \dots + q_{ij} + \dots + q_{in}$$

Abb. 8.4: Formaler Ablauf der Nutzwertanalyse

Gewichteten g_j multipliziert werden. Das Produkt $q_{ij} = u_{ij} \cdot g_j$ ist der Teilnutzwert des entsprechenden Unterziels, die entstehende Matrix wird Zielwertmatrix genannt (Abb. 8.4). Durch Addition der Teilnutzwerte aller zu einem Oberziel gehörenden Unterziele einer Alternative errechnet sich der Teilnutzwert eines Oberziels und durch deren Addition über alle Oberziele einer Alternative der Gesamtnutzwert N_i für die Alternative i . Damit kann eine Rangfolge der Alternativen gebildet werden. Diese Addition der Teilnutzwerte zu einem Gesamtnutzwert ist keine Aufrechnung gewünschter und nicht gewünschter Wirkungen im eigentlichen Sinn, weil hier nur positive Zahlen addiert werden. Dennoch stellt das Ergebnis der Nutzwertanalyse nur eine Einwertaussage dar.

Wie zuvor sollte auch bei der Nutzwertanalyse eine Sensitivitätsanalyse angeschlossen werden, auch deshalb, weil durch die Gewichtung, aber auch durch die Umwandlung der Zielerträge in Zielerfüllungsgrade subjektive Aspekte in das Verfahren einfließen. Den gesamten Ablauf einer Nutzwertanalyse zeigt das folgende Beispiel.

Ein Geschäftsmann hat für eine Fahrt von Frankfurt am Main nach Hamburg drei Alternativen A_i zur Auswahl:

- mit Pkw (A_1),
- mit ICE (A_2),
- mit Flugzeug (A_3).

Er formuliert ein (einfaches) Zielsystem mit den zugehörigen Zielkriterien und den Gewichten g_j :

- möglichst kurze Reisezeit; Zielkriterium: Reisezeit [min]; $g_1 = 50$
- möglichst geringe Reisekosten; Zielkriterium: Kosten [€]; $g_2 = 20$
- gute Arbeitsbedingungen während der Fahrt; Zielkriterium: Verhältnis von möglicher Arbeitszeit zu Reisezeit [-]; $g_3 = 30$

$$(\sum_j g_j = 100)$$

Unter der Annahme bestimmter Kosten für die Pkw-Fahrt, den Flug, die Bahnfahrt und das Taxi und der Dauer der Einzelwege sowie unter der weiteren Annahme, dass während der Pkw-Fahrt nicht gearbeitet werden kann, dies aber während des Fluges und auf der Bahnfahrt möglich ist, ergeben sich die Zielerträge für die drei Alternativen nach Tabelle 8.3.

Tabelle 8.3: Zielerträge k_{ij}

Alternative A_i	Zielkriterium j		
	Reisezeit [min]	Kosten [€]	Verhältnis [-]
Pkw	300	350	0
ICE	270	250	0,8
Flugzeug	200	250	0,4

Für die Umwandlung der Zielerträge k_{ij} in die dimensionslosen Zielerfüllungsgrade u_{ij} werden lineare Transformationsfunktionen gewählt (Abb. 8.5). Für die besten und schlechtesten Werte wurden plausible Annahmen getroffen (der beste Wert bei den Kosten ergibt sich z.B. dadurch, dass der Geschäftsmann von einem Bekannten kostenlos mitgenommen wird, der schlechteste Wert bei der Reisezeit dadurch, dass ein Stau auf der Autobahn längere Zeit andauert).

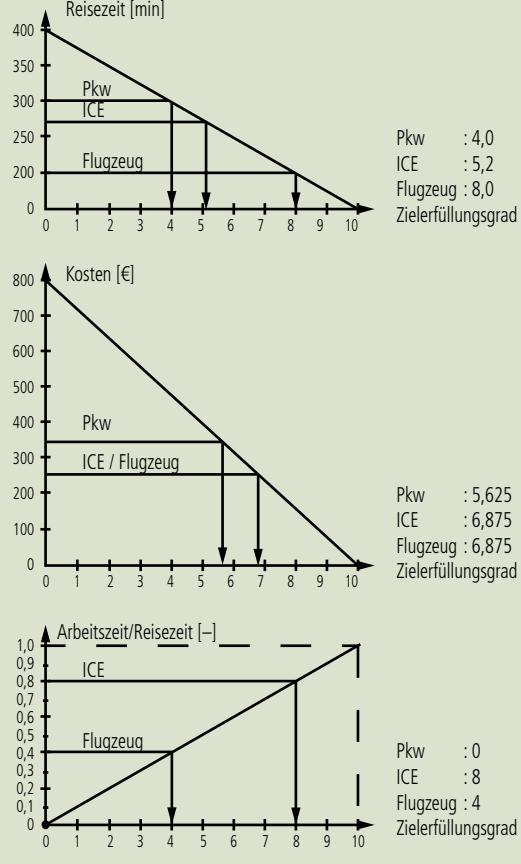


Abb. 8.5: Transformationsfunktionen

Fortsetzung auf S. 140 ➔

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8.4 zusammengefasst.

Tabelle 8.4: Ergebnisse des Beispiels zur Nutzwertanalyse

Zielkriterium	Gewicht	Pkw		ICE		Flugzeug	
	g_j	$u_{Pkw,j}$	Teilnutzwert $u_{Pkw,j} \cdot g_j$	$u_{ICE,j}$	Teilnutzwert $u_{ICE,j} \cdot g_j$	$u_{F,j}$	Teilnutzwert $u_{F,j} \cdot g_j$
Reisezeit ($j=1$)	50	4,0	200,0	5,2	260,0	8,0	400,0
Kosten ($j=2$)	20	5,625	112,5	6,875	137,5	6,875	137,5
Verhältnis ($j=3$)	30	0	0	8	240,0	4	120,0
Gesamtnutzwert			$N_1=312,5$		$N_2=637,5$		$N_3=657,5$

8.5.3 Wirksamkeits-Kosten-Analyse

Die Wirksamkeits-Kosten-Analyse ist eine Kombination aus Nutzen-Kosten-Analyse und Nutzwertanalyse. Dabei werden die Wirksamkeiten als dimensionsbehaftete Größen in dimensionslose Zielerfüllungsgrade umgerechnet, die Kosten bleiben als Größen mit der Dimension »Geldwert« unverändert. In den Wirksamkeitsgrößen dürfen keine Kostengrößen enthalten sein. Die Alternative mit dem besten Wirksamkeits-Kosten-Quotienten steht in der Rangfolge

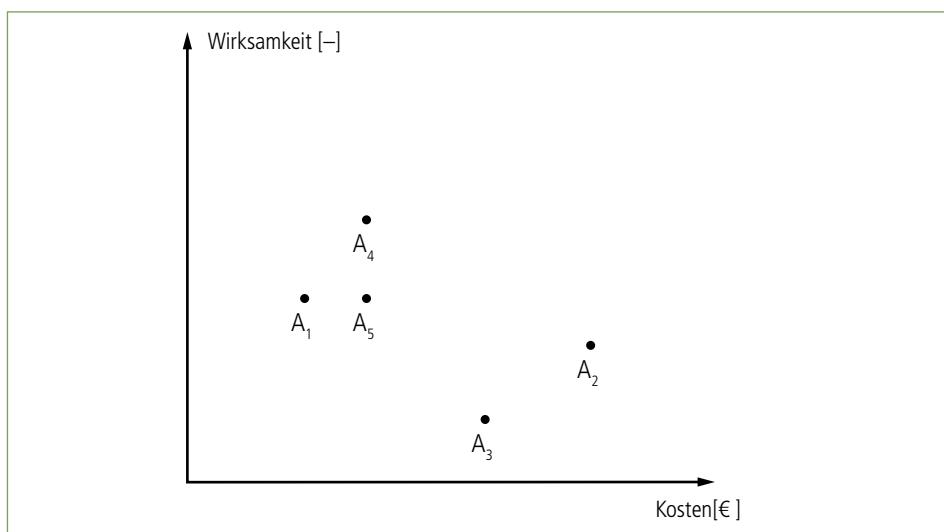


Abb. 8.6: Wirksamkeiten und Kosten verschiedener Alternativen

der Alternativen an erster Stelle. Bei den in Abb. 8.6 dargestellten sechs Alternativen bzw. deren Wirksamkeits-Kosten-Quotienten ist augenscheinlich, dass A_2 und A_3 die schlechtesten Werte aufweisen. Die Alternative A_5 ist schlechter als A_4 (gleiche Kosten, aber unterschiedliche Wirksamkeiten), ebenso ist A_1 besser als A_5 (geringere Kosten bei gleicher Wirksamkeit).

8.5.4 Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs

Als ein Verfahren, das in der Praxis große Bedeutung erlangt hat, wird die Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs (Standardisierte Bewertung) vorgestellt. Dieses streng formalisierte Verfahren beruht im Wesentlichen auf der Nutzen-Kosten-Analyse (Mit-Fall-/Ohne-Fall-Prinzip), bezieht aber auch Elemente der Nutzwertanalyse ein. Es wird angewendet, um den Nutzen von Verkehrswegeinvestitionen im ÖPNV, deren Investitionskosten 25 Mio. € überschreiten, zu ermitteln [41]. Die folgende Beschreibung lehnt sich eng an [44] an.

Für die Beurteilung eines ÖPNV-Investitionsvorhabens (z. B. Bau einer U-Bahnstrecke) werden diejenigen Veränderungen ermittelt, die durch die Realisierung der zu bewertenden Maßnahme (Mit-Fall) gegenüber den Verhältnissen ohne diese Maßnahme (Ohne-Fall) hervorgerufen werden. Der Ohne-Fall ergibt sich dabei aus dem Istzustand (d. h. der heutigen Situation) unter Berücksichtigung der bis zum Zeitpunkt direkt vor Realisierung der Maßnahme (Planungshorizont oder Prognosezeitpunkt) voraussehbaren Änderungen im Verkehrssystem (Netz, Angebot, Nachfrage). Der Ohne-Fall ist bei diesem Verfahren also grundsätzlich der Vergleichsfall, an dem der Mit-Fall oder mehrere Mit-Fälle gemessen werden. Er muss eine reale Alternative zum Mit-Fall darstellen. Das Verfahren beschränkt sich bei der Berechnung des volkswirtschaftlichen Nutzens auf monetäre und monetarisierbare Größen. Nicht monetarisierbare Größen, wie z. B. Erreichbarkeit, werden zwar über einen nutzwertanalytischen Faktor berücksichtigt, der aber nur bedingt zur Aussage über die Realisierungswürdigkeit des Mit-Falls herangezogen wird. Außerdem werden intangible Kriterien, wie z. B. Trennwirkungen und städtebauliche Wirkungen, zwar beschrieben, aber wie auch die nicht monetarisierbaren Kriterien nur bedingt zur Entscheidungsfindung herangezogen.

Ein wesentlicher Schritt des Verfahrens besteht in der korrekten Abgrenzung des Untersuchungsraumes des zu bewertenden Investitionsvorhabens. Dabei muss eine räumliche Grenze gefunden werden, bis zu der die Maßnahme noch relevante Auswirkungen zeigt (beispielsweise noch relevante Veränderungen bei der Verkehrsnachfrage zwischen Ohne- und Mit-Fall).

Grundlage für die Anwendung ist die Zusammenstellung aller Daten, die in das Verfahren einfließen, insbesondere

- die Daten des Verkehrsangebotes (Verkehrsnetze, Bedienungshäufigkeiten, Widerstandsmatrices MIV und ÖPNV) und
- die Daten der Verkehrsnachfrage (Verkehrsbeziehungsmarices MIV und ÖPNV für den Ist-Zustand).

Aus den MIV- und ÖPNV-Verkehrsbeziehungsmarices des Ist-Falls werden die entsprechenden Matrices des Ohne-Falls durch eine Hochrechnung, unter Berücksichtigung der Änderung struktureller Größen, wie z. B. Einwohner, sowie der Änderungen am Verkehrsangebot und der dadurch verursachten Verkehrsverlagerungen zwischen MIV und ÖPNV (ohne die zu bewertende Maßnahme) ermittelt²⁸. Aus der ÖPNV-Matrix des Ohne-Falls ergibt sich die ÖPNV-Matrix des Mit-Falls wiederum aufgrund der Verlagerungen, die durch das zu bewertende Vorhaben (Mit-Fall) verursacht werden, ebenso die MIV-Verkehrsbeziehungsmaatrix des Mit-Falls. Im MIV-Verkehrsnetz treten keine Veränderungen zwischen Ohne- und Mit-Fall auf.

Die Matrices des Ist-Falls werden zur Kalibrierung auf die Ist-Netze des MIV und des ÖPNV umgelegt (Vergleich der Umlegungsergebnisse mit tatsächlichen Belastungswerten) (vgl. hierzu Abschnitt 4.2.4), ebenso die Matrices des Ohne-Falls und die ÖPNV-Matrix des Mit-Falls, jeweils unter Einbeziehung der MIV- und ÖPNV-Widerstandsmatrices (vgl. Abschnitt 4.2.7). Damit ergeben sich die Prognoseverkehrsbelastungen MIV und ÖPNV für den Ohne-Fall und die Prognoseverkehrsbelastungen ÖPNV für den Mit-Fall. Diese bilden die Grundlage für die anschließenden Berechnungen der monetären und monetarisierbaren Nutzen- und Kostengrößen, von denen in die Nutzen-Kosten-Analyse der Standardisierten Bewertung einfließen:

- Reisezeitdifferenzen im ÖPNV zwischen Mit- und Ohne-Fall (positiver Nutzen, wenn die ÖPNV-Reisezeiten im Mit-Fall geringer sind als im Ohne-Fall),
- Saldo der Pkw-Betriebskosten zwischen Mit- und Ohne-Fall,
- Saldo des Kapitaldienstes und der Unterhaltungskosten für die Infrastruktur des ÖPNV zwischen Mit- und Ohne-Fall,
- Saldo der sonstigen ÖPNV-Kosten (z. B. für Personal und ÖPNV-Fahrzeuge) zwischen Mit- und Ohne-Fall,
- Saldo der CO₂- und der Schadstoffemissionen zwischen Mit- und Ohne-Fall,
- Saldo der Unfallschäden zwischen Mit- und Ohne-Fall sowie
- Saldo der Geräuschbelastung zwischen Mit- und Ohne-Fall.

²⁸ Die Vorgehensweise bei der Berechnung der Verlagerungen zwischen MIV und ÖPNV ist in der Beschreibung der Standardisierten Bewertung [44] detailliert beschrieben.

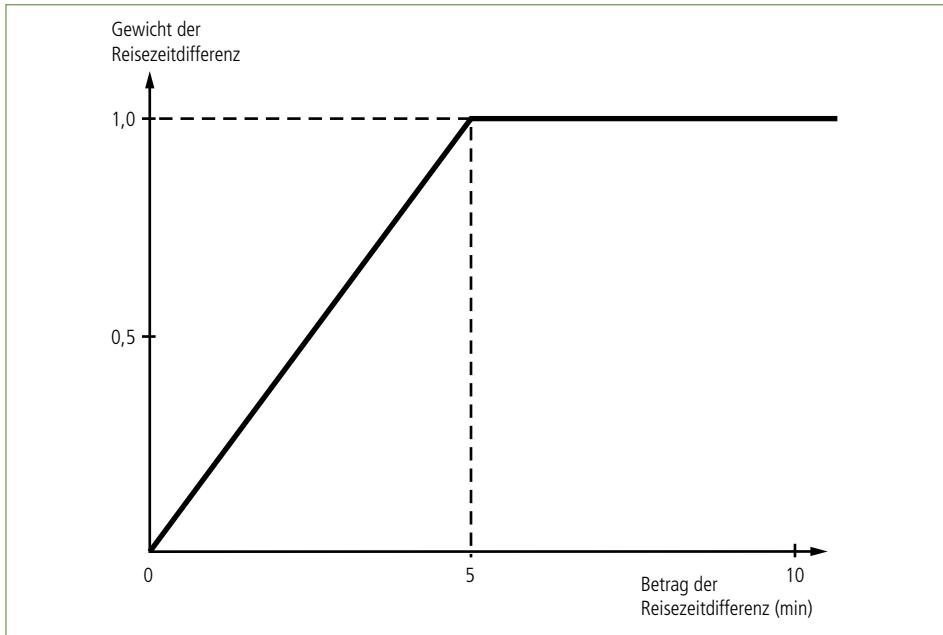


Abb. 8.7: Gewichtung der Reisezeitdifferenzen [Quelle: [44]]

Diese und die weiteren in das Verfahren einzubeziehenden Größen ergeben sich aus dem zugrundeliegenden Zielsystem, das aus den drei Oberzielen

- Erhöhung der Nutzenstiftung für die Fahrgäste,
 - Verringerung der finanziellen Belastungen für die Aufgabenträger des ÖPNV und
 - Verbesserung der Nutzenstiftung des ÖPNV für die Allgemeinheit
- besteht und darunter 23 Unterziele umfasst.

Die Nutzen- und Kostengrößen werden in Gleichung 8.1 eingesetzt, sodass ein Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) errechnet werden kann. Bei $NKV > 1$ ist der volkswirtschaftliche Nutzen größer als die Kosten der untersuchten Maßnahme. Nach der Ermittlung dieses Nutzen-Kosten-Beurteilungsindikators und ggf. eines nutzwertanalytischen Indikators sowie ergänzender verbaler Erläuterungen schließen sich noch eine Folgekostenrechnung und eine Sensitivitätsanalyse an.

Die Standardisierte Bewertung wurde über die letzten Jahrzehnte immer weiterentwickelt und hat sich bei einer großen Zahl von Anwendungen bewährt. Allerdings gibt es auch Kritikpunkte, die insbesondere die hohe Bedeutung eingesparter Reisezeiten als Nutzen betreffen. Kleinere Reisezeiteinsparungen von weniger als 10 bis 15 Minuten sind aber, auch wenn sie in der Summe über eine Vielzahl von Verkehrsteilnehmern hohe Werte annehmen

können, volkswirtschaftlich nicht sehr relevant, weil sie von den einzelnen Verkehrsteilnehmern nicht unbedingt in zusätzliche Produktivität umgesetzt werden können, auch wenn in der Standardisierten Bewertung Reisezeitgewinne bis 5 Minuten linear abgemindert werden (Abb. 8.7). Wichtiger als ein Reisezeitgewinn von wenigen Minuten ist eine hohe Zuverlässigkeit des Verkehrssystems, d.h. die Gewährleistung, dass eine Fahrt ohne unvorhersehbare Störungen abläuft und somit die erwartbare Reisezeit eingehalten wird [45]. Dies wird in der Standardisierten Bewertung (ebenso wie in anderen Bewertungsverfahren) aber nicht berücksichtigt.

9 Zukunft des Verkehrs

9.1 Verkehrsentwicklung bis 2030 in Deutschland

Die demografische Entwicklung in Deutschland wird bis zum Jahr 2030 durch zwei Abläufe geprägt:

- eine Abnahme der Bevölkerung von 82 Millionen im Jahre 2008 auf rund 77 Millionen Menschen im Jahre 2030 (vgl. dazu Abb. 1.1) und
- eine Zunahme des Anteils älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung, verbunden mit einer Abnahme des Anteils junger Menschen (vgl. Abb. 1.3 und Tabelle 9.1).

Tabelle 9.1: Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland 2008 und 2030 [Quelle: [19]]

Altersgruppen	Absolute Anzahl (prozentualer Anteil)	
	2008	2030
<20 Jahre	15,6 Mio (19 %)	12,7 Mio (16 %)
20–59 Jahre	45,4 Mio (55 %)	36,2 Mio (47 %)
60–79 Jahre	16,9 Mio (21 %)	22,1 Mio (29 %)
≥80 Jahre	4,1 Mio (5 %)	6,3 Mio (8 %)
Summe	82,0 Mio (100 %)	77,3 Mio (100 %)

Die Anzahl der Erwerbstätigen und die Anzahl der Schüler an allgemeinbildenden Schulen werden bis 2030 zurückgehen. Allerdings kann auch derzeit schon festgestellt werden, dass sich die demografische Situation in Deutschland unterschiedlich darstellt. Während etliche Städte und deren direktes Umland insbesondere in Süddeutschland bis 2030 noch mit einem Bevölkerungszuwachs rechnen können, sind in anderen Städten und Regionen Deutschlands zum Teil erhebliche Einwohnerrückgänge (einschließlich Verringerungen der Schülerzahlen) zu erwarten. Diese Kluft zwischen noch prosperierenden Räumen und strukturschwachen Regionen wächst deshalb an, weil (insbesondere jüngere) Menschen aus den strukturschwachen Regionen in wirtschaftlich stärkere Städte abwandern, was dort zu Konzentrationstendenzen der Bevölkerung führt [19]. Am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main zeigt Abb. 9.1, dass die Zahl der Zuzüge nach Frankfurt am Main seit Jahren die Zahl der Wegzüge übersteigt. Dagegen liegt die Zahl der Zuzüge aus dem direkten Umland von



Abb. 9.1: Zuzüge nach und Wegzüge von Frankfurt am Main [Quelle: Frankfurter Statistische Berichte]

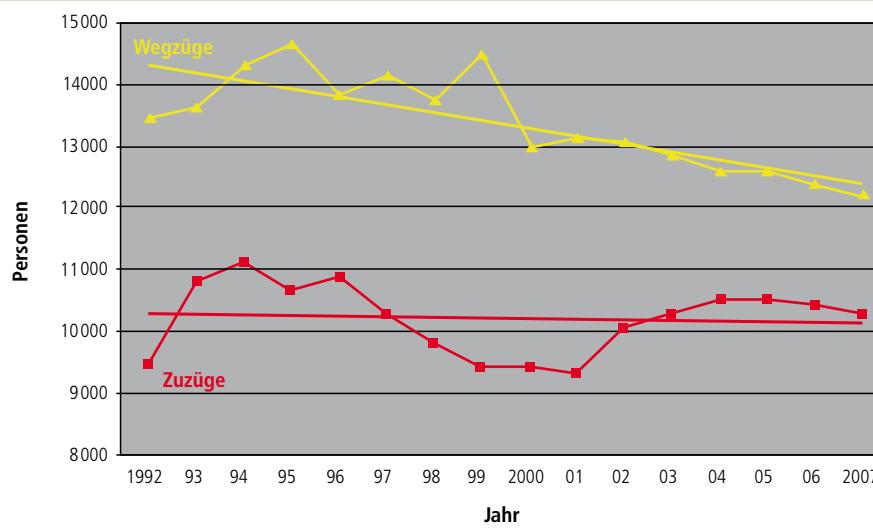


Abb. 9.2: Zuzüge nach und Wegzüge von Frankfurt am Main – nur Umland [Quelle: Frankfurter Statistische Berichte]

Frankfurt am Main in die Stadt noch unter der Zahl der Wegzüge in das Umland, allerdings mit deutlich abnehmender Tendenz (Abb. 9.2). Wenn sich diese Entwicklung so fortsetzt, wird sich in einigen Jahren die Situation umkehren und auch in Frankfurt am Main dem anderswo schon beobachteten Trend »Zurück in die Stadt« gefolgt werden.

Auch die wirtschaftliche Entwicklung wird voraussichtlich durch ein geringeres Wachstum des Bruttoinlandsproduktes bis zum Jahre 2030 geprägt sein, als dies vor Beginn der Finanzkrise vorhanden war. Deshalb werden auch die Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur (Straße und Schiene) nicht wesentlich zunehmen können. Ein höherer Anteil der Gelder wird darüber hinaus in die Erhaltung der Infrastruktur fließen müssen. Dadurch wird das Verkehrsgeschehen ebenso beeinflusst wie auch durch Veränderungen gesellschaftlicher Rahmenbedingungen. Insbesondere sind dies

- die Verringerung der Haushaltsgroße,
- eine zukünftig höhere Führerscheinbesitzquote der älteren Menschen und
- eine veränderte Einstellung jüngerer Menschen zum eigenen Pkw aus Kostengründen und/oder deshalb, weil das eigene Fahrzeug nicht mehr den gleichen Stellenwert hat wie bisher, was u.a. Carsharing²⁹ stark fördern könnte.

Die Ausgaben der Haushalte für Wohnen, Mobilität, Gesundheits- und Altersvorsorge³⁰ werden voraussichtlich überproportional ansteigen. Es ist zu vermuten, dass dann am ehesten bei den Ausgaben für Mobilität Abstriche gemacht werden.

Das zukünftige Verkehrsgeschehen wird aber auch davon abhängen, wie sich die weltweite Ölproduktion in den nächsten Jahrzehnten entwickeln wird. Derzeit werden immer noch fast alle Pkw mit Benzin oder Diesel (einschließlich Beimengungen von Biokraftstoff) angetrieben (72 % Benzin, 27 % Diesel, 1 % Sonstiges), was eine fast 100 %-ige Ausrichtung auf Erdölprodukte bedeutet. Wenn sich die Erdölproduktion in den nächsten Jahrzehnten deutlich abschwächen wird (Abb. 9.3), die Nachfrage nach Erdöl aber weiter zunimmt, werden sich andere Energieformen für Kraftfahrzeugantriebe wie

- Biokraftstoffe,
- elektrische Energie und ggf.
- Wasserstoff

stärker durchsetzen. Es gibt aber auch neuere Aussagen, dass unkonventionelle Öl- und Gasvorkommen in großen Tiefen den Bestand erheblich erhöht hätten. Allerdings dürften die Produktionskosten bei diesen Lagerstätten erheblich höher liegen als die bisherigen Kosten, sodass die Preise für fossile Energieträger weiter ansteigen werden, wie sie es auch schon bisher getan haben (Abb. 9.4) [47].

Hybridantriebe (Diesel- bzw. Benzinantrieb kombiniert mit Elektroantrieb) werden sich als eine bedeutsame Brückentechnologie weiter verbreiten. Ver-

²⁹ Carsharing in Städten wird in zunehmendem Maße mit Elektrofahrzeugen betrieben.

³⁰ Im Budget eines durchschnittlichen Haushaltes nehmen die Ausgaben für Mobilität, hinter denen für das Wohnen, den zweiten Platz ein. Insgesamt sind die Ausgaben für Mobilität in den letzten zwanzig Jahren deutlich stärker gestiegen als die gesamten Lebenshaltungskosten.

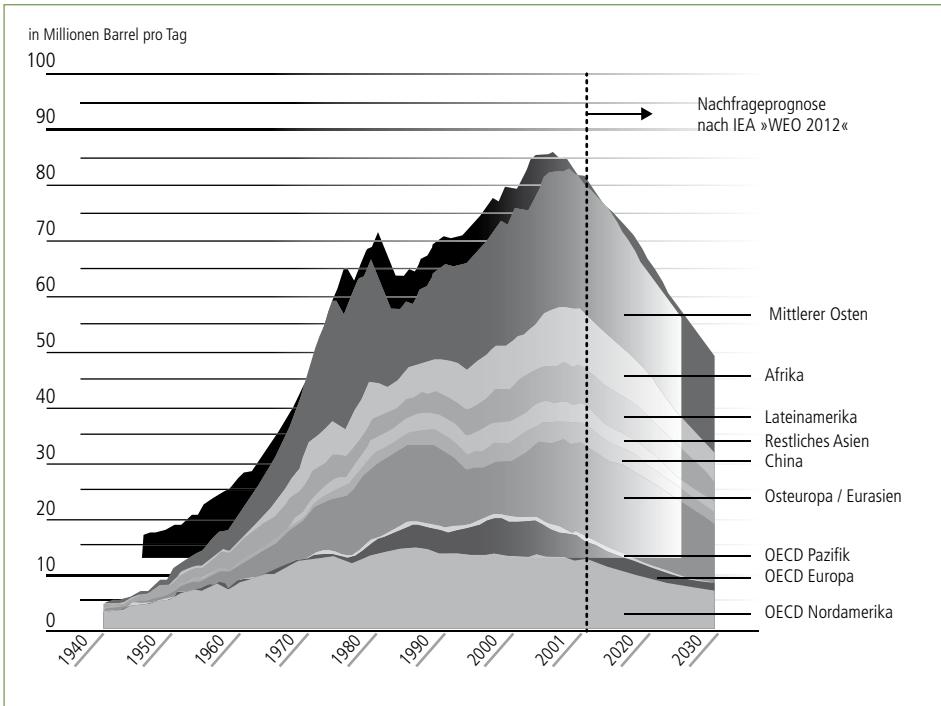


Abb. 9.3: Bisherige und prognostizierte Entwicklung der weltweiten Erdölproduktion [Quelle: [46]]

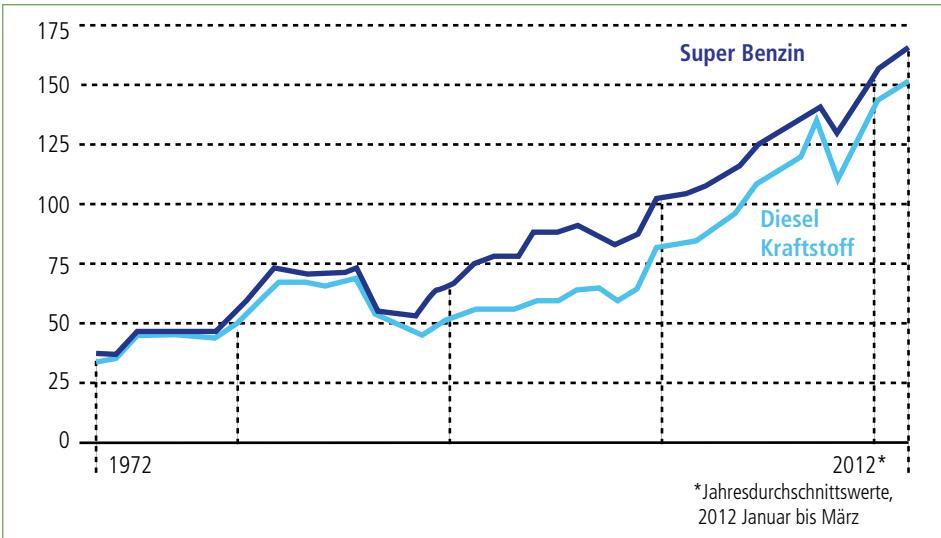


Abb. 9.4: Kraftstoffpreise in Deutschland in Cent pro Liter [Quelle: www.statista.com]

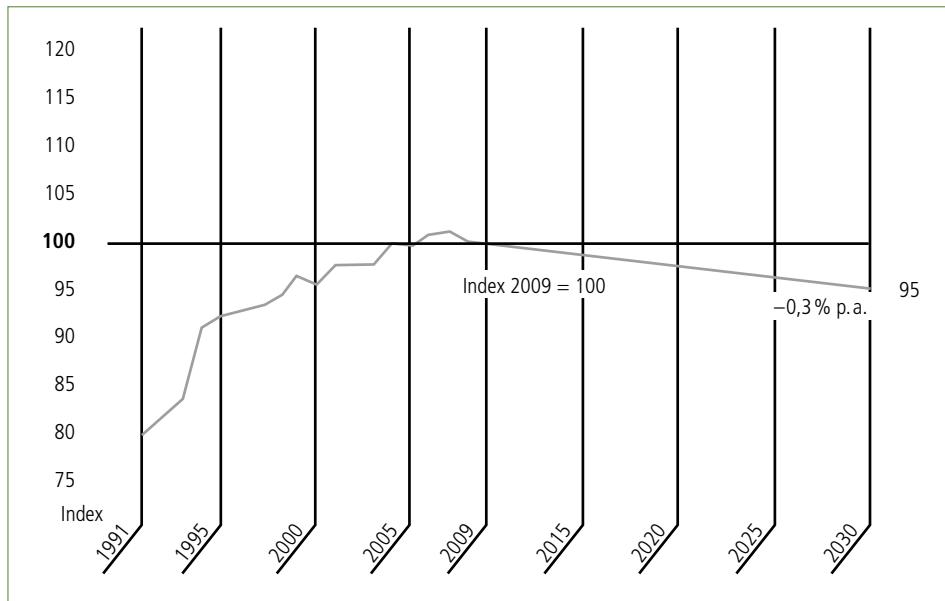


Abb. 9.5: Entwicklung der Personenverkehrsleistung, Szenario »Gereifter Fortschritt« [Quelle: [19]]. Werte bis 2008: DIW 2009; Wert 2009: Progtrans Verkehrskonjunkturreport 2009/2010

schiedene Szenarien gehen davon aus, dass im Jahre 2030 zwischen 7 % und 15 % der zugelassenen Pkw mit einem reinen Elektroantrieb (wegen der geringen Reichweite der batteriebetriebenen Pkw vorwiegend im städtischen Verkehr eingesetzt) und zwischen 6 % und 20 % mit einem Hybridantrieb fahren werden [48].

Die konventionellen Antriebsformen (Benzin, Diesel) werden noch energieeffizienter gestaltet werden, auch wenn die in den letzten Jahrzehnten durch energieeffizientere Antriebe eingesparten Mengen an Benzin und Diesel zumindest teilweise wieder durch stärkere Motorleistungen aufgebraucht wurden. In neuester Zeit scheint allerdings der Trend zu kleineren Pkw zuzunehmen. Es kann vermutet werden, dass der durchschnittliche Verbrauch bei Neufahrzeugen (Pkw) im Jahre 2030 unter vier Litern pro 100 km und der CO₂-Ausstoß unter 90 Gramm pro Kilometer liegen werden. Im Lkw-Verkehr werden weiterhin effiziente Dieselantriebe, ggf. ergänzt um Hybridantriebe, vorherrschen.

Diese hier kurz angerissenen Entwicklungen haben Folgen für die Verkehrsentwicklung und damit auch für die Verkehrsplanung. In [19] wird in einem Szenario »Gereifter Fortschritt« davon ausgegangen, dass im Jahre 2030 die Personenverkehrsleistung in Deutschland nur noch 95 % der Personenverkehrsleistung im Jahre 2009 betragen wird (Abb. 9.5). Bei einem weiteren Ausbau des ÖPNV in den Städten und des öffentlichen Personenfernverkehrs sowie einem Aufrechterhalten des ÖPNV-Angebots auch in strukturschwachen

Räumen kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil des öffentlichen Personenverkehrs leicht ansteigt und sich der Anteil des motorisierten Individualverkehrs entsprechend verringert (Tabelle 9.2).

Tabelle 9.2: Modal Split im binnennärdischen Personenverkehr (bezogen auf die Verkehrsleistung)
[Quelle 2030: nach [19]]

Verkehrsmittel	Prozentanteil	
	2009***	2030
Motorisierter Individualverkehr	81	78
Öffentlicher Straßenpersonenverkehr*	7	8
Eisenbahnverkehr**	7	8
Luftverkehr	5	6

* Omnibus, Straßenbahn, Stadtbahn, U-Bahn

** einschließlich S-Bahn

*** vgl. Tabelle 1.3

Im Gegensatz zur Personenverkehrsleistung steigt die Güterverkehrsleistung bis zum Jahre 2030 noch deutlich an (Abb. 9.6). Wie Tabelle 9.3 zeigt, werden auch im Güterverkehr kleinere Veränderungen bei der Verkehrsmittelauflaufteilung auftreten.

Tabelle 9.3: Modal Split im binnennärdischen Güterverkehr (bezogen auf die Verkehrsleistung)
[Quelle 2030: nach [19]]

Verkehrsmittel	Prozentanteil	
	2009*	2030
Straßengüterverkehr	71	72
Eisenbahnverkehr	16	17
Binnenschiffsverkehr	10	9
Rohrfernleitungen	3	2

* vgl. Tabelle 1.6

Auch zunehmende Maßnahmen des Verkehrsmanagements, eine zunehmende intermodale Vernetzung der Verkehrssysteme im Personen- und Güterverkehr sowie neue Belieferungskonzepte im städtischen Güterverkehr werden ebenso einen Einfluss auf das Verkehrsgeschehen ausüben wie eine Ausdehnung der Lkw-Maut auf Teile des untergeordneten Straßennetzes sowie eine

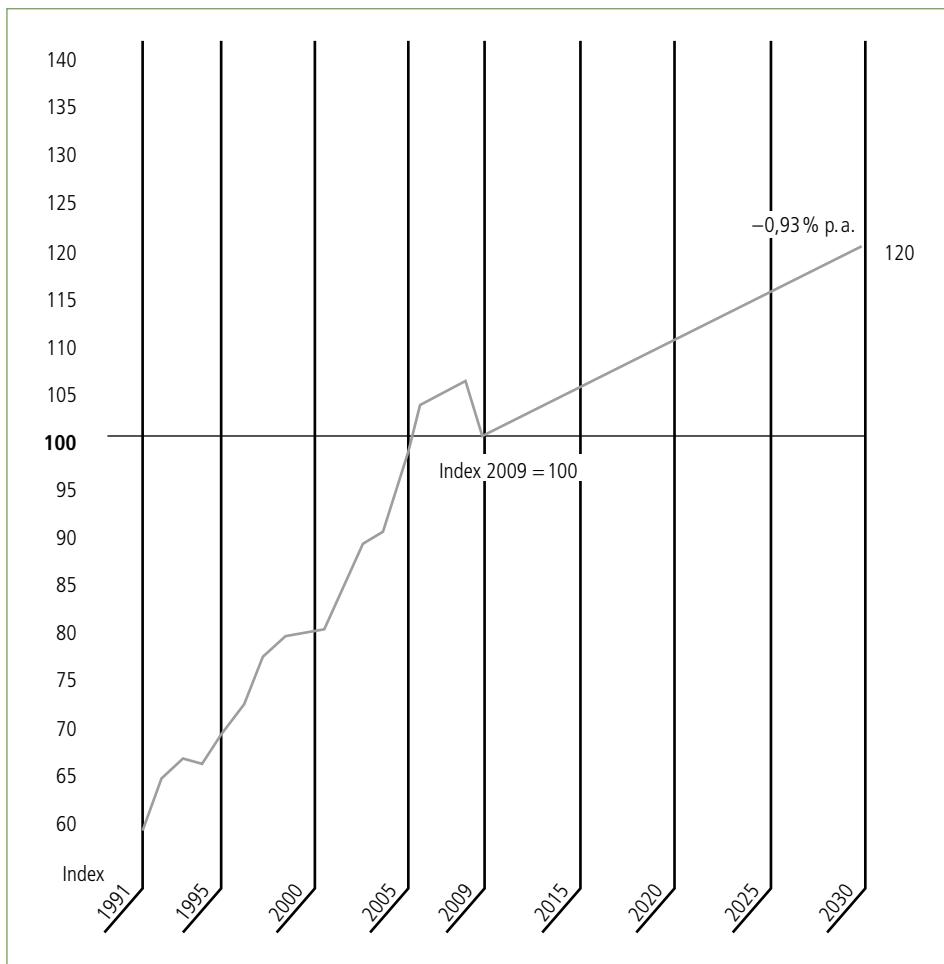


Abb. 9.6: Entwicklung der Güterverkehrsleistung, Szenario »Gereifter Fortschritt« [Quelle: [19]]. Werte bis 2008: DIW 2009; Wert 2009: Protrans Verkehrskonjunkturreport 2009/2010

mögliche Pkw-Maut auf Fernstraßen – auch deshalb, weil damit eine Erhöhung der Transportkosten verbunden ist. Das hier beschriebene Szenario einer möglichen Verkehrsentwicklung beinhaltet eine Vielzahl an Aspekten, die das künftige Verkehrsgeschehen und damit die Verkehrsplanung beeinflussen.

9.2 Konsequenzen für die Verkehrsplanung

In Räumen mit abnehmender und älterer Bevölkerung wird das lokale Verkehrsaufkommen zurückgehen, im öffentlichen Personennahverkehr aufgrund des Rückgangs an Schülern wahrscheinlich deutlicher als im motorisierten

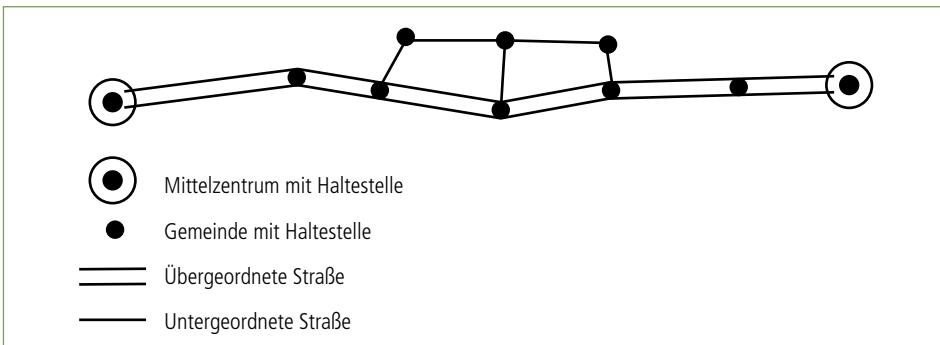


Abb. 9.7: Bedienungskorridor mit bandförmiger Struktur

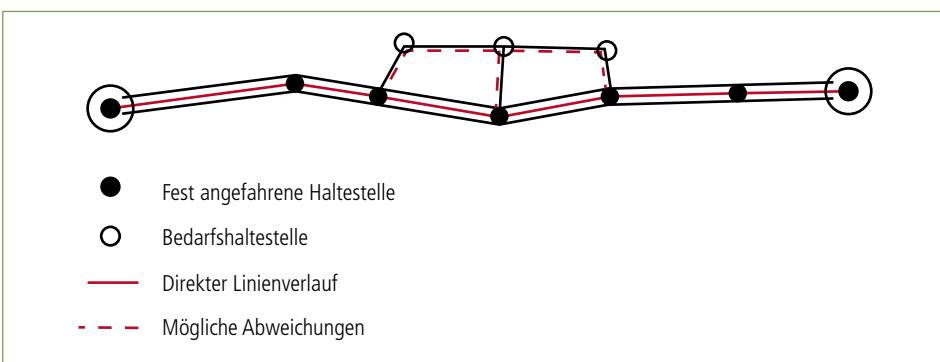


Abb. 9.8: Richtungsbandbedienung

Individualverkehr (auch wenn wegen möglicher Zusammenlegungen von Schulstandorten der demografisch bedingte Rückgang im Schülerverkehr durch längere Schulwege zumindest teilweise kompensiert wird).

In manchen ländlichen Räumen macht der Schülerverkehr bisher 70 % oder mehr des gesamten dortigen ÖPNV-Aufkommens aus. Trotz des zu erwartenden (in einigen Räumen auch schon eingetretenen) Rückgangs im Schülerverkehr soll auch zukünftig ein ÖPNV-Angebot aufrecht erhalten werden, das gegenüber den heutigen Angeboten (im Wesentlichen Linienverkehr) allerdings sehr viel mehr bedarfsgesteuerte Bedienungsformen umfassen wird. In Betracht kommen dafür

- Richtungsbandbedienung und
- kombinierte Bus- und Bedarfsbedienung.

Ein reiner Linienverkehr stellt sich nur dann als sinnvoll dar, wenn in einem Bedienungskorridor die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei einer Fahrt an jeder Haltestelle mindestens ein Fahrgast ein- oder aussteigt, relativ hoch ist (z. B. den Wert von 0,7 übersteigt), wobei diese Wahrscheinlichkeit nur für die abseits

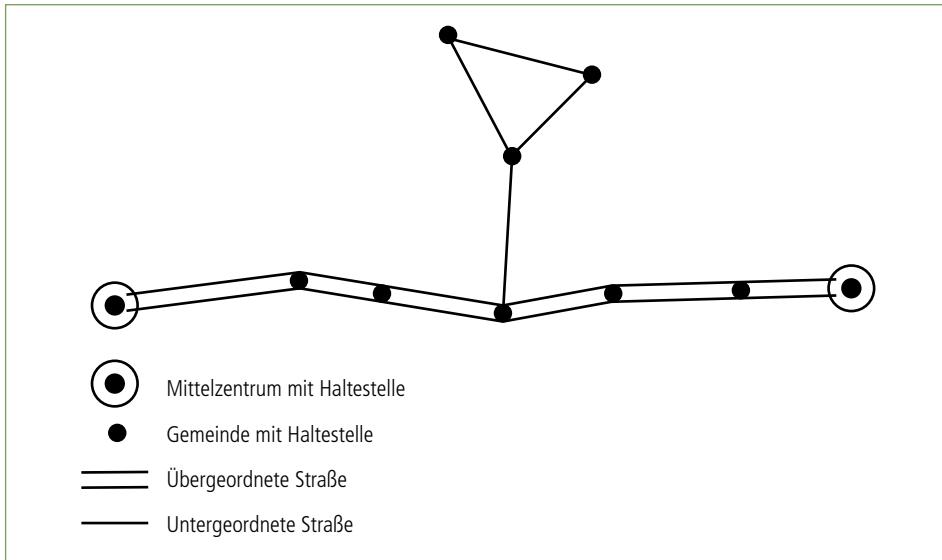


Abb. 9.9: Bedienungskorridor mit disperser Siedlungsstruktur

vom direkten Linienweg liegenden Haltestellen relevant ist, da die auf dem direkten Linienweg liegenden Haltestellen grundsätzlich, d. h. auch bei schwächer Nachfrage, angefahren werden (vgl. auch Kap. 6.7). In schwächer besiedelten Räumen bietet sich dagegen eine Richtungsbandbedienung an, die dann günstiger ist, wenn die abseits liegenden Haltestellen eine geringe Anfahrwahrscheinlichkeit ($\leq 0,7$) aufweisen und wenn das Anfahren dieser Haltestellen nur zu geringen Fahrzeitverlängerungen gegenüber der Fahrzeit auf dem direkten Linienverlauf führt. Der Bedienungskorridor sollte deshalb eine bandförmige Struktur aufweisen (Abb. 9.7), um für einen Richtungsbandbetrieb geeignet zu sein (Abb. 9.8). Der Wunsch, an einer solchen Bedarfshaltestelle zuzusteigen, muss eine bestimmte Zeit vor Fahrtbeginn (z.B. 30 Minuten vorher) angemeldet worden sein, der Ausstiegswunsch kann dem Fahrer bei Fahrtbeginn mitgeteilt werden.

Liegen die Bedarfshaltestellen weiter vom direkten Linienverlauf entfernt (Abb. 9.9), ist eine kombinierte Bus- und Bedarfsbedienung vorteilhaft (Abb. 9.10). Dabei hängen an einer Grundlinie (in der Regel Bus, in Einzelfällen aber auch Regionalbahn) ein oder mehrere Sektoren mit Bedarfshaltestellen. Diese werden mit je einem AnrufSammelTaxi (AST) bedient. Die Sektoren sind an einer Verknüpfungshaltestelle mit dem Linienverkehr verbunden. Diese Bedienungsform weist somit bei dispersen Siedlungsstrukturen Vorteile auf (Abb. 9.10) [49].

In den noch von weiterem Bevölkerungswachstum profitierenden Städten wird die Bedeutung des öffentlichen Personennahverkehrs, trotz der auch dort

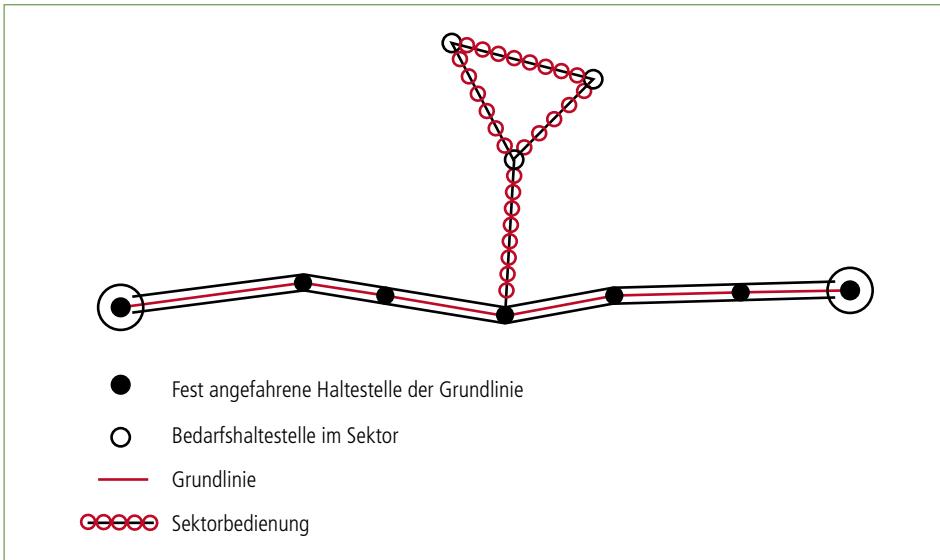


Abb. 9.10: Kombinierte Bus- und Bedarfsbedienung

älter werdenden Bevölkerung, zunehmen. Dies liegt u. a. darin begründet, dass für den Kraftfahrzeugverkehr nur noch sehr eingeschränkt neue Verkehrswege angelegt werden können, ihm sogar Flächen entzogen werden. Der Anteil des Kraftfahrzeugverkehrs am Gesamtverkehr wird in diesen Städten zugunsten der Anteile des ÖPNV und des Radverkehrs eher abnehmen³¹.

Grundsätzlich ist nicht auszuschließen, dass sich die Verkehrsplaner in den nächsten Jahren mit neuen bzw. geänderten Planungsrichtlinien vertraut machen müssen. So sind z. B. in zukünftigen Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs [30] auch kleinere Abmessungen für Pkw-Stellplätze vorstellbar, sofern als Bemessungs-Pkw ein Elektrofahrzeug zugrunde gelegt wird, das in aller Regel geringere Längen- und Breitenmaße aufweist.

Beim weiteren Ausbau des ÖPNV in Deutschland kann davon ausgegangen werden, dass der Fokus auf oberirdisch geführten Systemen (insbesondere Stadtbahn, Straßenbahn und Bus) liegen wird, da deren Investitions- und Betriebskosten deutlich unter denen von in Tieflage geführten Systemen angesiedelt sind.

Im Gegensatz zum Personenverkehr wird der Güterverkehr künftig noch deutlicher anwachsen (vgl. Abschnitt 9.1). Dies trifft auch auf den städtischen Güterverkehr zu, der fast ausschließlich mit Lkw abgewickelt wird. Neue City-Logistik-Konzepte können aber dabei mitwirken, das Anwachsen des

³¹ Prognosen deuten darauf hin, dass der Radverkehr u. a. aufgrund der anwachsenden Zahl von Elektrofahrrädern einen höheren Anteil am gesamten städtischen Verkehr übernehmen wird, weshalb er auch mehr Verkehrsflächen benötigt, was zumindest zum Teil auf Kosten bisheriger Verkehrsflächen für den Kraftfahrzeugverkehr gehen wird.



Abb. 9.11: CargoTram Dresden [Quelle: VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH/Dresdner Verkehrsbetriebe AG]

städtischen Güterverkehrs zu bremsen. Ein solches Konzept kann z.B. darin bestehen, dass an einem geeigneten (möglichst innenstadtnahen) Standort ein Pool von Elektro-Lkw (max. 7,5 t zulässiges Gesamtgewicht) bereitgestellt wird, mit denen u.a. von einem neutralen Dienstleister, der von den an der City-Logistik teilnehmenden Spediteuren beauftragt wird, Ziele in der Innenstadt beliefert werden. Die Touren der Fahrzeuge des Dienstleisters werden so gestaltet, dass gegenüber einer Einzelbelieferung durch die beteiligten Spediteure höhere Fahrzeugauslastungen erzielt werden, die zu deutlich geringeren Verkehrsleistungen führen [50].

Eine weitere Möglichkeit, den Lkw-Verkehr in Städten zu reduzieren, kann darin bestehen, Straßen- und Stadtbahnen in die Belieferung mit Gütern einzubeziehen. Allerdings kommen hier nur Punkt-zu-Punkt-Belieferungen in Betracht. Ein Beispiel für einen solchen Punkt-zu-Punkt-Verkehr ist die CarGoTram in Dresden (Abb. 9.11), mit der das VW-Werk (Gläserne Manufaktur) am Ostrand der Dresdner Innenstadt vom VW-Logistik-Zentrum am Bahnhof Friedrichstadt im Westen der Stadt über das Gleisnetz der Dresdner Straßenbahn beliefert wird. Dadurch wird eine beträchtliche Zahl täglicher Lkw-Fahrten durch die Dresdner Innenstadt eingespart.

Grundsätzlich wird die Verkehrsplanung der Zukunft auch durch eine zunehmende Vernetzung der Kraftfahrzeuge untereinander (Car-to-Car-Kommunikation) und mit festen Einrichtungen (z.B. mit Lichtsignalanlagen und mit Belegungssystemen von Parkhäusern) bestimmt werden, was u.a. dazu führen wird, dass die Verkehrsinfrastruktur sowohl des städtischen und regionalen Verkehrs als auch des Fernverkehrs besser (d.h. gleichmäßiger) ausgelastet und sicherer wird. Im öffentlichen Personenverkehr wird die Einführung von E-Ticketing und von Routeninformationssystemen ebenfalls eine komfortable Nutzung ermöglichen.

Auch zukünftige Änderungen verkehrlicher Verhaltensweisen der Bevölkerung, die durch die in Abschnitt 9.1 beschriebenen Entwicklungen verursacht werden können, führen aller Voraussicht nach zu neuen Mobilitätsmustern, deren Auswirkungen auf das Verhalten derzeit noch kaum vorherzusehen sind.

Grundsätzlich beruht der Planungsprozess wegen der Unvorhersehbarkeit der Zukunft auf zwar in der Regel plausiblen, aber dennoch mit Unsicherheiten behafteten Annahmen. Trotz dieser Unsicherheiten sind aber (nicht nur im Verkehrsbereich) in die Zukunft gerichtete Planungen erforderlich, um die sich über die Zeit verändernden Rahmenbedingungen und Anforderungen an ein Verkehrssystem aufgreifen und berücksichtigen zu können. Dazu soll das vorliegende Buch einen Beitrag leisten, indem es die wesentlichen Schritte des Verkehrsplanungsprozesses beschreibt.

Anhang

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.1: Entwicklung der Bevölkerungsanzahl in Deutschland [Quelle: Statistisches Bundesamt, Bevölkerung Deutschlands bis zum Jahre 2060 – 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden, 2009]
- Abb. 1.2: Räumliche Zu- und Abwanderung der Bevölkerung [Quelle: Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung 2009 – Die Zukunft der Dörfer. www.berlin-institut.org]
- Abb. 1.3: Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland [Quelle: Statistisches Bundesamt, 2009]
- Abb. 2.1: Entstehung von Ortsveränderungen
- Abb. 2.2: Dichtemodell für Hamburg und Umland – Wohndichteverteilung im Einzugsbereich von Schnellbahnhaltestellen [Quelle: FHH (Hrsg.): Generalverkehrsplan Region Hamburg; Freie und Hansestadt Hamburg, 1979]
- Abb. 2.3: Varianten von Schulstandorten in einem Stadtteil [Quelle: Köhler, U., Konzepte zur Verkehrsvermeidung, enthalten in: Verkehr, Straße, Schiene, Luft, Ernst und Sohn, 2001]
- Abb. 2.4: Prozess der Verkehrsplanung [Quelle: Leitfaden für Verkehrsplanungen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2001]
- Abb. 3.1: Ergebnis einer Knotenstromzählung
- Abb. 3.2: Kennzeichenerhebung zur Erfassung des Durchgangs-, Ziel- und Quellverkehrs der Gemeinde
- Abb. 3.3: Erhebungsarten und Erfassungszweck
- Abb. 4.1: Zusammenhang zwischen der Anzahl der Einwohner von Wohngebieten i (E_i) und dem Quellverkehrsaufkommen der Wohngebiete (Q_i)
- Abb. 4.2: Straßennetz des Beispiels
- Abb. 4.3: Abhängigkeit zwischen Verkehrsbelastung und Fahrzeit auf den drei Routen des Beispiels
- Abb. 4.4: Lösungsschema für das Sukzessivverfahren
- Abb. 4.5: Beispiel für den Dijkstra-Algorithmus [Quelle: [17]]
- Abb. 4.6: Streckenorientierte Netzbeschreibung; k_i sind Teilknoten, in die ein echter Knoten aufgelöst wird [Quelle: [10]]
- Abb. 4.7: Einteilung eines Untersuchungsraumes in Verkehrszellen
- Abb. 4.8: Simultaner Aufbau der Verkehrs nachfragemodellierung [Quelle: in Anlehnung an [12]]
- Abb. 4.9: Verkehrsbeziehungsma trix für ein Verkehrsmittel
- Abb. 5.1: Prognose der Weltbevölkerungsentwicklung
- Abb. 5.2: Gleitender Durchschnitt – Beispiel
- Abb. 5.3: Zwei Mobilitätsszenarien für Deutschland (2030)
- Abb. 6.1: Verbindungs funktionsstufen im Straßennetz [Quelle: in Anlehnung an RIN [22]]
- Abb. 6.2: Angebotsstufen im ÖPNV-Netz für den ländlichen Raum [Quelle: in Anlehnung an [23]]

- Abb. 6.3: Beispiele für Verkehrsräume und lichte Räume beim Begegnen, Nebeneinander- und Vorbeifahren ausgewählter Kombinationen von Bemessungsfahrzeugen (Klammermaße: mit eingeschränkten Bewegungsspielräumen) [Quelle: [24]]
- Abb. 6.4: Empfohlene Querschnitte für die typische Entwurfssituation »Sammelstraße« [Quelle: [24]]
- Abb. 6.5: Regelquerschnitte für Autobahnen der EKA 3 (Abmessung in [m]) [Quelle: [26]]
- Abb. 6.6: Einsatzbereiche der Regelquerschnitte für Autobahnen der EKA 3 [Quelle: [26]]
- Abb. 6.7: Schleppkurve eines Lkw [Quelle: »Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit in Verkehrsflächen«, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2001]
- Abb. 6.8: Orientierungswerte für die Kapazität von innerörtlichen Kreisverkehren [Quelle: [27]]
- Abb. 6.9: Beispiel der Radverkehrsführung in einem Knotenpunktarm mit strassenbegleitenden Radwegen innerhalb bebauter Gebiete [Quelle: [24]]
- Abb. 6.10: Erfassung der Belegung einer Parkierungsanlage [Quelle: Umdruck des Instituts für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, 1975]
- Abb. 6.11: Spezifische Tagesganglinien für Stadtkerngebiete in Oberzentren mit weniger als 400 000 Einwohnern [Quelle: [30]]
- Abb. 6.12: Radfahrstreifen für geradeaus fahrenden und links abbiegenden Radverkehr [Quelle: [31]]
- Abb. 6.13: Einsatzbereiche von Querungsanlagen auf der Strecke von zweistreifigen Innerortsstraßen <8,50 m Fahrbahnbreite [Quelle: [32]]
- Abb. 6.14: Besonderer Bahnkörper in Mittellage mit Seitenmasten und Sicherheitsraum im Seitenbereich [Quelle: Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs EAÖ; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2013]
- Abb. 6.15: Grundformen von Bushaltestellen in Seitenlage [Quelle: [33]]
- Abb. 6.16: Einsatzbereiche für die Anlage von Haltestellenkaps an zweistreifigen Hauptverkehrsstraßen [Quelle: [33]]
- Abb. 6.17: Straßenbahnhaltestelle mit Zeitinsel und angehobener Fahrbahn [Quelle: nach [24]]
- Abb. 6.18: Vergleich zwischen Pkw-, ÖPNV- und P+R-Nutzung an einem Beispiel
- Abb. 6.19: Nachfragebereiche öffentlicher und individueller Verkehrssysteme
- Abb. 7.1: A-Kurve zur Bewertung unterschiedlicher Frequenzen im Verkehrsbereich [Quelle: [35]]
- Abb. 7.2: Grafische Ermittlung des resultierenden Schallpegels L_g aus zwei Einzellschallpegeln L_1 und L_2 [Quelle: [36]]
- Abb. 7.3: Anteile von CO₂ in der Atmosphäre (in parts per million ppm) [Quelle: 4. Sachstandsbericht IPCC (Intergovernmental found on Climate change)]
- Abb. 7.4: Treibhauseffekt
- Abb. 7.5: Getötete im Straßenverkehr der Bundesrepublik Deutschland [Quelle: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung]
- Abb. 7.6: Monatliche Anzahl getöteter Pkw-Insassen mit Berücksichtigung der Einführung der Sicherheitsgurtpflicht [Quelle: [38]]
- Abb. 7.7: Anzahl verletzter und getöteter Menschen VOR und NACH Einführung von Tempo 30 in Hamburg [Quelle: Baubehörde Hamburg, 1989]
- Abb. 7.8: 10-Minuten-Isochrone einer Buslinie, bezogen auf die Anfangshaltestelle i

- Abb. 8.1: Beispiel für eine eindimensionale multikriterielle Wirkungsanalyse
- Abb. 8.2: Ablauf einer mehrdimensionalen Wirkungsanalyse
- Abb. 8.3: Beispiel einer Skalentransformation
- Abb. 8.4: Formaler Ablauf der Nutzwertanalyse
- Abb. 8.5: Transformationsfunktionen
- Abb. 8.6: Wirksamkeiten und Kosten verschiedener Alternativen
- Abb. 8.7: Gewichtung der Reisezeitdifferenzen [Quelle: [44]]
- Abb. 9.1: Zuzüge nach und Wegzüge von Frankfurt am Main [Quelle: Frankfurter Statistische Berichte]
- Abb. 9.2: Zuzüge nach und Wegzüge von Frankfurt am Main – nur Umland [Quelle: Frankfurter Statistische Berichte]
- Abb. 9.3: Bisherige und prognostizierte Entwicklung der weltweiten Erdölproduktion [Quelle: [46]]
- Abb. 9.4: Kraftstoffpreise in Deutschland in Cent pro Liter [Quelle: www.statista.com]
- Abb. 9.5: Entwicklung der Personenverkehrsleistung, Szenario »Gereifter Fortschritt« [Quelle: [19]]. Werte bis 2008: DIW 2009; Wert 2009: Progtrans Verkehrskonjunkturreport 2009/2010
- Abb. 9.6: Entwicklung der Güterverkehrsleistung, Szenario »Gereifter Fortschritt« [Quelle: [19]]. Werte bis 2008: DIW 2009; Wert 2009: Progtrans Verkehrskonjunkturreport 2009/2010
- Abb. 9.7: Bedienungskorridor mit bandförmiger Struktur
- Abb. 9.8: Richtungsbandbedienung
- Abb. 9.9: Bedienungskorridor mit disperser Siedlungsstruktur
- Abb. 9.10: Kombinierte Bus- und Bedarfsbedienung
- Abb. 9.11: CargoTram Dresden [Quelle: VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH/Dresdner Verkehrsbetriebe AG]

Die Abbildungen 2.4, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.9, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.17 sind mit Erlaubnis der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. auszugsweise aus dem FGSV-Regelwerk wiedergegeben worden. Neben den Quellen [22], [23], [24], [26], [30], [31], [32] in den angegebenen Fassungen sind dies im Einzelnen:

- »Leitfaden für Verkehrsplanungen« (2001) FGSV-Nr. 116,
- »Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit in Verkehrsflächen« (2001) FGSV-Nr. 287,
- »Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ)« (2013) FGSV-Nr. 289.

Maßgebend für das Anwenden des FGSV-Regelwerkes ist dessen Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die beim FGSV Verlag, Wesselinger Str. 17, 50999 Köln, www.fgsv-verlag.de, erhältlich ist.

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1.1: Verkehrssystem
- Tabelle 1.2: Mobilitätsdaten der Bevölkerung in Deutschland 2008 [Quellen: Mobilität in Deutschland (MiD2008); infas, DLR, im Auftrag des BMVBS; Das Deutsche Mobilitätspanel (MOP2008); KIT, Institut für Verkehrswesen, im Auftrag des BMVBS]
- Tabelle 1.3: Modal Split im binnennärdischen Personenverkehr 2009 (bezogen auf die Verkehrsleistung) [Quelle: Verkehr in Zahlen 2010/2011]
- Tabelle 1.4: Modal Split im Personenverkehr (bezogen auf die Wege) - Personen ab 10 Jahren [Quelle: MiD2008]
- Tabelle 1.5: Modal Split der Einwohner von Frankfurt am Main 2008 [Quelle: [3]]
- Tabelle 1.6: Modal Split im binnennärdischen Güterverkehr 2009 (bezogen auf die Güterverkehrsleistung) [Quelle: Verkehr in Zahlen 2010/2011]
- Tabelle 2.1: Obergrenzen für die Geschossflächenzahl und die Grundflächenzahl [Quelle: Baunutzungsverordnung (BauNVO, § 17)]
- Tabelle 4.1: Aktivitätenmuster
- Tabelle 6.1: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Verkehrswegekategorien für den Kfz-Verkehr [Quelle: [22]]
- Tabelle 6.2: Kategorien der Verkehrswege für den Kfz-Verkehr und angestrebte mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten [Quelle: [22]]
- Tabelle 6.3: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Verkehrswegekategorien für den öffentlichen Personenverkehr [Quelle: [22]]
- Tabelle 6.4: Kategorien für den öffentlichen Personenverkehr und angestrebte Beförderungsgeschwindigkeiten [Quelle: [22]]
- Tabelle 6.5: Verknüpfungsmatrix zur Ableitung von Verkehrswegekategorien für den Radverkehr [Quelle: [22]]
- Tabelle 6.6: Kategorien von Verkehrs wegen für den Radverkehr und angestrebte Fahrgeschwindigkeiten für den Alltagsradverkehr [Quelle: [22]]
- Tabelle 6.7: Spezifisches Tageszielverkehrsaufkommen nach Gebietstypen [Quelle: [30]]
- Tabelle 6.8: Spezifische Kenngrößen des Parkverhaltens für Stadt kerngebiete in Oberzentren mit weniger als 400 000 Einwohnern [Quelle: [30]]
- Tabelle 6.9: Werte des Berechnungsbeispiels
- Tabelle 6.10: Haltestelleneinzugsbereiche (Luftlinie) [Quelle: [23]]
- Tabelle 7.1: Schallpegel verschiedener Schallquellen
[Quelle: www.hug-technik.com/inhalt/ta/schallpegel_laermpegel.html]
- Tabelle 7.2: Immissionsgrenzwerte für die Lärmvorsorge nach der Verkehrslärmschutzverordnung vom 21.06.1990 [Quelle: 16 BlmSchV]
- Tabelle 7.3: Immissionsgrenzwerte der EU [Quelle: EU-Richtlinie 2008/50/EG]
- Tabelle 7.4: Unfallraten vor und nach Einführung von Tempo 100 auf Bundes- und Landesstraßen [Quelle: Projektgruppe Tempo100, Bundesanstalt für Straßenwesen, 1975]
- Tabelle 8.1: Beispiel eines Zielsystems für ein Oberziel
- Tabelle 8.2: DatenTabelle des Beispiel
- Tabelle 8.3: Zielerträge k_{ij}

-
- Tabelle 8.4: Ergebnisse des Beispiels zur Nutzwertanalyse
- Tabelle 9.1: Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland 2008 und 2030 [Quelle: [19]]
- Tabelle 9.2: Modal Split im binnennländischen Personenverkehr (bezogen auf die Verkehrsleistung)
[Quelle 2030: nach [19]]
- Tabelle 9.3: Modal Split im binnennländischen Güterverkehr (bezogen auf die Verkehrsleistung)
[Quelle 2030: nach [19]]

Literaturverzeichnis

- [1] Pirath, C.: Die Grundlagen der Verkehrswirtschaft. 2.Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1949
- [2] Beckmann, K. J.: Mobilität. In: Köhler, U. (Hrsg.): Verkehr – Straße, Schiene, Luft. Berlin: Verlag Ernst und Sohn, 2001
- [3] SrV: System repräsentativer Verkehrsbefragungen. TU Dresden, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, im Auftrag der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Verkehr, 2008
- [4] Le Corbusier: Grundfragen des Städtebaus. Stuttgart: Verlag Gerd Hatje, 1945
- [5] Gertz, C.; Polzin, G.: Stand der Verkehrsentwicklungsplanung – Ergebnisse einer Städteumfrage in Deutschland. Straßenverkehrstechnik 53 (2009), Nr. 12, S. 769–777
- [6] Sachs, L.: Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden. 10.Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1997
- [7] Chlond, B.; Dargang, J. et al.: Demotorisation seen through panel surveys: a Comparison of France, Britain and Germany. The physical and social dimensions of travel; 10th International Conference on Travel Behaviour Research. Lucerne, 2003
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE). Köln: FGSV Verlag: 2011*
- [9] Mäcke, P. A.; Hensel, H.: Arbeitsmethode der städtischen Verkehrsplanung. Wiesbaden/Berlin: Bauverlag GmbH, 1975
- [10] Wermuth, M.: Verkehrsnachfragemodelle. In: Köhler, U. (Hrsg.): Verkehr – Straße, Schiene, Luft. Berlin: Verlag Ernst und Sohn, 2001
- [11] Kutter, E.: Demographische Determinanten städtischen Personenverkehrs. TU Braunschweig, Institut für Straßenbauwesen (Hrsg.), Nr. 9, 1972
- [12] Köhler, U.; Zöllner, R.; Wermuth, M.; Emig, J.: Analyse der Anwendung von Verkehrsnachfrage-modellen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Nr. 804, Bonn, 2001
- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Hinweise zur Schätzung des Verkehrsaufkommens von Gebietstypen. Köln: FGSV Verlag: 2006*
- [14] Schmiedel, R.: Bestimmung verhaltensähnlicher Personenkreise für die Verkehrsplanung. Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung der Universität Karlsruhe, Heft 18. Karlsruhe, 1984
- [15] PTV: Programmbeschreibung VISUM-IV. Karlsruhe: PTV System GmbH, 1991
- [16] PTV: Programmbeschreibung VISUM-ÖV. Karlsruhe: PTV System GmbH, 1991
- [17] Dijkstra, E.W.: A Note on two problems in connection with graphs. In: Numerische Mathematik 1. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag: 1959
- [18] Gorißen, N.; Schmitz, St.: Verkehrsentwicklung und Bundesverkehrswegeplanung im vereinten Deutschland. Informationen zur Raumentwicklung. Einige kritische Anmerkungen angesichts der Konsequenzen für die Umwelt. Informationen zur Raumentwicklung 4 (1992), S. 193–207
- [19] ifmo (Hrsg.): Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030. Institut für Mobilitätsforschung (ifmo), München: BMW AG, 2010
- [20] Beckmann, K.J.: Ziele der Verkehrsplanung. In: Verkehr – Straße, Schiene, Luft. Berlin: Verlag Ernst und Sohn, 2001
- [21] Schönharting, J.: Integrierte Netzgestaltung: Konzeptioneller Ansatz und Qualitätsziele; Straßenverkehrstechnik, Heft 7, 1997

- [22] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN). Köln: FGSV Verlag 2008*
- [23] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Empfehlungen für Planung und Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs. Forschungsprojekt 70.837/2009 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Köln: FGSV Verlag, 2010*
- [24] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06). Köln: FGSV Verlag, 2008*
- [25] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL). Köln: FGSV Verlag, 2012*
- [26] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA). Köln: FGSV Verlag, 2008*
- [27] Brilon, W.; Wu, N.: Kapazität von Kreisverkehren – Aktualisierung. Straßenverkehrstechnik 52 (2008), Nr. 5, S. 280–288
- [28] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren. Köln: FGSV Verlag, 2006*
- [29] Haller, W.; v. Lübke, H.: Parkraumkonzepte für Klein- und Mittelstädte. Straßenverkehrstechnik 38 (1994), Nr. 5, S. 279–289
- [30] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR 05). Köln: FGSV Verlag, 2005*
- [31] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA); Köln: FGSV Verlag, 2010*
- [32] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA 02). Köln: FGSV Verlag 2002*
- [33] Köhler, U.; Strauß, S.; Wichmann, S.: Auswirkungen von Haltestellen auf Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität innerstädtischer Hauptverkehrsstraßen. Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 1998 (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Verkehrstechnik; 57)
- [34] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Hinweise zur Verkehrsvermeidung und Verkehrsverlagerung im Personen- und Güterverkehr. Köln: FGSV Verlag, 1999*
- [35] Krell, K.: Handbuch für Lärmschutz an Straßen- und Schienenwegen. Darmstadt: Otto Elsner Verlagsgesellschaft, 1980
- [36] Bundesministerium für Verkehr BMV (Hrsg.): Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS 90). Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn, 1990
- [37] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Hinweise zur EU-Umweltgesetzgebung in der Verkehrsplanungspraxis. Teil 2: Lärmaktionsplan. Köln: FGSV Verlag 2011*
- [38] Brühning, E. et al: Aufbereitung und Auswertung von Fahrzeug- und Unfalldaten. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Köln, 1989
- [39] Schwarze, B.: Erreichbarkeitsindikatoren in der Nahverkehrsplanung. Univ. Dortmund, Fakultät Raumplanung, Institut für Raumplanung -IRPUD- (Hrsg.). Arbeitspapier 184, 2005
- [40] Köhler, U.: Erreichbarkeit im Personenverkehr. Straßenverkehrstechnik 55 (2011), Nr. 10, S. 663–666
- [41] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Hinweise zu Einsatzbereichen von Verfahren zur Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung. Köln: FGSV Verlag 2010*

- [42] Köhl, W.: Standortsuche für das Gewerbezentrum Ochsenhausen mit dem Formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahren FAR. VR Vermessungswesen und Raumordnung 60 (1998), Nr. 2/3, S. 66–82
- [43] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Beurteilung und Abwägung in der Verkehrsplanung mithilfe des Formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahren (FAR). Köln: FGSV Verlag, 2002*
- [44] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS (Hrsg.): Standardisierte Bewertung von Verkehrsinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs. Bonn, 2006
- [45] Brilon, W.: Zuverlässigkeit statt Schnelligkeit. Straßenverkehrstechnik (2010), Nr. 5
- [46] IEA (Hrsg.): World Energy Outlook; International Energy Agency, Paris, 2010
- [47] Altmann, M., Lechtenböhmer, S. et. al.: Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health; Studie für das Umwelt-Komitee des Europäischen Parlaments, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Wuppertal-Institut, 2011
- [48] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Übergänge in den post-fossilen Verkehr. Köln: FGSV Verlag, 2013*
- [49] Köhler, U.: ÖPNV-Planung in nachfrageschwachen Räumen. In: Verkehrsplanung, Straßenentwurf, Verkehrsmanagement – Festschrift 100 Jahre Max-Erich Feuchtinger und Bruno Wehner. Köln: FGSV Verlag, 2009
- [50] Strauß, S.: City-Logistik – Ein Instrument zur Verringerung des städtischen Güterverkehrs; Schriftenreihe Verkehr des Fachgebietes Verkehrssysteme und Verkehrsplanung der Universität Kassel, Heft 7, Kassel: 1997

Weitere Literatur zur Verkehrsplanung

- Kirchhoff, P.: Städtische Verkehrsplanung-Konzepte-Verfahren-Maßnahmen. Wiesbaden: Teubner-Verlag, 2002
- Schnabel, W., Lohse, D.: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2: Verkehrsplanung. Berlin/Wien/Zürich/Bonn: Beuth-Verlag, Kirschbaum-Verlag, 2011
- Steierwald, G., Künne, H.D., Vogt, W. (Hrsg.): Stadtverkehrsplanung – Grundlagen, Methoden, Ziele. Berlin/Heidelberg/New York: Springer Verlag, 2005

* Maßgebend für das Anwenden des FGSV-Regelwerkes ist dessen Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die beim FGSV Verlag, Wesselinger Str. 17, 50999 Köln, www.fgsv-verlag.de, erhältlich ist.

Stichwortverzeichnis

A

- Abwägungs- und Rangordnungsverfahren 128, 130
- Aggregatmodell 32, 36, 45
- Altersaufbau (der Bevölkerung) 11, 12
- Anfahrwahrscheinlichkeit 153
- AnrufSammelTaxi 94, 99, 153
- Anwohnerparkzone 87

B

- B+R-Anlage 96
- Bahnkörper
 - besonderer 91, 92
 - straßenbündiger 65, 68, 91
 - unabhängiger 65, 67, 91
- Barrierefreiheit 89
- Bebauungsdichte 19, 63
- Bedarfsbedienung 152, 153, 154
- Bedarfshaltestelle 152, 153, 154
- Bedienungsgebiet 94
- Bedienungsqualität 94
- Betriebsbefragung 27, 28
- Bewertungsverfahren 124, 144
- Binnenschiffsverkehr 16, 96, 150
- Binnenverkehr 27, 28, 35, 54
- Biokraftstoff 147
- Bruttogeschossfläche 34, 81
- Busbucht 91
- Buskap 91
- Bussonderfahrstreifen 91, 93

C

- CargoTram 16, 27, 155
- Car-to-Car-Kommunikation 98, 156
- Charta von Athen 18
- City-Logistik 155

D

- Dijkstra-Routensuch-Algorithmus 48
- Durchgangsverkehr 24, 26, 27, 28, 55
- Dynamisches Parkleitsystem 87

E

- Einrichtungsradweg 88
- Eisenbahnverkehr 14, 16, 105, 150
- Elektroantrieb 113, 147, 149
- Eliminationsverfahren 128, 129
- Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs 82, 83, 87, 154
- Empfehlungen für Planung und Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs 92, 94
- Entscheidungsfindung 124, 125
- Erreichbarkeit 44, 101, 103, 119, 121, 122, 123, 126, 136, 141
- Erschließungsqualität 94
- Erwerbsquote 35
- E-Ticketing 156

F

- Fahrradstraße 88
- Feinstaub 63, 110, 111, 127
- Flächenbedarf 103, 104, 130, 131, 132
- Formalisiertes Bewertungsverfahren 130, 132
- Fossile Energieträger 110, 111, 147
- Fundamentalgleichung des Verkehrs 104
- Fußgängerüberweg 90
- Fußgängerverkehr 5, 14, 15, 17, 19, 64, 66, 68, 73, 76, 88, 89, 103
- Fußgängerzone 64, 65, 89
- Fußwegenetz 64, 89

G

- Gehweg 64, 76, 89
- Geschossflächenzahl 19, 34, 36
- Geschwindigkeitsbegrenzung 73, 101, 113, 115, 118, 129
- Gleichgewichtsmodell 32
- Grundflächenzahl 19
- Güterverkehr 9, 15, 16, 27, 28, 96, 103, 121, 150, 154
- Güterverkehrszentrum 96, 101

H

- Haltestelleneinzugsbereich 94, 95
- Haltestellenkap 91, 92, 93
- Haushaltsbefragung 26, 27, 28, 29, 33, 37, 41, 42, 51
- Hybridantrieb 113, 147, 149

I

- Individualverkehrsmodell 32, 41
- Induzierter Verkehr 103
- Informatorische Maßnahmen 101
- Integraler Taktfahrplan 97
- Integrierte Planung 64
- Intermodale Verlagerung 102
- Intramodale Verlagerung 102
- Isochrone 119, 120

K

- Kaldorkriterium 124, 133
- Kalibrierung 31, 42, 142
- Kardinalskala 127, 135
- Katalysator 17, 110
- Kennzeichenerhebung 24, 25
- Knotenpunkt 24, 56, 73, 74, 76, 88
- Knotenwiderstand 48
- Kohlendioxid 63, 110, 111, 112, 113
- Kohlenmonoxid 110, 111
- Kohlenwasserstoffe 110
- Kordonbefragung 26, 28
- Kordonerhebung 51
- Kreisverkehr 74, 76, 77, 78, 79, 115

L

- Lärmaktionsplan 109, 110
- Lärmemission 103, 105
- Lärm minderungsplan 23, 109, 110
- Linienplanung 94
- Linienverkehr 94, 152, 153
- Logistische Funktion 57, 154
- Logit-Modell 41, 114
- Luftqualität 113
- Luftreinhalteplan 23
- Luftschadstoff 113

M

- Makroskopisches Verkehrsmodell 56
- Maut 64, 101, 150, 151
- Messfehler 31
- Methode der direkten Nutzenmessung 30
- Methode des gleitenden Durchschnitts 57
- Mikroskopisches Verkehrsmodell 56
- Mobilitätsrate 13
- Modal Split 14, 15, 16, 39, 150
- Modellerstellung 31
- Modellprognose 59
- Motorisierter Individualverkehr 14, 15, 150
- Multikriterielle Wirkungsanalyse 129

N

- Nahverkehrsplan 23, 94, 95
- Nichtformalisiertes Bewertungsverfahren 128
- Nominalskala 127
- Nutzenfunktion 41, 42, 43
- Nutzen-Kosten-Analyse 132, 133, 135, 140, 141, 142
- Nutzergleichgewicht 32
- Nutzwertanalyse 132, 135, 136, 137, 138, 140, 141

O

- Oberziel 126, 127, 136, 138, 143
- Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) 5, 15, 91
- ÖPNV-Netz 68, 136
- Ordinalskala 127

P

- P+R-Anlage 64, 95
- Panelerhebung 27, 29
- Pareto kriterium 124
- Parkdauer 79, 80, 81
- Parkregelung 79
- Parksuchverkehr 87
- Parkzweck 81
- Partikelfilter 17, 110
- Planungsgebiet 51, 60
- Prognose 11, 23, 57, 58, 59, 60, 154

Q

Quellverkehr 24, 25, 27, 28, 31, 35, 36, 37, 52, 54

R

Radfahrstreifen 64, 87, 88, 89
Radialnetz 65
Radverkehr 5, 14, 15, 16, 64, 66, 68, 72, 73, 87, 88, 89, 103, 154
Radwegenetz 64
Rangordnungsverfahren 128
Rasternetz 18, 65
Raumstruktur 15, 17, 102
Regionalbahn 97, 98, 153
Regionalbus 68, 99
Reisezeitbudget 103
Reurbanisierung 21
Richtlinien für die Anlage von

- Autobahnen 73, 76
- Landstraßen 73, 76
- Stadtstraßen 73, 76, 87

Richtlinien für integrierte Netzgestaltung 65
Richtungsbandbedienung 152, 153
Ringnetz 65
Rohrfernleitung 16, 150
Routeninformationssystem 156
Routenwahlmodell 45, 47, 55
Ruhender Verkehr 79
Rußpartikel 110

S

Sammelstraße 73, 75
S-Bahn 14, 19, 63, 67, 91, 94, 96, 98, 150
Schallintensität 105, 106
Schallpegel 105, 106, 107, 108, 109
Schleppkurve 76, 77
Schülerverkehr 12, 152
Schwefeldioxid 110, 111
Sensitivitätsanalyse 135, 138, 143
Sicherheitsgurtpflicht 114, 116, 117
Simulatives Modell 32
Skalentransformation 135, 136
Stadtautobahn 69, 73

Stadtbaum 15, 67, 68, 71, 91, 94, 98, 150, 154, 155

Städtischer Bus 99

Stadtstruktur 10, 18

Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeeinrichtungen des öffentlichen Personennahverkehrs 141, 142, 143, 144

Stellplatzangebot 82

Stellplatzsatzung 81, 87

Stickstoffmonoxid/-dioxid 110

Straßenbahn 9, 15, 65, 67, 68, 71, 73, 91, 93, 94, 95, 98, 106, 121, 150, 154, 155

Straßengüterverkehr 16, 96, 101, 150

Straßennetz 18, 48, 55, 64, 65, 67, 76, 105, 114, 129, 150

Suburbanisierung 19, 21

Sukzessivverfahren 45, 46, 47

Systemgleichgewicht 32

Szenariotechnik 59, 60

T

Taxi 99, 138

Teilformalisiertes Bewertungsverfahren 128

Tempo-30-Zone 88, 116

Trendprognose 57, 59

U

U-Bahn 9, 15, 63, 67, 71, 91, 94, 98, 114, 150

Umlegungsmodell 47, 48

Umschlagziffer 79, 81

Umweltzone 110, 113

Unfallkostenrate 116, 118

Unfallmaßzahl 116

Unfallrate 116, 118, 119

Untersuchungsgebiet/Untersuchungsraum 44, 51, 52, 54, 55, 79, 82, 86, 114, 127, 141

Unterwegszeit 13

Unterziel 126, 127, 136, 138, 143

V

Validierung 31

Verbindungsqualität 43, 94

Verhaltensbeeinflussung 64, 101

- Verhaltenshomogene Gruppe 32, 33, 36, 37, 38, 41, 42, 44, 45, 51, 52
 Verkehrsaufkommen 11, 13, 19, 21, 31, 34, 38, 81, 109, 151
 Verkehrsaufwandsminderung 64
 Verkehrsbeziehungsmatrix 54, 55, 114
 Verkehrsichte 104
 Verkehrserhebung 23, 24, 30, 51
 Verkehrserzeugungsmodell 34, 36
 Verkehrsinfrastruktur 63, 101, 115, 147, 156
 Verkehrslärm 106
 Verkehrslärmschutzverordnung 106, 107
 Verkehrsleistung 13, 14, 19, 21, 62, 114, 116, 118, 150, 155
 Verkehrsmenge 24
 Verkehrsmittelwahlmodell 39, 43
 Verkehrsmodell 31, 56
 Verkehrs nachfrage 10, 11, 13, 23, 32, 51, 60, 94, 141, 142
 Verkehrs nachfragemodell 23, 32, 34, 56
 Verkehrsnetz 32, 39, 45, 47, 48, 51, 55, 64, 66, 74, 142
 Verkehrsorganisation 64, 101
 Verkehrsplanungskonzept 63
 Verkehrsplanungsprozess 21, 23, 24, 60, 124, 156
 Verkehrssicherheit 65, 101, 103, 114, 116, 119, 126
 Verkehrsstärke 76, 79, 104, 106
 Verkehrsstrommodell 32
 Verkehrssystem 5, 9, 10, 17, 21, 60, 62, 64, 65, 95, 98, 100, 101, 102, 103, 114, 122, 132, 141, 144, 150, 156
 Verkehrstechnik 30, 101
 Verkehrsverflechtung 24, 26
 Verkehrsverlagerung 60, 64, 102, 103, 142
 Verkehrsvermeidung 20, 64, 102, 103
 Verkehrsverteilungsmodell 43
 Verkehrszelle 51, 52, 54, 55
 Vernetzung 64, 95, 96, 98, 101, 150, 156
 Verträglichkeitsanalyse 128, 129
- W**
- Wegekette 26, 32, 33, 34, 37, 38, 44, 45, 51, 52, 54
 Wegekettenmodell 32
 Wegemuster 24, 26, 37
 Widerstandsfunktion 43, 44
 Wirksamkeits-Kosten-Analyse 132, 140
 Wirkungsabschätzung 102
 Wirkungsberechnung 102, 113
 Wirkungsprofil 129, 130
- Z**
- Zielerfüllungsgrad 135, 136, 138, 139, 140
 Zielertrag 135, 136, 138, 139
 Zielfunktion 32, 135
 Zielkriterium 131, 132, 136, 138, 139, 140
 Zielsystem 124, 125, 126, 127, 128, 138, 143
 Zielverkehr 27, 28, 35, 36, 54, 86
 Zweirichtungsradweg 88

Uwe Köhler

Einführung in die Verkehrsplanung

Grundlagen, Modellbildung, Verkehrsprognose, Verkehrsnetze

Das Buch gibt einen umfassenden Einblick in die Grundlagen und den gesamten Prozess der Verkehrsplanung. Der Autor erläutert die Zusammenhänge von Stadt, Raum und Verkehr, stellt Methoden und Verfahren der Verkehrserhebung, -modellierung und -prognose vor und beschreibt moderne verkehrsplanerische Konzepte mit ihren spezifischen Wirkungen.

Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem landgebundenen Stadt- und Regionalverkehr, während der Fernverkehr nur am Rand betrachtet wird. Der Autor macht deutlich, dass alle Verkehrsarten (Fußverkehr, Radverkehr, öffentlicher Personennahverkehr und Kraftfahrzeugverkehr) in der Verkehrsplanung gleichgewichtig zu behandeln sind. Dem Kraftfahrzeugverkehr wird dabei zwangsläufig mehr Aufmerksamkeit gewidmet als dem Fußverkehr, weil seine Anforderungen an das gesamte Verkehrssystem komplexer sind und somit komplexere Lösungen erfordern.

Mit einer Zusammenstellung der verschiedenen Verfahren zur Entscheidungsfindung und einem Ausblick auf die Zukunft des Verkehrs bietet das Buch einen kompakten, aber vollständigen Überblick über das komplexe Thema Verkehrsplanung.

Der Autor: Professor Dr.-Ing. Uwe Köhler leitete von 1989 bis 2009 das Fachgebiet Verkehrssysteme und Verkehrsplanung der Universität Kassel. Er war Partner der Ingenieursozietät BGS in Frankfurt am Main und dort für den Verkehrsplanungsbereich zuständig. Im Jahre 1999 gründete er das Planungsbüro VKT Verkehrsplanung Köhler und Taubmann GmbH in Frankfurt am Main und in Dresden, dessen Gesellschafter er bis heute ist.



ISBN 978-3-8167-9041-9



9 783816 790419