

„Angebotsabhängige Modellierung der reisezweckspezifischen Verkehrserzeugung und ihre Anwendung auf den städtischen Freizeitverkehr“

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Andreas Oetting

aus Aachen

**Berichter: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Wulf Schwanhäußer
Universitätsprofessor Dr.-Ing. Ullrich Martin**

Tag der mündlichen Prüfung: 28.02.2002

**Diese Dissertation ist auf den Internetseiten
der Hochschulbibliothek online verfügbar.**

Inhaltsverzeichnis

	Abbildungsverzeichnis	7
	Tabellenverzeichnis	9
	Variablenverzeichnis	12
1	Einleitung	17
2	Stand der Forschung	20
2.1	Verkehrserzeugungsmodelle ohne Unterscheidung nach Wegezwecken	20
2.1.1	Literaturrecherchen anderer Autoren	20
2.1.2	Strukturorientierte und sozio-demographische Modelle	21
2.1.3	Modelle zum induzierten Verkehr	22
2.1.4	Reisezeit- und Kostenkomponenten als Modellparameter	24
2.1.5	Individualfaktorenmodelle	28
2.1.6	Fazit	29
2.2	Freizeitverkehr	29
2.2.1	Bedeutung und Beeinflussbarkeit	29
2.2.2	Psychologische Ursachen des Freizeitverkehrs	31
2.2.3	Maßnahmenkataloge zur Beeinflussung des Freizeitverkehrs	32
2.2.4	Einflussfaktoren auf die Freizeitverkehrsnachfrage	32
2.2.5	Großveranstaltungen, (Wochenend-) Ausflüge und Tourismus	33
2.2.6	Verkehrsnachfragemodelle	34
2.2.7	Empirische Beschreibung der Verkehrsnachfrage	37
2.2.8	Langfristige Entwicklung des Freizeitverkehrs	40
2.2.9	Fazit	41

2.3	Verkehrsangebotsmodellierung	42
2.3.1	Literaturübersicht	42
2.3.2	Verkehrsangebotsmodellierung und Modal-Split nach Walther	44
2.3.3	Fazit	49
2.4	Folgerungen für das weitere Vorgehen	50
3	Konzept für die Entwicklung eines neuen Verkehrserzeugungsmodells	51
3.1	Problemstellung	51
3.2	Definition verwendeter Begriffe	52
3.2.1	Kenngroße mit der Einheit Wege pro Person und Tag – „Mobilitätsrate“	52
3.2.2	Unterscheidung nach mobilen und nicht mobilen Personen – „Mobilitätsrate Aller“, „Mobilitätsrate der Mobilen“ und „Verkehrsbeteiligungsquote“	53
3.2.3	„Teilmobilitätsrate“	54
3.2.4	Induzierter Verkehr	54
3.2.5	Summe der Wege über alle Reisezwecke	54
3.2.6	Freizeitverkehr	55
3.3	Anforderungen an die Modellierung und Lösungsansätze	56
3.3.1	Sicherstellung der Maßnahmenreagibilität	57
3.3.2	Umfassende Absicherung des Modellzusammenhangs	58
3.3.3	Deduktion zur Modellbestimmung	58
3.3.4	Plausibilitätskontrollen bei der Modellvalidierung	59
3.3.5	Quantifizierung des induzierten Verkehrs	59
3.3.6	Ansätze zur Berechnung der Kenngrößen des Verkehrsangebots	59
3.4	Vorgehensweise	60

4	Theoretische Herleitung eines neuen Verkehrserzeugungsmodells	63
4.1	Kenngößen und Vorgehensweise	63
4.1.1	Kenngöße des Verkehrsangebots	63
4.1.2	Kenngößen der Verkehrserzeugung	64
4.1.3	Vorgehensweise	66
4.2	Anforderungen aus der Maßnahmenreagibilität des Verkehrserzeugungsmodells	66
4.2.1	Ziel	66
4.2.2	Anforderungen an die Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen	67
4.2.3	Anforderungen an die Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote	68
4.3	Anforderungen aus der Maßnahmenreagibilität der Verknüpfung von Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell	71
4.3.1	Art der Verknüpfung von Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell	71
4.3.2	Kompatibilität der einzelnen Modelle und Maßnahmenreagibilität des entstehenden Modellkomplexes	75
4.3.3	Fazit	85
4.4	Herleitung des Modellansatzes für die Mobilitätsrate der mobilen Personen	85
4.4.1	Vorüberlegungen	85
4.4.2	Herleitung der Funktionsschar	86
4.4.3	Herleitung eines Modellansatzes	90
4.4.4	Überprüfung des Ansatzes	93
4.4.5	Fazit	93
4.5	Herleitung des Modellansatzes für die Verkehrsbeteiligungsquote und theoretische Überprüfung des Verkehrserzeugungsmodells	94
4.5.1	Vorüberlegungen	94
4.5.2	Herleitung der Funktionsschar	94
4.5.3	Herleitung eines Modellansatzes	97
4.5.4	Überprüfung des Ansatzes	99
4.5.5	Fazit	99
4.6	Folgerungen	100

5	Ansätze zur Berechnung der Kenngrößen des Verkehrsangebots	101
5.1	Grundlagen	101
5.2	Relevanz der einzelnen Kenngrößen	106
5.2.1	Allgemeines	106
5.2.2	Modal-Split	106
5.2.3	Verkehrserzeugung	112
5.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	115
5.3	Die verkehrsmittelunabhängige Kenngröße Einkommen	116
5.4	Motorisierter Individualverkehr	120
5.4.1	Beförderungszeit	120
5.4.2	Differenzierung des Parkraumangebots	129
5.4.3	Parkstandssuchzeit	139
5.4.4	Abgangszeit	159
5.4.5	Zugangszeit	166
5.4.6	Parkkosten	166
5.4.7	Kraftstoffverbrauch	171
5.4.8	Kraftstoffkosten	171
5.4.9	Betriebskosten	171
5.4.10	Besetzungsgrad	172
5.4.11	Komfort	176
5.5	Öffentlicher Personennahverkehr	177
5.5.1	Zu- und Abgangszeit	177
5.5.2	Fahrzeugfolgezeit, Beförderungszeit, Umsteigezeit	179
5.5.3	Komfort	180
5.5.4	Pünktlichkeit	180
5.5.5	Kosten	186
5.6	Fußgängerverkehr und Fahrradverkehr	191
5.6.1	Ziele und Vorgehen	191
5.6.2	Ansatz für die Widerstandsformulierung	191

5.6.3	Zeitbewertungsfunktionen	192
5.6.4	Stadtspezifische Qualitätsfaktoren	194
5.6.5	Zusammenfassung	197
5.7	Fazit	197
6	Modellvalidierung	199
6.1	Ziel und Methode	199
6.2	Vorgehensweise	200
6.2.1	Arbeitsschritte	200
6.2.2	Auswahl der Erhebungsdaten	200
6.2.3	Vorgehensweise bei der Bestimmung der verkehrsmittelspezifischen Widerstände	203
6.2.4	Plausibilitätsprüfungen der verkehrsmittelspezifischen Widerstände	212
6.2.5	Fazit	218
6.3	Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für alle Wege	219
6.3.1	Plausibilitätsprüfungen – alle Wege	219
6.3.2	Validierung – alle Wege	227
6.3.3	Fazit – alle Wege	230
6.4	Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für den Freizeitverkehr	231
6.4.1	Plausibilitätsprüfungen – Freizeitwege	231
6.4.2	Validierung – Freizeitwege	233
6.4.3	Fazit – Freizeitwege	239
6.5	Validierung des Ansatzes zur Berechnung der Qualität im Fahrradverkehr	240
6.6	Abbildungsgenauigkeit	242
6.7	Wesentliche Ergebnisse	243

7	Modellanwendungen	245
7.1	Berechnung des induzierten Verkehrs	245
7.2	Verkehrsmodellierung auf der Basis von Verkehrszellen und Verkehrsnetzen	251
7.2.1	Ziel und Methode	251
7.2.2	Widerstandsermittlung	251
7.2.3	Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung	252
7.2.4	Anwendungsbeispiel	260
8	Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten	263
8.1	Beliebige Anzahl von Verkehrsmitteln	263
8.2	Überlegungen zur Validierung für den Fernverkehr	267
9	Zusammenfassung und Ausblick	269
10	Quellenverzeichnis	272
10.1	Literaturverzeichnis	272
10.2	Verzeichnis der Datenquellen	284
	Verzeichnis der Anhänge	293
	Verzeichnis der Anlagen	307

Abbildungsverzeichnis

- 1.1: Aufteilung der Wege nach Zwecken; BRD 1998

- 2.1: Aufteilung der Wege auf die Wochentage
- 2.2: Tagesganglinien
- 2.3: Modal-Split für *alle Wege* und die *Freizeitwege*
- 2.4: Aktivitäten in der Freizeit in Deutschland
- 2.5: Merkmale des Verkehrsangebots (hier ohne Fußgänger- und Fahrradverkehr)
- 2.6: Zeitbewertungsfunktionen für das Warten
- 2.7: Qualität und Komfort

- 3.1: Grundsätzlicher Aufbau der Arbeit

- 4.1: Untere Schranke der Mobilitätsrate der Mobilen
- 4.2: Verlauf der Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen
- 4.3: Theoretische Schranken für die Verkehrsbeteiligungsquote
- 4.4: Realistischer Wertebereich für die Verkehrsbeteiligungsquote
- 4.5: Verlauf der Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote
- 4.6: Interdependenzen von Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell
- 4.7: Aussagen zum Verkehrsverhalten

- 5.1: Bedeutung von Angebotsmerkmalen nach Fahrtzweck im ÖPNV in Hannover
- 5.2: Zusammenhang zwischen dem Abstand zweier Halte und der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit
- 5.3: Beispiel für die Bestimmung der Beförderungsgeschwindigkeit im MIV
- 5.4: Differenzierung des Parkraumangebots
- 5.5: Anteil der Haltevorgänge (außerhäusige Ziele)
- 5.6: Parkstandssuchzeit t_{PS} über Auslastungsgrad ρ für kurze Zeitintervalle

- 5.7: Bestimmung der Parkstandssuchzeit bei Straßenrandparken – *alle Wege*
- 5.8: Zusammenhang zwischen Parkstandssuch- und Abgangszeit für Straßenrandparken
- 5.9: Verteilungsfunktion der Fahrzeugankünfte an einer Haltestelle
- 5.10: Nutzungshäufigkeit von ÖPNV-Monatskarten ohne Zielgruppenbeschränkung
- 5.11: ÖPNV-Kosten für *Freizeitfahrten* im Verhältnis zu *allen Wegen* als Funktion der Entfernung

- 6.1: Zeitreihen für die Beförderungsfälle und die Verkehrsleistung der Leipziger Verkehrsbetriebe
- 6.2: Gegenüberstellung von Summenlinien der Wegeweiten nach Stadttypen
- 6.3: Abhängigkeit der Mobilitätsrate der Mobilien vom Gesamtsystem-Widerstand für *alle Wege*: Wertepaare und Regression
- 6.4: Abhängigkeit der Verkehrsbeteiligungsquote vom Gesamtsystem-Widerstand für *alle Wege*: Wertepaare und Regression
- 6.5: Abhängigkeit der Mobilitätsrate der Mobilien vom Gesamtsystem-Widerstand für den *Freizeitverkehr*: Wertepaare und Regression
- 6.6: Abhängigkeit der Verkehrsbeteiligungsquote vom Gesamtsystem-Widerstand für den *Freizeitverkehr*: Wertepaare und Regression
- 6.7: Abhängigkeit der Mobilitätsrate Aller vom Gesamtsystem-Widerstand für den *Freizeitverkehr*: Wertepaare und Regression
- 6.8: Abhängigkeit des Quotienten $\gamma_R / W_{GS, \text{ohne } R}$ von der Note für den Fahrradverkehr: Wertepaare und Regression

- 7.1: Konzeption des Planungsalgorithmus
- 7.2: $Z_{j, \text{rel}}$ über die Wegeweite bei homogener Verteilung der Ziele im Raum
- 7.3: Prinzipskizze zum Anwendungsbeispiel für die Bestimmung des relations-spezifischen Verkehrsaufkommens
- 7.4: Vergleich der Wegeweiten-Häufigkeitsverteilungen aus Modell und Erhebung für den Binnenverkehr in Bonn 1991

Tabellenverzeichnis

- 1.1: Korrelationsanalyse für die Anzahl der Wege pro Person und Tag
- 2.1: Beispiel für Verkehrsnachfrageberechnungen mit dem Modell von Vallée
- 2.2: Beispiel für die Modellierung des Verkehrsangebots nach Walther
- 4.1: Bedeutung der Gründe für die Nicht-Teilnahme am Verkehr in % sowie Berechnung der maximalen Verkehrsbeteiligungsquote
- 5.1: Erforderliche alternative Änderungen eines ÖPNV-Widerstandsparameters zur Reduzierung des ÖPNV-Anteils um fünf Prozent
- 5.2: Erforderliche alternative Änderungen eines MIV-Widerstandsparameter zur Reduzierung des MIV-Anteils um fünf Prozent
- 5.3: Erforderliche alternative Änderungen des Faktors im Fußgänger-beziehungsweise Fahrradverkehr zur Reduzierung des entsprechenden Modal-Split Anteils um fünf Prozent
- 5.4: Änderung des Gesamtsystem-Widerstands bei Reduzierung des entsprechenden Modal-Split Anteils um fünf Prozent
- 5.5: Abschätzung der erforderlichen alternative Änderungen der Widerstandsparameter zur Reduzierung der Mobilitätsrate Aller um 1,5 Prozent
- 5.6: Wöchentliche Arbeitszeit und Erwerbsminuten nach Jahren
- 5.7: Formeln und Beispiel zur Berechnung des Einkommens
- 5.8: Größenordnung der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit in km/h
- 5.9: Beispiele Anhaltewahrscheinlichkeiten
- 5.10: Beförderungszeitzuschlag nach Stundengruppe
- 5.11: Beispiel zur Berechnung der Beförderungszeit im MIV
- 5.12: Anteil der Haltevorgänge (außerhäusige Ziele)
- 5.13: Formeln und Beispiel zur Berechnung der Anteile der auf einen Parkstandstyp entfallenden Parkvorgänge – *alle Wege*
- 5.14: Erhobene Werte für die Parkstandssuchzeit am Straßenrand

-
- 5.15: Formeln und Beispiel zur Berechnung der Auslastung und der Parkstands-
suchzeit für Straßenrandparken – *alle Wege*
 - 5.16: Parameter zur reisezweckspezifischen Abschätzung von Pkw-Zielverkehr
 - 5.17: Formeln und Beispiel zur Berechnung der Auslastung und der Parkstands-
suchzeit für Straßenrandparken – *Freizeitwege*
 - 5.18: Formeln und Beispiele zur Berechnung der Abgangszeit für Parkbauten und
Vergleich mit erhobenen Werten
 - 5.19: Formeln und Beispiel zur Festlegung des leistungsbezogenen Besetzungs-
grads – *alle Wege*
 - 5.20: Formeln und Beispiel zur Berechnung der Zu- und Abgangszeit im ÖPNV für
die Innenstadt
 - 5.21: Beispiel zur Berechnung der reisezweckspezifischen Fahrzeugfolgezeit als
Angebotskenngröße
 - 5.22: Gegenüberstellung der Pünktlichkeit bei *allen Wegen* und den *Freizeitwegen*
 - 5.23: Berechnung des mittleren Preises pro Fahrt im ÖPNV
 - 5.24: Mittlere ÖPNV-Kosten und Wegeweiten nach Preisstufen
 - 5.25: Formeln und Beispiel zur entfernungsabhängigen Berechnung der Kosten für
eine Freizeitfahrt mit dem ÖPNV (Düsseldorf '90)
 - 5.26: Bewertung der Angebotsqualität im Fußgängerverkehr

 - 6.1: Verkehrserhebungen nach dem KONTIV-Design als Grundlage für die
Modellvalidierung
 - 6.2: Maximale Wegeweite in Abhängigkeit vom Stadttyp und dem Anteil der
zugrunde liegenden Wege an allen Wegen in km
 - 6.3: Gegenüberstellung von Vergleichssplit und berechnetem Modal-Split in % –
alle Wege
 - 6.4: Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient der
Qualitätsfaktoren für Fußgänger- und den Fahrradverkehr
 - 6.5: Qualitätsfaktor γ_F für den Fußgängerverkehr in Abhängigkeit von der
Zentralität
 - 6.6: Gegenüberstellung von erhobenen und berechneten Wegeweiten in km (1)
 - 6.7: Gegenüberstellung von erhobenen und berechneten Wegeweiten in km (2)

-
- 6.8: Gegenüberstellung von Vergleichssplit und berechnetem Modal-Split in % – *Freizeitwege*
 - 6.9: Stadtspezifische Werte dreier Kenngrößen zum Freizeitverhalten
 - 6.10: Statistische Auswertung der Übereinstimmung zwischen den erhobenen und den berechneten Werten

 - 7.1: Beispiel für Nachfrageberechnungen mit dem neuen Verkehrserzeugungsmodell – Widerstandsänderung im MIV
 - 7.2: Beispiel für Nachfrageberechnungen mit dem neuen Verkehrserzeugungsmodell – Widerstandsänderung im ÖV sowie im ÖV und im MIV
 - 7.3: Beispiel zur simultanen Ermittlung des relationsspezifischen Verkehrsaufkommens
 - 7.4: Vergleich berechneter und erhobener Werte für Kenngrößen der Verkehrsnachfrage für den Binnenverkehr in Bonn 1991

Variablenverzeichnis

Größe	Benennung	gebräuchliche Einheit
<u>Längenmaße</u>		
l	Wegeweite	km
\bar{l}	mittlere Wegeweite	km
l_H	Luftlinienentfernung	m
l_{ij}	Entfernung von i nach j	km
s	Abschnittslänge	m
<u>Zeiten</u>		
t	Zeit	min
t_B	Beförderungszeit	min
t_B^*	Beförderungszeitzuschlag	min
$t_{B, \text{Ist}}$	Ist-Beförderungszeit	min
$t_{B, \text{Soll}}$	Soll-Beförderungszeit	min
$t_{F, \text{an}}$	Fußwegzugangszeit	min
$t_{F, \text{ab}}$	Fußwegabgangszeit	min
$t_{F, \text{SR}}$	Fußwegzeit vom / zum Parkstand am Straßenrand	min
$t_{F, \text{Luftlinie}}$	Fußwegzeit für die Luftlinienentfernung	min
t_{F1}	Fußwegzeit außerhalb von Parkbauten	min
t_{F2}	Fußwegzeit innerhalb von Parkbauten	min
t_{Ff}	Fahrzeugfolgezeit	min
t_U	Umsteigezeit	min
t_v	Fahrplanabweichung	min
\bar{t}_v	mittlere Fahrplanabweichung aller Kurse	min
\bar{t}_{v1}	mittlere Verspätung der verfrühten Kurse	min
\bar{t}_{v2}	mittlere Verspätung der verspäteten Kurse	min
<u>Geschwindigkeiten</u>		
v	Geschwindigkeit	km/h
$V_{F, \text{max}}$	zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit	km/h

Größe	Benennung	gebräuchliche Einheit
<u>Widerstände</u>		
w	Widerstand	WE
\bar{w}	Ersatzwiderstand	WE
w_{GS}	Gesamtsystem-Widerstand	WE
$w_{GS, \text{ ohne } n}$	Gesamtsystem-Widerstand ohne das Verkehrsmittel n	WE
$w_{I,m}$	Widerstand für einen Weg mit dem Verkehrsmittels m in der Entfernungsstufe I	WE
w_x	Nutzungswiderstand für das Jahr x	WE
<u>Mobilitätsraten</u>		
M	Mobilitätsrate	$\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
$M_{M,0}$	Mobilitätsrate der Mobilen bei einem Gesamtsystem-Widerstand gegen Null	$\frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}}$
TM_m	Teilmobilitätsrate für das Verkehrsmittel m	$\frac{\text{Wege mit } m}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
<u>sonstige Größen</u>		
a_{EW}	Anteil der ÖPNV-Fahrten der Einwohner an allen ÖPNV-Fahrten	
a_h	reisezweckbezogener Anteil der Wege der Stunde(ngruppe) h	
$a_{I,m}$	Anteil der Wege, die in einer Entfernungsstufe I mit einem Verkehrsmittel m zurückgelegt werden, an allen Wegen im Untersuchungsgebiet	
A	Einzugsgebiet	km ²
A_i	Anteil der Parkstände des Parkstandstyps i	
A_m	Modal-Split Anteil des Verkehrsmittels m	
B_F	fahrtenbezogener Besetzungsgrad	$\frac{\text{Personen}}{\text{Pkw} - \text{Fahrt}}$
B_L	leistungsbezogener Besetzungsgrad	$\frac{\text{Personen}}{\text{km}}$
B_P	Treibstoffverbrauch	l / 100 km
E	Einkommen	DM / Minute
EW	Einwohner eines untersuchten Gebietes	

Größe	Benennung	gebräuchliche Einheit
<u>sonstige Größen</u> (Fortsetzung)		
F	Wegeanzahl	$\frac{\text{Wege}}{\text{Tag}}$
F _{ij}	Anzahl der Wege auf einer Relation i - j	$\frac{\text{Wege}}{\text{Tag}}$
F _{ÖPNV}	Anzahl der ÖPNV-Fahrten pro Jahr	$\frac{\text{Wege}}{\text{Jahr}}$
g _i	nahverkehrssystembezogenes Gewicht zur Berücksichtigung von Fahrzeuggröße und Auslastung	
G	Anzahl der Pkw-Fahrten pro Pkw und Tag	$\frac{\text{Pkw - Fahrten}}{\text{Pkw} \cdot \text{Tag}}$
1/H	Anzahl der Halte je Kilometer	1 / km
K	Kosten	DM
K _{Benzin}	Benzinkosten	DM / l
K _{Betr.}	Betriebskosten	DM / km
K _{Parken}	Parkkosten pro Parkvorgang	DM
L _{m(l)}	Verteilungsfunktion der Längen der Wege mit dem Verkehrsmittel m	
n _i	Anzahl der Kurse pro Zeiteinheit	
N	Anzahl der Haltestellen im Gebiet	
N	Anzahl der Parkbauten	
N _i	Anzahl der Parkstände des Parkstandstyps i	
N _n	Note für den Gesamteindruck vom Verkehrsmittel n	
N _R	Note für den Fahrradverkehr	
p	Anteil der zeitweise abgemeldeten Pkw	
P _x	Treibstoffpreis im Jahr x	DM / l
p _{v1}	Wahrscheinlichkeit, dass ein Kurs vor Plan verkehrt	
p _{v2}	Wahrscheinlichkeit, dass ein Kurs Verspätung hat	
PV _i	Anzahl der Parkvorgänge beim Parkstandstyp i	

Größe	Benennung	gebräuchliche Einheit
<u>sonstige Größen (Fortsetzung)</u>		
U_F	Umwegfaktor für Fußwege	
UR_i	Umschlagrate bei Parkstandstyp i	
VB	Verkehrsbeteiligungsquote	in %
VB_{FrV}	Verkehrsbeteiligungsquote im Freizeitverkehr	in %
V_x	Treibstoffverbrauch im Jahr x	l / 100 km
$Z_{j,rel}$	relative Maßzahl für die Zielgelegenheiten einer Zelle j	
ZA_j	Zielattraktivität einer Zelle j	
ZB (t)	Zeitbewertungsfunktion	
α	Kosten-Äquivalenzfaktor	
α_B	Äquivalenzfaktor für Betriebskosten	
γ	Faktor für den nicht-motorisierten Verkehr	
λ_l	Anteil der Wege, die auf die Entfernungsstufe l entfallen	
μ	Anzahl der Verkehrsmittel	
μ	Mittelwert	
v	einzelnes Verkehrsmittel einer Gruppe	
ρ	Auslastungsgrad der Stellplätze	
σ	Standardabweichung	
<u>Indizes</u>		
A	Index für alle Personen	
B	Index für Beförderung	
F	Index für zu Fuß / Fußweg	
FrV	Index für Freizeitverkehr	
k	Index für Komponente	
K	Index für die Kosten	
l	Index für die Wegeweite	
m	Index für ein Verkehrsmittel	
M	Index für die mobilen Personen	
MIV	Index für den Motorisierten Individualverkehr	

Größe	Benennung	gebräuchliche Einheit
<u>Indizes (Fortsetzung)</u>		
n	Index für ein Verkehrsmittel, für das sich der Widerstand ändert	
N	Index für „Nach der Modal-Split Änderung“	
nach	Index für eine Größe nach der Einführung eines zweiten Verkehrsmittels	
ÖPNV	Index für den Öffentlichen Personennahverkehr	
ÖV	Index für den Öffentlichen Verkehr	
PB	Index für Parkbauten	
PS	Index für Parkstandssuche	
r	Index für eine Route	
R	Index für das Verkehrsmittel Rad	
SR/PP	Index für Straßenrand und Parkplätze	
V	Index für „Vor der Modal-Split Änderung“	
vor	Index für eine Größe vor der Einführung eines zweiten Verkehrsmittels	
w	Index für Warten	
x	Index für das Untersuchungsjahr	

1 Einleitung

Entscheidungsträger in Verkehrsunternehmen, Verkehrspolitiker, Interessengemeinschaften u. v. a. versuchen im Sinne ihrer verkehrspolitischen Ziele Einfluss auf die Verkehrsnachfrage zu nehmen. Angestrebte Nachfrageänderungen lassen sich insbesondere durch Maßnahmen im Verkehrsangebot erzielen. Um die Wirkungen möglicher Maßnahmen(pakete) am Verkehrsmarkt nicht nur qualitativ sondern auch quantitativ ermitteln zu können, ist die Kenntnis der Wirkungszusammenhänge zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage unabdingbar.

Diese Wirkungszusammenhänge beschränken sich jedoch nicht allein auf Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsverteilung, für die die Zusammenhänge bereits weitgehend in unterschiedlichsten Modellen beschrieben sind. Auch die **Verkehrserzeugung**, zum Beispiel angegeben als die Anzahl der Wege pro Person und Tag, hängt von der Qualität des Verkehrsangebots ab, da Veränderungen der Qualität grundsätzlich zu induziertem Verkehr führen.

Dieser Wirkungszusammenhang hat eine große Bedeutung für die Anzahl der pro Person und Tag zurückgelegten Wege. Das bestätigt beispielsweise eine Korrelationsanalyse von Spiegel [81], deren Ergebnis Tabelle 1.1 auszugsweise wiedergibt.

Variable		Korrelationskoeffizient
wegbezogene Variablen	durchschnittliche Länge aller Wege	-0,7734 **
	durchschnittliche Dauer aller Wege	-0,7347 **
	durchschnittlicher Fußweg bei ÖV-Fahrten	-0,5672 *
sozio-demographische Merkmale	Anteil Personen unter 18 Jahren	-0,5887 *
	Anteil Personen zwischen 18 und 60 Jahren	0,1355
	Anteil Personen über 60 Jahren	0,1855
	Anteil Vollerwerbstätige	0,2653
	Anteil der im Haushalt tätigen Personen	-0,1448
	Anteil Personen in Ausbildung (Schule, Lehre,...)	-0,2954
2-seitige Signifikanz: ** < 1 ‰; * < 1 %		

Tabelle 1.1: Korrelationsanalyse für die Anzahl der Wege pro Person und Tag
(Auszug aus [81, Tabelle 4.20])

Das sozio-demographische Merkmal, das in [81, Tabelle 4.20] den betragsmäßig höchsten Korrelationskoeffizienten erreicht, ist der auch in Tabelle 1.1 aufgeführte Anteil der Personen unter 18 Jahren. Insgesamt gesehen fällt die Korrelation zur Verkehrserzeugung für wegbezogene Merkmale dem Betrag nach deutlich höher aus als für sozio-demographische Variablen. Eine zweiseitige Signifikanz von weniger als einem Promille erreichen nur wegbezogene Kenngrößen. Üblicherweise wird die Verkehrserzeugung in Verkehrsplanungsmodellen bisher allerdings anhand sozio-demographischer Merkmale berechnet.

Eine Unterscheidung nach **Reisezwecken** bei der Verkehrserzeugung ermöglicht differenzierte Aussagen zum Umfang und zur Sensitivität der Verkehrsnachfrage gegenüber Verkehrsangebotsveränderungen. Sie ist zudem bei Modellanwendungen in der Praxis die Voraussetzung für eine konsequentere Ausrichtung des Verkehrsangebots auf reisezweckspezifische Erfordernisse. Wie Abbildung 1.1 zeigt, stellt der Freizeitverkehr den bezüglich des Verkehrsaufkommens bedeutendsten Reisezweck dar.

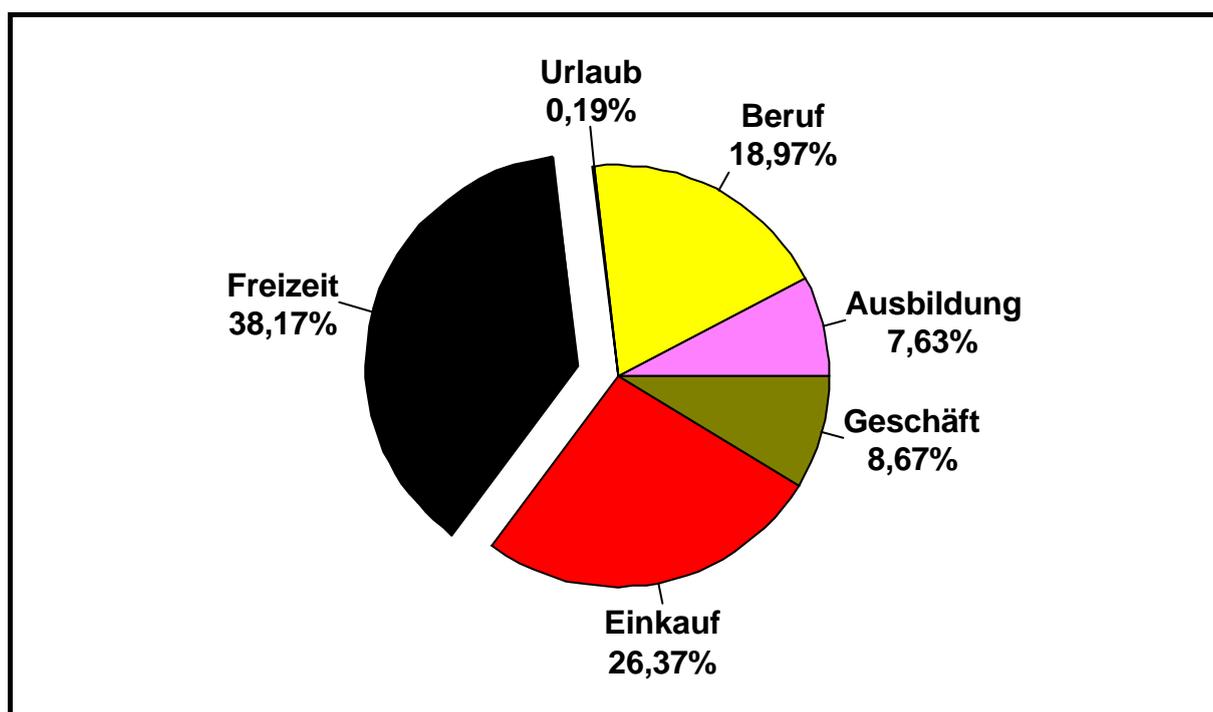


Abbildung 1.1: Aufteilung der Wege nach Zwecken; BRD 1998 (nach [111,2000])

Hinsichtlich der Verkehrsnachfragemodellierung ist der Reisezweck Freizeit jedoch am wenigsten erforscht. In der vorliegenden Arbeit soll deshalb ein maßnahmenreagibles Verkehrserzeugungsmodell für den Freizeitverkehr entwickelt werden.

Um dafür den bisher wenig erforschten Einfluss des Verkehrsangebots auf die Verkehrserzeugung modellieren zu können, bedarf es einer geeigneten **Abbildung der Qualität des Angebots**. Zur bisher üblichen Berücksichtigung von Verkehrsangebotsmerkmalen in Verkehrsnachfragemodellen merken Ben-Akiva / Lerman im Jahr 1985 an: „The statistical demand models in use typically treat utility as a function of a vector of observed, physically measured attributes. This approach does not explicitly represent the process by which physically measured attributes are perceived and acted on by individual decision makers. It has been proposed that individuals assess alternatives by first constructing some intermediate variables and then evaluate their alternatives based on these intermediate constructs“ [7, Seite 363f]. Demnach ist es wichtig, mit Hilfe von „intermediate constructs“ zu berücksichtigen, wie die Menschen physikalisch messbare Angebotsmerkmale subjektiv bewerten.

Zur gleichen Erkenntnis kommt 1998 McFadden: „empirical study of economic behaviour would benefit from closer attention to how perceptions are formed and how they influence decision-making“ [55]. Die subjektive Bewertung fällt für die einzelnen Angebotsmerkmale unterschiedlich aus (beispielsweise ist Fahren angenehmer als Warten). Einer unterschiedlichen Bewertung dieser Merkmale kommt deshalb, wie etwa die Arbeit von Tzieropoulos aus dem Jahr 1980 [84, Kapitel 5.4] zeigt, für die Qualität der Nachfrageschätzung große Bedeutung zu.

Basierend auf seinen früheren einschlägigen Arbeiten seit 1973 stellt Walther fest: „Die subjektive Zeitbewertung ist also in ihrer allgemeinen Form nicht – wie in der Literatur bisher üblich (...) – mit einem konstanten Wert beschreibbar, sie ist vielmehr eine Funktion, die mit zunehmendem Zeitaufwand überproportional wachsende Werte annimmt“ [88, Seite 19].

Reisezweckspezifische Verkehrserzeugungsmodelle mit einer solchen umfassenden Abbildung des Verkehrsangebots und einer nicht-linearen subjektiven Bewertung existieren nicht. In Anbetracht dieser **Wissenslücke** ist das Ziel dieser Arbeit, ein maßnahmenreagibles Modell zur Verkehrserzeugung ohne Unterscheidung nach Reisezwecken mit entsprechender Angebotsmodellierung auf den Freizeitverkehr zu übertragen.

2 Stand der Forschung

- 2.1 Verkehrserzeugungsmodelle ohne Unterscheidung nach Wegezwecken
- 2.2 Freizeitverkehr
- 2.3 Verkehrsangebotsmodellierung
- 2.4 Folgerungen für das weitere Vorgehen

In diesem Kapitel werden existierende Modelle unter dem Gesichtspunkt geprüft, ob sie für die in dieser Arbeit zu lösende Aufgabe herangezogen werden können. Eine umfassende Bewertung aller Eigenschaften der Modelle ist im Rahmen dieser Arbeit weder sinnvoll noch möglich.

2.1 Verkehrserzeugungsmodelle ohne Unterscheidung nach Wegezwecken

2.1.1 Literaturrecherchen anderer Autoren

Literaturrecherchen zu Verkehrserzeugungsmodellen, die das Verkehrsangebot berücksichtigen, haben Vallée [85] im Jahr 1994 und Kessel + Partner [44] im Frühjahr 1997 durchgeführt. Vallée kommt zu dem Schluss, „daß auch das Verkehrsangebot einen bedeutenden Einfluß ausübt. Diese offensichtlich wesentliche Determinante der Mobilität ist bisher nicht ihrer Bedeutung entsprechend berücksichtigt worden“. Stattdessen „wurden überwiegend soziodemographische Merkmale und die damit verbundenen Unterschiede zwischen den Personengruppen als ausschlaggebend für die Aktivitätennachfrage, und damit unmittelbar auch für die Mobilität, angesehen“ [85, Seite 34].

Kessel + Partner stellen fest: „Die erste Stufe bildet die Verkehrserzeugung. In dieser Stufe werden die Mobilitätsfaktoren von Personen analysiert und aufgrund von Stichprobendaten ein Modell zur Verkehrserzeugung entwickelt. Mit Hilfe dieses Modells wird die Verkehrsnachfrage – in der Regel regional und nach Segmenten unterschieden – in Form von Wegeaufkommen abgeleitet. Eingangsgrößen sind dabei beobachtete sozio-demographische Strukturdaten, aus denen das Wegeaufkommen pro Person abgeleitet und auf eine Grundgesamtheit hochgerechnet wird.

Auf das spezifische Verhalten der beobachteten Verkehrsteilnehmer, das zu den individuellen Mobilitätsraten führt, wird indirekt aus der Segmentzugehörigkeit der betreffenden Personen geschlossen. Die Einbeziehung von Angebotsvariablen, die sich aus der Verkehrsinfrastruktur und den persönlichen Gegebenheiten der Personengruppe ableiten lassen, wird mit Ausnahme von Merkmalen wie Pkw-Verfügbarkeit und Führerscheinbesitz nur rudimentär vorgenommen.“ [44, Seite 32]

Im August 1997 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ein Workshop zur Situationsanalyse bei Nachfragemodellen durchgeführt [15]. Für die Mehrzahl der dort vorgestellten Modelle treffen die Aussagen von Vallée und Kessel + Partner zu. Ausnahmen bilden die Modelle VACLAV, VIA (von Mkmtric), Polydrom sowie die Modelle von Kessel+Partner und des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen (VIA). Diese Modelle werden im Folgenden nach ihrer Zugehörigkeit zu den verschiedenen Modelltypen zusammen mit nach 1997 erschienenen Publikationen besprochen.

2.1.2 Strukturorientierte und sozio-demographische Modelle

Mit strukturorientierten Modellen „wird die Gesamtanzahl aller Wege aus einem Gebiet heraus (Q) oder in ein Gebiet hinein (Z) in Abhängigkeit von den Strukturgrößen einer Raumeinheit (Verkehrszelle) für einen bestimmten Zeitraum (z. B. einen Werktag) ermittelt“ [77, Seite 16]. Bei sozio-demographischen Modellen wird „die Verkehrsnachfrage aus verhaltenshomogenen Personengruppen und zugehörigen Tätigkeits- bzw. Verhaltensmustern errechnet“ [77, Seite 17].

Viele der traditionellen Modelle zählen zu diesen Modelltypen, so auch mehrere der bei dem oben genannten Workshop [15] vorgestellten Modelle. Zwei jüngere Beispiele sind die Modelle von Lohse et al. [52] und Zängler [96]. Lohse et al. verwenden in ihrem Modell einen Personengruppenansatz.

Zängler, der im Wesentlichen ebenfalls mit personen- und haushaltsbezogenen Merkmalen arbeitet, lässt in sein Modell einzelne Parameter des Verkehrsangebots und deren Bewertung einfließen. Als Beispiele seien die Anbindung an den öffentlichen Verkehr und die Zufriedenheit mit dieser Anbindung genannt.

Hunecke / Wulfhorst [42] weisen auf die Bedeutung des Verkehrsangebots für die alltäglichen Mobilitätsentscheidungen hin. Zudem „können Lebensstilmerkmale die gängigen Modelle der Verkehrserzeugung ergänzen, die bisher vor allem objektive sozio-demographische Merkmale berücksichtigen“ [42, Seite 561].

Charakteristisch für die in diesem Abschnitt besprochenen Modellkategorien ist, dass als Modellparameter bisher hauptsächlich objektive personen- und haushaltsbezogene Merkmale einfließen, nicht jedoch Parameter des Verkehrsangebots. Die angestrebte Abbildung des Zusammenhangs zwischen Verkehrserzeugung und Verkehrsangebot ist mit diesen Modellen nicht möglich.

2.1.3 Modelle zum induzierten Verkehr

In Modelle zur Berechnung des induzierten Verkehrs müssen gemäß seiner Definition (vergleiche zum Beispiel Kapitel 3.2.4) Angebotsmerkmale einfließen. Insofern könnten diese Modelle geeignet sein, um im Rahmen dieser Arbeit auf eine reisezweckspezifische Betrachtung übertragen zu werden.

Als Kenngrößen des Verkehrsangebots zur Berechnung des induzierten Verkehrs berücksichtigen Kessel + Partner [44] Reisezeit und Reisekosten. Diesen stehen konstante, maßnahmenunabhängige Reisezeit- und Reisekostenbudgets gegenüber. „Eine andere Verkehrsnachfrage führt zu einer anderen ‚Verweildauer im Netz‘ und zu anderen durch Verkehrsnachfrage bedingte Kosten. Diese lassen sich nach der Verteilungs-, Modal-Split- und Umlegungsrechnung ermitteln. In der Rückkopplungsschleife werden diese Ergebnisse in das Erzeugungsmodell zurückgeführt, um bei Restriktionsverletzungen eine entsprechende Änderung der Verkehrsnachfrage zu bewirken. Das Modell ist also sequentiell aufgebaut und arbeitet iterativ.“ [44, Seite 96]

Aufgrund der Art der Validierung wird das Modell im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiterverfolgt: „Bei einer Befragung von 120 Haushalten wurden zum einen tatsächlich durchgeführte Einkaufs- und Freizeitwege, zum anderen mit einer Stated-Preference-Erhebung die Einflüsse der verkehrlichen Angebote und außerverkehrlicher Qualitätsparameter auf Mobilität und Zielwahl erhoben“ [44, Kurzfassung des Kurzberichts]. Stated-Preference-Erhebungen haben methodenimmanente Nachteile, die in der Literatur [75] bereits ausreichend beschrieben worden sind. Der Umfang der Befragung erscheint auch den Autoren selbst vergrößerungswürdig.

Im Modell VACLAV wird induzierter Verkehr „berücksichtigt, indem Zeit- und Kostenbudgets sowie Verhaltensänderungswahrscheinlichkeiten vorgegeben und die Fahrtenzahlen dann iterativ angepasst werden“ [15, Seite 6]. VACLAV modelliert den Personenfernverkehr, weswegen der nicht-motorisierte Verkehr nicht explizit abgebildet wird. Für die vorliegende Arbeit ist das Modell daher nicht problemlos verwendbar.

Sowohl das Modell von Kessel + Partner als auch das Modell VACLAV basieren auf der Annahme konstanter Zeitbudgets. Die Existenz solcher Budgets ist seit geraumer Zeit umstritten. Cerwenka stellt beispielsweise fest: „Das Gesetz vom ‚konstanten Reisezeitbudget‘ erweist sich dabei als ein (eher unwahrscheinlicher) Sonderfall von unendlich vielen denkbaren Nachfragefunktionen, in denen *nur* die Reisezeit als unabhängige Variable aufscheint“ [21, Seite 325]. Auch nach einer Untersuchung von Vallée „kommen Befragungen in unterschiedlichen Städten zu so divergierenden Ergebnissen, dass die These der Existenz eines stabilen Reisezeitbudgets nachhaltig in Frage gestellt werden muss.“ [85, Seite 28]

Die „Standardisierte Bewertung von Verkehrsweginvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs“ [39] umfasst ein Modell zur Prognose der Verkehrsnachfrage. Darin wird nach zahlreichen Merkmalen des Verkehrsangebots unterschieden. Diese Differenzierung ermöglicht, die verschiedenen, zum Teil nicht-linearen Bewertungen der einzelnen Reisezeitkomponenten, zu berücksichtigen. Aus den Reisezeitkomponenten und ihrer Bewertung ergeben sich die das Verkehrsangebot beschreibenden Widerstände. Die Berechnung des induzierten Verkehrs „beruht auf der Arbeitshypothese stabiler Widerstandsbudgets“ [72, Seite 9]. Dies geschieht im Hinblick auf „das Ziel, die Entscheidungsgrundlagen für den Einsatz öffentlicher Investitionsmittel nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz zu vereinheitlichen, um die Beurteilung von örtlich, technisch und verkehrswirtschaftlich unterschiedlichen Vorhaben nach gleichen Maßstäben zu ermöglichen“ [39, Seite 7].

Daher beschränkt sich die Berechnung des induzierten Verkehrs in der standardisierten Bewertung auf den ÖPNV. In der vorliegenden Arbeit bedarf es für die Berechnung der Verkehrserzeugung aber auch der Berücksichtigung der Verkehrsmittel zu Fuß, Fahrrad und MIV.

Aus den genannten Gründen folgt, dass die bekannten Modelle zum induzierten Verkehr nicht für eine Anwendung im Rahmen dieser Arbeit geeignet sind.

2.1.4 Reisezeit- und Kostenkomponenten als Modellparameter

Bei dem eingangs erwähnten Workshop [15] des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wurden drei Modelle vorgestellt, die das Verkehrsangebot über mehr Variablen als die Reisezeit und die Reisekosten beschreiben.

Der Systemansatz VIA (von Mkmetric) „mit Schwerpunkt im Bereich des Flugverkehrs“ [15, Seite 7] zeichnet sich nach Gaudry/Mandel/Rothengatter durch eine „reichhaltige Modellspezifikation mit sozioökonomischen und verkehrsträgerspezifischen Merkmalen zur qualitativen und quantitativen Abbildung der komplexen Struktur von Einflußkriterien“ [34, Seite 12] aus. „Unter Berücksichtigung dieser Komponenten wurde eine maßnahmensensitive Modelltechnik entwickelt“ [34, Seite 13]. Als verkehrsträgerspezifische Merkmale fließen dabei Kosten, Entfernung, Geschwindigkeit und Bedienungsfrequenz [34, Seite 39] in das Modell ein.

Wegen des Anwendungsbereichs des Modells und der geringen Anzahl von Parametern zur Beschreibung des Verkehrsangebots (zum Vergleich siehe zum Beispiel Abbildung 2.5) kommt es in der vorliegenden Arbeit nicht zur Anwendung.

Im Modell Polydrom „werden Erzeugung, Verteilung und Modal Split in einer Nachfragefunktion vereint. Daher ist eine echte Rückkopplung mit dem Angebot und die iterative Bestimmung des Gleichgewichts nach Wardrop möglich. (...) Die Rückkopplung erlaubt es dem Modell unter anderem maßnahmensensitiv, politiksensitiv und reaktiv zu sein.“ [15, Seite 11] Die Eingangsgrößen des Modells werden in einer linearen Funktion als Summe oder Produkt mit konstanten Funktionsparametern verknüpft. Dadurch ist die angestrebte Berücksichtigung der nicht-linearen subjektiven Bewertung von Kenngrößen des Verkehrsangebots nicht möglich.

Basis des VIA-Widerstandsmodells „ist ein neues Verständnis des Begriffs ‚Verkehrswiderstand‘, der in sehr komplexer Weise die Angebotsparameter (Zeiten, Kosten, Komfort) aller konkurrierenden Verkehrsmittel und die jeweiligen subjektiven Empfindungen des Menschen erfaßt“ [15, Anhang (2)].

Aus „der Summe der Produkte von Verkehrsmittelanteil A [%] und mittlerem Widerstand \bar{w} für jedes der n Verkehrsmittel (...) ist der mittlere Gesamtsystem-Widerstand W_{GS} ableitbar zu

$$W_{GS} = \frac{\sum^n A_n \cdot \bar{w}_n}{100 [\%]} \quad \text{“} \quad [88, \text{Seite } 42]$$

mit

$$A_m = \frac{\frac{1}{w_m}}{\sum_i \frac{1}{w_i}} \cdot 100 [\%] \quad [88, \text{Seite } 69].$$

Die Berechnung der Verkehrserzeugung erfolgt auf der Grundlage des Gesamtsystem-Widerstands nach einer Arbeit von Vallée. Danach ergeben sich die Mobilitätsrate der Mobilen M_M und die Verkehrsbeteiligungsquote VB zu:

$$M_M = \frac{165}{w_{GS}} \quad [85, \text{Seite } 48]$$

$$VB = 0,5 + \frac{0,45}{1 + e^{-3,6291 + 0,0691 \cdot w_{GS}}} \quad [85, \text{Seite } 52]$$

Das Modell von Vallée weist mehrere Implausibilitäten auf:

- Definitionsgemäß (vergleiche Kapitel 3.2.2) legen mobile Personen mindestens einen Weg pro Person und Tag zurück. Die Funktion von Vallée für die Mobilitätsrate der Mobilen lässt jedoch auch Werte unter Eins zu.
- Zugleich hat die Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen an der Stelle $w_{GS} = 0$ eine Polstelle. Damit führen kleine Gesamtsystem-Widerstände zu unrealistisch hohen Mobilitätsraten. Dies wirkt sich wegen des daraus resultierenden Funktionsverlaufs auf für die Anwendung relevante Wertebereiche aus.

- Die Anzahl der Fahrten mit einem Verkehrsmittel sollte nicht nur von der Qualität des Verkehrsangebots dieses Verkehrsmittels sondern auch von der Qualität der konkurrierenden Verkehrsmittel abhängen.

Nach dem Modell von Vallée gilt für die Anzahl $TM_{M,m}$ der Fahrten mit einem Verkehrsmittel pro mobiler Person und Tag:

$$TM_{M,m} = M_M \cdot A_m$$

Der Anteil A_m lässt sich anhand der oben angegebenen Gleichungen für A_m und w_{GS} umschreiben zu (Herleitung siehe Kapitel 4.3.2):

$$A_m = \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_m} \quad \text{nach (4.8)}$$

mit

μ : Anzahl der konkurrierenden Verkehrsmittel

Damit ergibt sich:

$$TM_{M,m} = \frac{165}{w_{GS}} \cdot \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_m} = \frac{165}{\mu \cdot w_m}$$

Die Teilmobilitätsrate $TM_{M,m}$ eines Verkehrsmittels hängt folglich – unter Vernachlässigung des schwachen und nur bei den motorisierten Verkehrsmitteln vorhandenen Einflusses der Qualität des Verkehrsangebots der anderen Verkehrsmittel auf den Widerstand w_m – bei Vallée nicht von der Qualität der konkurrierenden Verkehrsmittel ab.

- Die mit dem Modell von Vallée berechnete Verkehrsnachfrage wird dem üblicherweise beobachteten Verhalten nicht gerecht. Als Beispiel hierfür diene eine Erhöhung des Widerstands des motorisierten Individualverkehrs (MIV) infolge einer Benzinpreiserhöhung (MIT-Fall).

Aus den Widerständen der vier Verkehrsmittel zu Fuß, Fahrrad, öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) und MIV werden jeweils für den OHNE- und den MIT-Fall anhand der oben angegebenen Formeln Kenngrößen der Verkehrsnachfrage berechnet. Aufgrund des verschlechterten Angebots für den MIV bei hier aus Vereinfachungsgründen angenommenen unveränderten Angebotsqualitäten der anderen Verkehrsmittel ist mit einer Steigerung der Anzahl der Fahrten, das bedeutet wachsende Teilmobilitätsraten, für den Fußgänger-, den Fahrrad- und den ÖPNV zu rechnen. Tatsächlich ergibt sich

anhand des Modells von Vallée bei diesen Verkehrsmitteln jedoch eine reduzierte Nachfrage (vergleiche das Beispiel in Tabelle 2.1).

		OHNE-Fall	MIT-Fall
Widerstände	zu Fuß	40,12 WE	40,12 WE
	Fahrrad	112,30 WE	112,30 WE
	ÖPNV	82,43 WE	82,43 WE
	MIV	20,40 WE	22,65 WE
Verkehrsmittelanteile	zu Fuß	26,24 %	27,66 %
	Fahrrad	9,38 %	9,88 %
	ÖPNV	12,77 %	13,46 %
	MIV	51,61 %	48,99 %
Verkehrserzeugung	w_{GS}	42,113 WE	44,384 WE
	M_M	3,918 $\frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}}$	3,718 $\frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}}$
	VB	80,3 %	78,7 %
	M_M × VB	3,146 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	2,926 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
Teilmobilitätsraten	zu Fuß	0,826 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,809 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	Fahrrad	0,295 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,289 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	ÖPNV	0,402 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,394 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	MIV	1,624 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	1,433 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$

Tabelle 2.1: Beispiel für Verkehrsnachfrageberechnungen mit dem Modell von Vallée

Das Modell von Vallée ist folglich nicht mit dem Modal-Split-Modell nach Walther kompatibel. Dennoch verwendet Vallée dieses Modell für die Berechnung der Eingangsgröße seines Verkehrserzeugungsmodells.

- In Kapitel 4.3.2 der vorliegenden Arbeit werden fünf Ungleichungen formuliert (vergleiche Abbildung 4.7), die beobachtbare Reaktionen der Verkehrsnachfrage auf Angebotsveränderungen beschreiben. Das Modell von Vallée verletzt, wie Anhang 1 zeigt, die Ungleichungen A, D und E.

Aus dem Beispiel in Tabelle 2.1 und der Verletzung der Ungleichungen ergibt sich, dass das Modell von Vallée nicht maßnahmenreagibel ist. Wenn aber die Änderung ΔM zwischen zwei Zuständen mit den Mobilitätsraten M_0 und M_1

$$\Delta M = M_1 - M_0$$

falsch ist, ist mindestens eine der beiden Mobilitätsraten M_0 und M_1 nicht richtig. Da beide Mobilitäten mit dem gleichen Modellansatz berechnet wurden, kann höchstens eine der beiden Mobilitäten zufällig richtig sein.

Der Modellansatz von Vallée stellt sich damit als nicht zielführend heraus.

2.1.5 Individualfaktorenmodelle

Individualfaktorenmodelle schätzen „die Wirkungen von Individualfaktoren (Merkmale der Individuen) auf die Aktivitätennachfrage und damit das Verkehrsaufkommen der einzelnen Individuen (mikroskopisch)“ [77, Seite 17] ab. Es werden also zunächst – oft auch innerhäusige – Aktivitäten generiert, um daraus auf die Verkehrsnachfrage zu schließen.

Damit die Qualität des Verkehrsangebots Einfluss auf die Verkehrserzeugung haben kann, müsste sie bei diesem Modelltyp bei der Generierung der Aktivitäten oder bei der Modellierung von Wegeketten einfließen. Ein Überblick über die gängigen Arten von Individualfaktorenmodellen von Bowman/Ben-Akiva [11] zeigt, dass die Qualität des Verkehrsangebots meist nur beim Modal-Split und der Routenwahl Eingang in die Modellierung findet.

Von Kitamura [46] existiert eine Anwendung eines Individualfaktorenmodells auf den Berufspendlerverkehr, bei der mit der Reisezeit erstmals eine Kenngröße des Verkehrsangebots die Verkehrserzeugung beeinflusst. Das Modell liefert als Ergebnisse unter anderem die Anzahl der Ausgänge pro Berufspendler und Tag sowie die pro Tag zu Hause verbrachte Zeit. Kitamura kommt zu dem Ergebnis, dass eine Reisezeitverkürzung zu mehr Ausgängen und mehr zu Hause verbrachter Zeit führt. Damit

widersprechen seine Ergebnisse der oben angeführten These von der Existenz eines konstanten Zeitbudgets für den Verkehr.

Lipps [51] entwickelt ein Modell zur Simulation der Verkehrsentstehung im zeitlichen Längsschnitt auf der Basis des Deutschen Mobilitätspanels [109]. Von den Variablen des Mobilitätspanels, die Eigenschaften des Verkehrsangebots beschreiben, verwendet Lipps die „Zufriedenheit mit der Anbindung an ÖV“ [51, Tabelle 75] und den „Besitz einer ÖPNV-Zeitkarte“ [51, Tabelle 76]. Weitere Merkmale des Verkehrsangebots ließen sich ebenfalls in das Modell implementieren, ihre Anzahl ist jedoch aufgrund der im Rahmen des Mobilitätspanels erhobenen Merkmale zu beschränkt.

2.1.6 Fazit

Der Schwerpunkt bisheriger Verkehrserzeugungsmodelle liegt in der Quantifizierung des Einflusses sozio-demographischer Merkmale auf die Verkehrserzeugung. Einzelne Modelle berücksichtigen die Qualität des Verkehrsangebots über pauschale Kenngrößen wie die Reisezeit oder die Reisekosten, zum Teil auf der Grundlage der umstrittenen These von konstanten Zeit- oder Kostenbudgets. Lediglich ein Modell basiert auf einer präzisen Angebotsmodellierung unter Einbeziehung der nicht-linearen subjektiven Bewertung durch die Menschen. Dieses Modell stellt sich nach eingehender Betrachtung als fehlerhaft heraus. Die in Kapitel 2.1 vorgestellten Modelle ohne Unterscheidung nach Reisezwecken eignen sich deshalb nicht für die nach Kapitel 1 angestrebte Übertragung auf den Freizeitverkehr.

2.2 Freizeitverkehr

2.2.1 Bedeutung und Beeinflussbarkeit

Der Freizeitverkehr macht gemäß Abbildung 1.1 etwa 38 Prozent aller Wege aus und ist damit der aufkommensstärkste Reisezweck. Die Bedeutung, die seiner zuverlässigen Berechnung, vor allem in Prognosen zur Verkehrsnachfrage, sowie seiner Beeinflussbarkeit für diesen Reisezweck zukommt, soll im Folgenden anhand mehrerer Studien beispielhaft dargestellt werden.

Lüking stellt fest, „dass die Anzahl PKW auf schweizerischen Strassen in vielen Fällen an Wochenenden und Feiertagen größer ist als werktags“ [54, Seite 13]. „Freizeitverkehr wird mehr und mehr zu einem Dimensionierungsfaktor der Infrastruktur.“ [54, Seite 13]

Für den ÖPNV kommt Klewe zu dem Ergebnis, dass „eine ‚noch steigerungsfähige‘ Bedeutung des Freizeitverkehrs in den unternehmerischen Strategien der Verkehrsbetriebe zu konstatieren“ [47, Seite 96] ist. Beispielsweise wären auf Ziele und Zeiten des Freizeitverkehrs abgestimmte Linienführungen möglich. Eine solche verstärkte Ausrichtung des Verkehrsangebots auf den Freizeitverkehr führt im ÖPNV wegen des zeitlichen Auftretens der Freizeitwege auch zu einer Steigerung der Nutzungsdauer der Ressourcen.

Dass mit geeigneten Veränderungen des ÖPNV-Angebots Nachfragepotentiale erschlossen werden können, zeigt die Aussage von Lüking / Meyrat-Schlee: „Wo abends und nachts aber ein gutes OeV-Angebot vorhanden ist, wird es fast genauso häufig benutzt wie am Tage“ [53, Seite XXIV].

Welche Größenordnungen der Verkehrsnachfrage beziehungsweise ihrer Veränderung unter entsprechenden Randbedingungen erreichbar sind, dokumentieren die folgenden beiden Beispiele. Eine Befragung der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) kommt hinsichtlich der Aufteilung der Fahrten mit der BVG auf die einzelnen Reisezwecke zu dem Ergebnis: „An erster Stelle stehen mit 46 Prozent der Freizeit- und der sonstige Verkehr also zum Beispiel Fahrten ins Kino, zum Sport oder zur Begleitung von Kindern“ [57]. In Rheinland-Pfalz wurden zwischen 1993/94 und 1999 die Zugkilometer im Nahverkehr „um 45 Prozent von rund 22 Mio auf 32 Mio gesteigert – gleichzeitig stieg die Nachfrage um 90 Prozent; die höchsten Steigerungsraten waren dabei im Bereich des Freizeit- und Einkaufsverkehrs“ [65, Seite 7].

Auch im Freizeitverkehr hängt die Verkehrsnachfrage offensichtlich stark vom Verkehrsangebot ab. Vor diesem Hintergrund hat das Anliegen der vorliegenden Arbeit, ein maßnahmenreagibles Modell zur Verkehrserzeugung im Freizeitverkehr zu schaffen, insbesondere für eine präzise Voraussage der Wirkungen von Maßnahmen hinsichtlich der Verkehrsnachfrage und damit beispielsweise der Einnahmen der Verkehrsunternehmen Gewicht.

2.2.2 Psychologische Ursachen des Freizeitverkehrs

Zahlreiche Veröffentlichungen zum Freizeitverkehr beschäftigen sich mit den psychologischen Ursachen für diesen Verkehr. Die im folgenden zitierten Quellen zeigen beispielhaft die Ergebnisse derartiger Arbeiten auf. Sie sollen Antworten geben auf die Fragen: „

- Warum nehmen wir überhaupt am Freizeitverkehr teil?
- Warum wählen wir gerade dieses Verkehrsmittel und kein anderes?“

[53, Seite 92].

Lüking / Meyrat-Schlee unterscheiden nach Eisner et al. [27] in

- Zweckmobilität, bei der der Weg zur Erreichung eines Ziels als lästige Notwendigkeit in Kauf genommen wird;
- Motive der Flucht aus Umwelt, Wohnsituation oder sozialer Kontrolle;
- expressive Motive, zu denen zum Beispiel Geschwindigkeitsrausch, Prestige und Machtentfaltung gehören;
- kognitiv-ästhetische Motive, die die Lust am Reisen meinen.

Opaschowski [67, Seite 21] kennt weitere Ursachen: „Motorisierte Mobilität entwickelt sich insbesondere bei Männern nicht selten zum körperlichen Bewegungersatz. Vielleicht sind manche Männer im Grunde ihres Herzens immer noch Jäger oder Cowboys, die auf ihren Pferden durch die weite Prärie reiten (...)“.

Diese regelmäßig vorgetragenen Klischees gelten nach Ansicht des Autors mit Ausnahme der Zweckmobilität nur sehr eingeschränkt für den regelmäßigen städtischen Freizeitverkehr. Außerdem lassen sich aus den genannten psychologischen Ursachen nicht unmittelbar und quantitativ Aktivitätenteilnahme oder Verkehrsverhalten entwickeln.

Solche Studien zu den psychologischen Ursachen von Freizeitverhalten und Freizeitverkehr dienen eher als Grundlage für die Ableitung von Maßnahmen zur Steuerung des Freizeitverkehrs, wie sie im folgenden Kapitel beschrieben werden.

2.2.3 Maßnahmenkataloge zur Beeinflussung des Freizeitverkehrs

Zahlreiche Autoren liefern Vorschläge für mögliche Maßnahmen zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage im Freizeitverkehr. Die Ziele, die mit diesen Handlungsempfehlungen verfolgt werden, fallen unterschiedlich aus; viele ähneln dem des Arbeitsausschusses „Öffentlicher Verkehr“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Die Anzahl motorisierter Fahrzeugbewegungen und die Emissionen sind möglichst ohne nennenswerte Mobilitätseinbußen zu reduzieren.“ [31, Seite 31] Auch eine geringere Verkehrsleistung im MIV anstelle geringerer Fahrtenanzahlen wird oft genannt. Zur Umsetzung solcher Ziele sind im Folgenden grundsätzliche Handlungsoptionen beispielhaft zusammengestellt.

Frank empfiehlt, die Nähe wiederzuentdecken, zum Beispiel „mehr und attraktivere Naherholungsmöglichkeiten zu schaffen, um so die großen Entfernungen der Kurzurlaube zu reduzieren“ [32, Seite 89]. Meier [56] berichtet von einer Befragung von Experten. Diese empfehlen die Erweiterung des Angebots öffentlicher Verkehrsmittel und des Fahrradnetzes, wünschen sich energieeffizientere Fahrzeuge und befürworten die Parkraumbewirtschaftung. Mit der Arbeit von Heinze / Kill [40] liegt ein sehr umfangreicher Maßnahmenkatalog vor, der auch Hinweise zur Durchsetzung enthält.

Nicht nur den hier genannten Veröffentlichungen fehlt eine Berechnung der verkehrlichen Wirkungen. Die Berechnung der verkehrlichen Wirkungen ist jedoch erforderlich, um situationsbezogen zielkonforme Maßnahmen(kombinationen) aus den genannten Maßnahmenkatalogen geeignet auswählen zu können. Die bisherige Literatur liefert hierzu keinen Beitrag. Die Schaffung von adäquaten Verkehrsnachfragemodellen ist daher dringend erforderlich.

2.2.4 Einflussfaktoren auf die Freizeitverkehrsnachfrage

Zur Entwicklung und Bewertung von Verkehrsnachfragemodellen ist die Kenntnis der Einflussfaktoren auf das Verkehrsverhalten wichtig. Eine mögliche und gängige Vorgehensweise zur Bestimmung der Bedeutung möglicher Einflussgrößen besteht darin, jeweils einen Einflussfaktor einer Kenngröße der Verkehrsnachfrage gegenüberzustellen. Daraus lässt sich die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren und folglich ihre Relevanz für ein Modell abschätzen.

In der Arbeit von Lüking / Meyrat-Schlee [53] werden schwerpunktmäßig die Unterschiede zwischen verhaltenshomogenen Lebensstilgruppen bezüglich der Verkehrsnachfrage untersucht. In einem qualitativen Wirkungsmodell stellen die Autoren

ferner auch die Bedeutung von Parametern des Verkehrsangebots für die Nachfrage fest. Allerdings werden die Merkmale des Verkehrsangebots bei der quantitativen Gegenüberstellung der Einflussgrößen und der Verkehrsnachfrage nicht mehr betrachtet.

Badrow [5] untersucht qualitativ auf der Grundlage von vier Jahrgängen des Systems repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) den Einfluss sozio-demographischer Kenngrößen und der Lage der Wohnung zur Haltestelle auf die Verkehrsnachfrage. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der beispielhaften Darstellung der Möglichkeiten einer neu geschaffenen SrV-Datenbank.

Beide Veröffentlichungen erlauben also qualitative Aussagen über die Bedeutung einzelner Parameter des Verkehrsangebots für die Verkehrsnachfrage. Der im Rahmen dieser Arbeit abzubildende Zusammenhang zwischen dem Verkehrsangebot in seiner umfassenden Form und der Verkehrserzeugung wird in beiden Veröffentlichungen nicht untersucht.

2.2.5 Großveranstaltungen, (Wochenend-) Ausflüge und Tourismus

Für einzelne Segmente des Freizeitverkehrs existieren bereits Forschungsergebnisse zur Abschätzung der Verkehrsnachfrage. Traditionell sind dies Ausflüge über größere Entfernungen, insbesondere am Wochenende, sowie der Urlaubsverkehr, die beide im Rahmen der Tourismusforschung untersucht wurden beziehungsweise werden. Neuere Forschungen beschäftigen sich ferner mit dem von Großeinrichtungen generierten Verkehr.

Bei den verwendeten Modellansätzen handelt es sich in der Regel um grobe Schätzverfahren auf der Basis sozio-demographischer und struktureller Einflussgrößen. Beispiele sind die Arbeiten von Preisendörfer et al. [69], Kaspar / Frey [43], Harrer et al. [37], Perian / Beckmann [68] und Hautzinger et al. [60]. Meist sind die modellierten Fahrten im Wesentlichen dem Fernverkehr zuzuordnen und das Verkehrsangebot wird – wenn überhaupt – nur ansatzweise berücksichtigt. Daher eignen sich die für diese Segmente verwendeten Modelle nicht für eine Anwendung zur Modellierung des städtischen werktäglichen Freizeitverkehrs.

Charakteristisch für die genannten Segmente ist ein hohes Verkehrsaufkommen am Ziel beziehungsweise im Zielgebiet. Bezüglich der Wegeanzahl machen diese Segmente nur einen sehr geringen Anteil am gesamten Freizeitverkehr aus. Ihre Bedeutung für den täglichen Freizeitverkehr ist marginal.

2.2.6 Verkehrsnachfragemodelle

Für den täglichen Freizeitverkehr existieren bisher nur wenige Modelle, die sich zudem in ihrer Konzeption und ihrem Anwendungsbereich stark unterscheiden. Anstelle einer Kategorisierung analog zu Kapitel 2.1 werden daher im Folgenden Arbeiten ab 1996 in chronologischer Reihenfolge vorgestellt.

Chlond [22] stellt ein Modell für die Langfristprognose der Verkehrsnachfrage bei Änderungen der Freizeitdauer auf der Basis des Deutschen Mobilitätspanels vor. Die für den Ist-Zustand bestimmten Zeit- und Kostenbudgets werden entsprechend den erwarteten Veränderungen für die Zukunft modifiziert. Die Verkehrsnachfrage für den Prognosezustand berechnet Chlond durch Modifizierung der Nachfrage im Ist-Zustand so, dass die Budgetrestriktionen eingehalten werden. Eingangsparameter für das Modell sind einerseits disaggregierte Daten für die Budgetkenngößen und andererseits das Verkehrsangebot, das im Gegensatz zu den Budgetkenngößen pauschal über die Reisezeit und die Reisekosten Berücksichtigung findet. Das Modell von Chlond wird in der vorliegenden Arbeit nicht verwendet, da die Abbildung des Verkehrsangebots nicht den Anforderungen nach Kapitel 1 entspricht und die Verwendung von Budgets – wie in Kapitel 2.1.3 diskutiert – fragwürdig ist.

Schmid [73] führt als Grundlage für die Modellspezifikation einen Expertenworkshop durch. Ein Ergebnis dieses Workshops ist, dass Verkehrsangebote stark auf das Verkehrsvolumen wirken [73, Seite 45]. Zur Begrenzung der Komplexität seines neuen Modells reduziert Schmid einerseits die Verkehrsangebote aller konkurrierenden Verkehrsmittel auf den Kraftstoffpreis und andererseits das Verkehrsvolumen auf die Pkw-Fahrleistungen [73, Seite 58]. Die in der vorliegenden Arbeit angestrebte umfassende Berücksichtigung des Verkehrsangebots aller konkurrierenden Verkehrsmittel und die Berechnung des Verkehrsaufkommens sind mit dem Modell von Schmid nicht möglich.

Preisendörfer et al. [69] entwickeln ein Modell zur Bestimmung des Einflusses des Umweltbewusstseins auf die Verkehrsmittelwahl. Dabei wird unter anderem mit dem Wegezweck „abendliches Weggehen“ ein Segment des Freizeitverkehrs behandelt. Als Einflussfaktoren für die Erklärung der Verkehrsmittelwahlentscheidung für die

Autonutzung bei diesem Reisezweck dienen ausschließlich sozio-ökonomische Daten [69, Seite 225]. Die durchschnittliche Häufigkeit der Aktivität „abendliches Weggehen“ schätzt prognos anhand von qualitativen Angaben der Befragten ab [69, Seite 295f]. Da dieser Ansatz ausschließlich auf sozio-ökonomischen Daten und einer Abschätzung der Nachfrage beruht, ist er im Hinblick auf die Zielsetzung für die vorliegende Arbeit nicht geeignet.

Ebenfalls auf sozio-ökonomische Daten greift Lawson [50] in ihrem Modell zur Berechnung des Anteils der außerhäusig durchgeführten Aktivitäten und deren zeitlicher Lage zurück. Sie betrachtet dazu einzelne Aktivitätentypen sowie das zeitliche Auftreten dieser Aktivitäten. Während andere Autoren, zum Beispiel [46], einen Einfluss des Verkehrsangebots auf den Anteil der außerhäusig durchgeführten Aktivitäten unterstellen, bleibt das Verkehrsangebot in dem Modell von Lawson unberücksichtigt.

Zängler [96] untersucht anhand einer Erhebung in Bayern nicht nur die Verkehrsnachfrage ohne Unterscheidung nach Wegezwecken (siehe Kapitel 2.1.2) sondern auch gesondert den Freizeitverkehr. Für Bestimmungsgründe der „Mobilitätsrate (alle Wege)“ führt er eine multiple Regression durch, die ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,125$ [96, Seite 96] aufweist. Eine entsprechende Regression für den Freizeitverkehr fehlt. Die Mobilitätsrate im Freizeitverkehr kann mit der Arbeit von Zängler also nicht bestimmt werden. Den Anteil des MIV am Freizeitverkehr berechnet Zängler auf der Basis sozio-demographischer Kennwerte. Ferner fließen Ortsgröße, Wochentag, Gruppengröße, eine Einteilung in Ober- und Niederbayern und das Wetter in die Berechnung ein. Verkehrsangebotsbezogene Daten spielen keine Rolle.

Kessel + Partner [44] nutzen ihr Modell (vergleiche Kapitel 2.1.3) auch zur Berechnung von induziertem Freizeitverkehr. Da die Formulierung des Modells bei der Anwendung auf den Freizeitverkehr nicht verändert wird, kann das Modell aus den bereits in Kapitel 2.1.3 genannten Gründen keinen Beitrag zur Schließung der in Kapitel 1 aufgezeigten Wissenslücke liefern.

Gegenstand des Projekts FRÄM [62] ist die Freizeitmobilität älterer Menschen. Anhand einer Erhebung sollen Zusammenhänge zwischen Erklärungsgrößen bezüglich Individuum, Raum sowie Verkehr einerseits und der Verkehrsnachfrage andererseits identifiziert werden. Dieses Projekt befindet sich zur Zeit noch in Bearbeitung.

Die Literaturrecherche zeigt, dass keine dem Ziel der Arbeit entsprechenden Verkehrsnachfragemodelle zum Freizeitverkehr existieren. Diese Ansicht wird, wie im Folgenden dargestellt, von vielen Fachleuten im In- und Ausland geteilt.

In der Förderbekanntmachung [61] des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) zum Themenfeld „Freizeitverkehr“ aus dem Jahre 1999 heißt es: „Der tägliche Freizeitverkehr erscheint als das bisher am wenigsten erforschte Phänomen“ [61, Seite 3].

Dierkes / Rammler stellen im Jahr 2000 fest: „In Verkehrsökonomie, Verkehrsplanung, Verkehrstechnik und Verkehrssoziologie bildete der Freizeit- und Urlaubsverkehr bislang eine Lücke, weil man sich hier vor allem auf die modellhaft besser abbildbaren regelmäßigen Berufs- und Ausbildungsverkehre konzentrierte“ [23, Seite 172].

Die Wissenslücke im Freizeitverkehr ist nicht auf Deutschland beschränkt. Françoise Potier, eine in Frankreich tätige Expertin für den Freizeitverkehr, antwortet auf eine Anfrage des Autors in einem E-Mail vom 16.06.1998: „Malheureusement je ne connais aucune publication sur des modèles de calcul sur le trafic des citoyens dans leur ville pour motif de loisir“ (frei übersetzt: Leider kenne ich keine Veröffentlichung zu Berechnungsmodellen für den Freizeitverkehr der Bürger in ihrer Stadt).

Auf europäischer Ebene kommen die Teilnehmer des Round Table 111 der European Conference of Ministers of Transport (ECMT) im Jahre 1998 zu dem Fazit: „Leisure trips – A poorly understood (...) phenomenon“ [29, Seite 1].

Den Wissensstand in den USA fasst Lawson im Jahr 2000 wie folgt zusammen: „Transportation planners have concentrated primarily on trying to understand and model the use of transportation for work activities, with some attention being paid to the use of transportation for shopping“ [50, Seite 1].

Zum Freizeitverkehr besteht also – auch international – dringender Forschungsbedarf. Die vermehrten wissenschaftlichen Aktivitäten in diesem hochaktuellen Forschungsbereich in den letzten Jahren haben die vorhandene Wissenslücke noch nicht zu schließen vermocht.

2.2.7 Empirische Beschreibung der Verkehrsnachfrage

Da die Nachfrage im Freizeitverkehr offensichtlich noch wenig erforscht ist, wird im Folgenden ein Überblick über die Charakteristika der Verkehrsnachfrage im *Freizeitverkehr* im Vergleich zu *allen Wegen* gegeben.

Dazu zählt die zeitliche Aufteilung der Wege, die Abbildung 2.1 unterschieden nach **Wochentagen** wiedergibt.

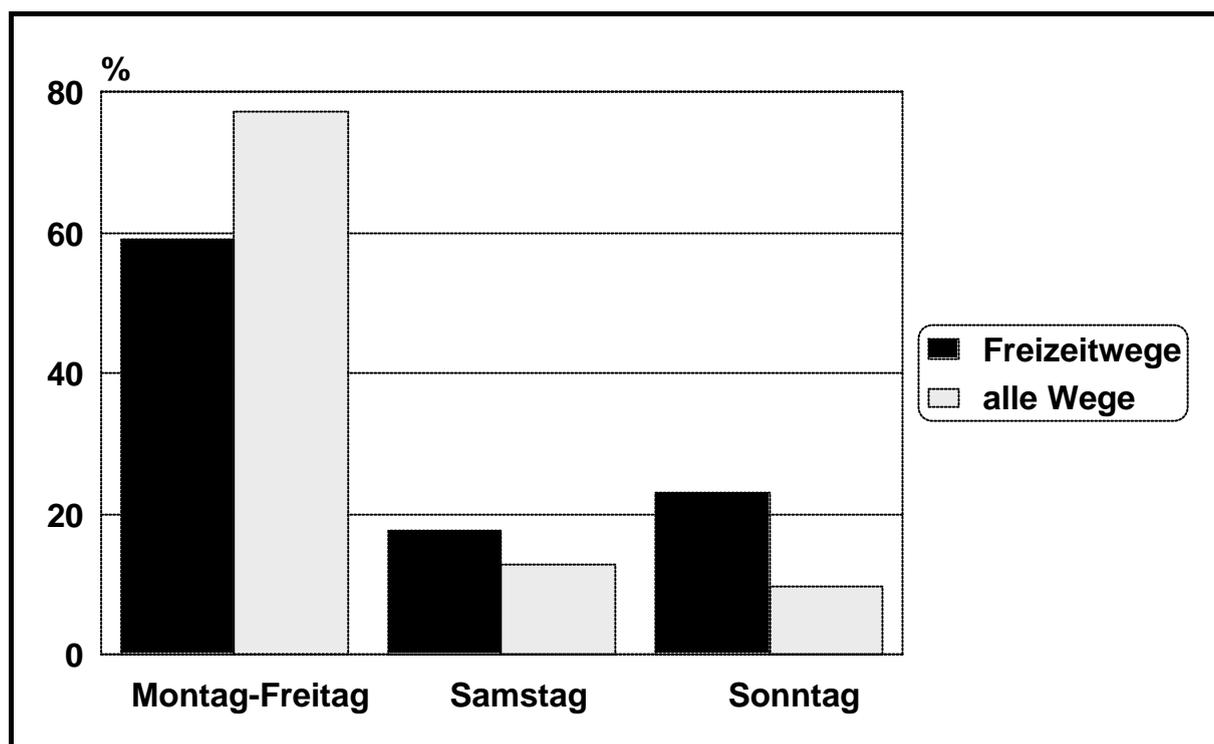


Abbildung 2.1: Aufteilung der Wege auf die Wochentage (nach [109])

Es zeigt sich, dass – anders als vielfach vermutet – mit etwa 60 Prozent der größte Teil der Freizeitwege montags bis freitags stattfindet.

Die Aufteilung der Wege auf die einzelnen **Stunden** der Tage enthält Abbildung 2.2. Die dargestellten Anteile ergeben über eine Woche summiert 100 Prozent. Die Werte für Montag bis Freitag beziehen sich der besseren Vergleichbarkeit halber auf einen mittleren Werktag.

Die Tagesganglinie für den mittleren Werktag zeigt, dass Freizeitaktivitäten vorwiegend nachmittags und abends stattfinden. Das heißt, dass die Freizeit oft erst nach Beendigung anderer Aktivitäten beginnt. Das zeitliche Auftreten und vermutlich auch die Dauer der Freizeitaktivitäten werden offensichtlich von den Aktivitäten zu anderen Zwecken bestimmt. Hierin unterscheidet sich der tägliche Freizeitverkehr deutlich vom Urlaubs- und Ausflugsverkehr.

Der anhand des Deutschen Mobilitätspanels ermittelte Verlauf der Nachfrage über die Zeit ist in Abbildung 2.2 einer Ganglinie für die Anzahl der ÖPNV-Abfahrten pro Stunde als Beispiel für die zeitliche Veränderung des Verkehrsangebots gegenübergestellt. Die Bestimmung der Anzahl der Fahrzeuge erfolgte exemplarisch für die Strecke in Aachen vom Trierer Platz zum Bushof. Aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich, dass ein großer Teil der werktäglichen Freizeitwege zu Zeiten stattfindet, zu denen sich das Angebot im ÖPNV eher als gut einstuft. In diesen Zeiten ist das Angebot im MIV aufgrund hoher Verkehrsdichte durch niedrige Geschwindigkeiten sowie hohe Parkkosten gekennzeichnet und fällt dadurch vergleichsweise schlecht aus.

Allerdings finden auch abends und am Wochenende bei geringer Bedienungshäufigkeit im ÖPNV und gutem MIV-Angebot überproportional viele Freizeitwege statt.

Die Qualität des im Freizeitverkehr angetroffenen Verkehrsangebots wirkt sich – wie Abbildung 2.3 am Beispiel des **Modal-Split** in vier Städten der Bundesrepublik Deutschland zeigt – deutlich auf die Verkehrsnachfrage aus.

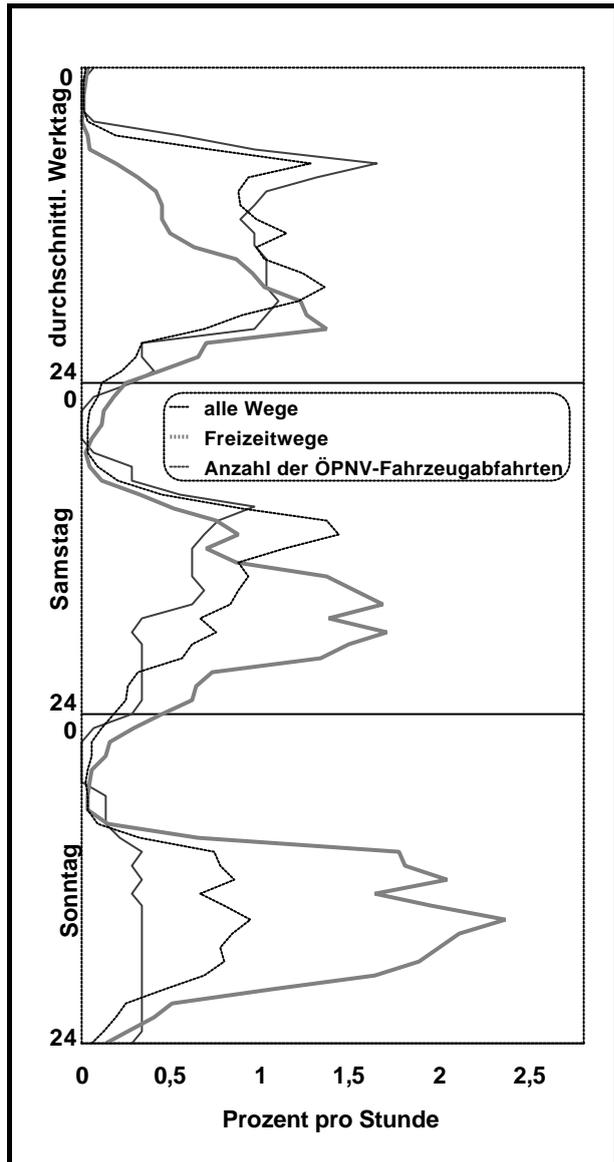


Abbildung 2.2: Tagesganglinien (nach [109], [134])

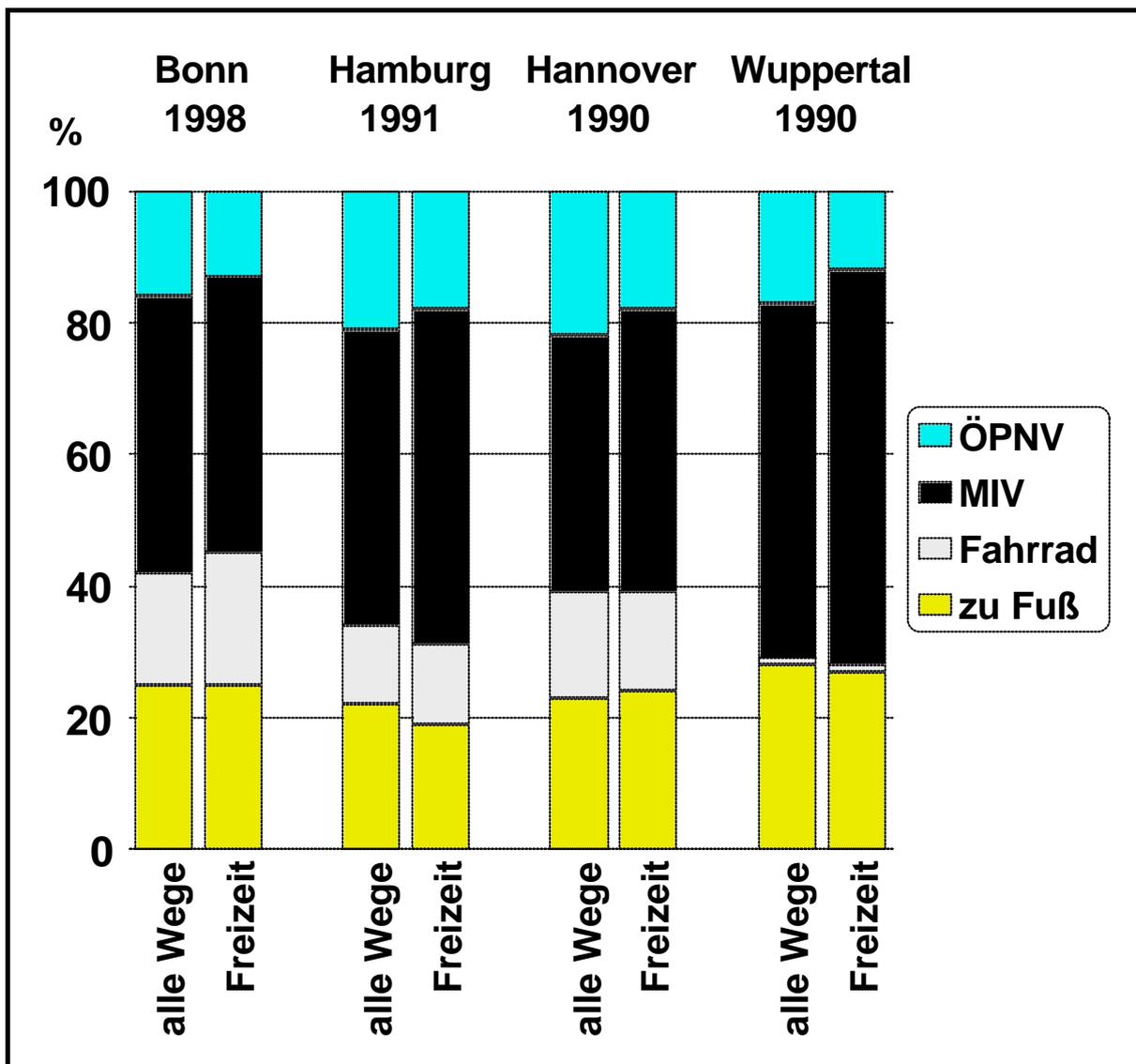


Abbildung 2.3: Modal-Split für *alle Wege* und die *Freizeitwege* ([155], [160], [161], [169])

Bei allen Städten fällt der Anteil des ÖPNV an Wegen zum Zweck Freizeit im Vergleich zu *allen Wegen* niedriger sowie der MIV-Anteil gleich oder höher aus.

Die in der Freizeit realisierten außerhäusigen **Freizeitaktivitäten** lassen sich verschiedenen Kategorien zuordnen. Die Anteile der einzelnen Kategorien in der Bundesrepublik Deutschland an allen Freizeitaktivitäten zeigt Abbildung 2.4. Sie basiert auf der Auswertung von 35 Literaturquellen.

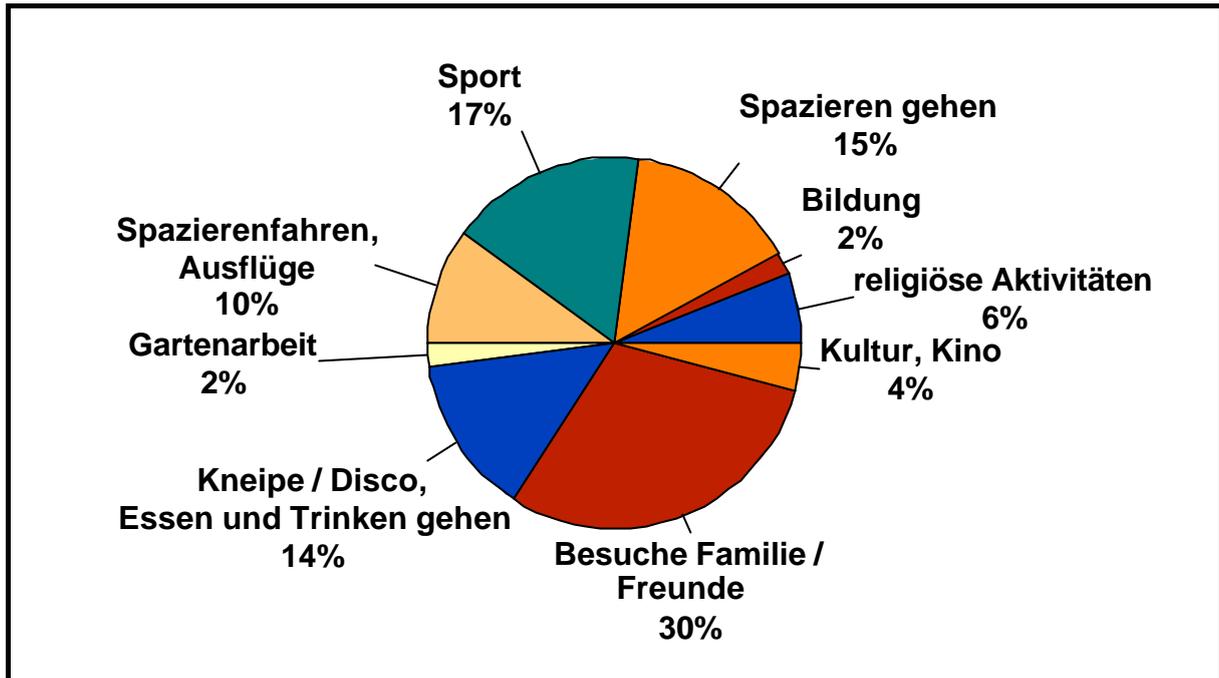


Abbildung 2.4: Aktivitäten in der Freizeit in Deutschland

Eine sehr hohe Bedeutung kommt Aktivitäten zu, bei denen die Kommunikation einen großen Stellenwert besitzt, wie dem Ausgehen und dem Besuch von Verwandten und Freunden. Ein weiterer großer Teil der Aktivitäten dient der körperlichen Betätigung (Gartenarbeit, Ausflüge, Sport und Spazieren gehen). Als wesentlich unbedeutender stellen sich hingegen in Deutschland Bildung, Religion und Kultur heraus.

2.2.8 Langfristige Entwicklung des Freizeitverkehrs

In politischen und fachlichen Diskussionen wird oft die Meinung vertreten, dass die Wegehäufigkeit und die Verkehrsleistung im Freizeitverkehr im Zeitverlauf zunehmen. Als Begründung dient insbesondere die sinkende Wochenarbeitszeit.

Nach [128] lag im Jahr 1997 der Anteil der Vollzeitbeschäftigten bei 31,1 Prozent und der der Erwerbstätigen bei 41,2 Prozent. Von einer sinkenden Wochenarbeitszeit profitiert deshalb weniger als die Hälfte der Bevölkerung.

Zudem scheint sich die Arbeitszeitverkürzung nicht auf die zur Verfügung stehende Freizeit auszuwirken: „Im Durchschnitt verfügen danach die Deutschen über eine tägliche Freizeit von knapp vier Stunden. Dieser Wert ist (...) seit Jahren konstant.“ [2, 1998, Seite 22]

Ferner wird der größte Teil der Freizeit zu Hause verbracht: „Der Anteil der Personen, die ihre Freizeit überwiegend oder ausschließlich zu Hause verbringen, ist

an Werktagen mit 64% besonders groß. Selbst für Samstage (40%) und Sonntage (36%) geben über ein Drittel der Befragten an, die Freizeit überwiegend zu Hause zu verbringen. Der Anteil der Befragten, die ihre Freizeit überwiegend außer Haus verbringen, steigt von werktags 4% auf rund 10% am Wochenende.“ [96, Seite 76] Der Einfluss der Wochenarbeitszeit auf den Freizeitverkehr könnte aus den genannten Gründen, falls er überhaupt besteht, nur äußerst schwach ausfallen.

„Etwas überraschend fällt auch hier die Angabe von einem Drittel der Befragten aus, früher mehr Freizeit außer Haus verbracht zu haben als heute. Nur ein Fünftel glaubt dagegen früher weniger Freizeit außer Haus verbracht zu haben als heute. 47 Prozent verbringen heute genauso viel freie Zeit außer Haus wie früher.“ [74, Seite 59] Diese Aussage von Schmidt deutet darauf hin, dass die außerhäusig verbrachte Freizeit trotz geringerer Arbeitszeit abgenommen hat.

Brunsing kommt aufgrund der Analyse von jüngeren Zeitreihen zu dem Ergebnis, „daß sich Verkehrsaufkommen und Verkehrsdauer nicht verändert haben. Dagegen wächst die Verkehrsleistung des Freizeitverkehrs abgeschwächt proportional zu den anderen Verkehrszwecken“ [19, Seite 189]. Zu dem gleichen Ergebnis kommen auch verschiedene ältere Studien aus den 1980er Jahren.

Eine generelle Zunahme der Freizeit-Mobilitätsrate im Zeitverlauf, die bei Prognosen zu berücksichtigen wäre, lässt sich unabhängig von Veränderungen des Verkehrsangebots oder sozio-demographischen Verschiebungen folglich nicht feststellen.

2.2.9 Fazit

Zur Modellierung von Verkehrserzeugung und Modal-Split im täglichen Freizeitverkehr existieren keine geeigneten Modelle. Diese Feststellung gilt nicht nur für Deutschland sondern auch für ganz Europa und die USA. Die analysierten Veröffentlichungen mit qualitativen Aussagen zum Freizeitverkehr sind für die vorliegende Arbeit ebenfalls nicht verwendbar, da die Wirkungszusammenhänge zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage (hier: Erzeugung und Modal-Split) nicht untersucht wurden, die betrachteten Ortsveränderungen den Segmenten Freizeitfern- beziehungsweise Urlaubsverkehr zuzuordnen sind oder lediglich Klischees kategorisiert werden.

Die Analyse empirischer Daten zur Nachfrage im Freizeitverkehr zeigt, dass ein großer Teil der Freizeitwege an Werktagen und zu Zeiten guten ÖPNV- und schlechtem MIV-Angebots stattfindet. Eine Zunahme der Wegehäufigkeit im Freizeitverkehr im Zeitverlauf lässt sich allerdings nicht feststellen.

2.3 Verkehrsangebotsmodellierung

2.3.1 Literaturübersicht

Wie sich aus den Kapiteln 2.1 und 2.2 ergibt, entspricht keines der Modelle den in Kapitel 1 formulierten Anforderungen an ein maßnahmenreagibles Modell für die Verkehrserzeugung. Deshalb soll im Rahmen dieser Arbeit ein neues Erzeugungsmodell entwickelt werden. Als Grundlage dazu werden in diesem Kapitel bestehende Ansätze zur Quantifizierung der Qualität des Verkehrsangebots vorgestellt und analysiert.

Brändli et al. [14] berücksichtigen beim öffentlichen Verkehr Parameter wie Beförderungszeit, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Preis mit unterschiedlichen, konstanten Bewertungsfaktoren zur Berechnung eines Angebotsfaktors. Angebotsfaktoren für andere Verkehrsmittel als den ÖV werden nicht bestimmt. Wegen der konstanten Bewertungsfaktoren und der fehlenden Beschreibung des Angebots der Verkehrsmittel zu Fuß, Fahrrad und MIV entspricht das Modell in [14] nicht den Erfordernissen dieser Arbeit.

Spiegel [81] untersucht verschiedene physiologische Kenngrößen auf ihre Eignung für die Bewertung der verschiedenen Verkehrsangebotsparameter. Die Kenngröße „Energieumsatz“ scheidet wegen der großen Unterschiede zwischen den motorisierten und den nicht-motorisierten Verkehrsmitteln aus. „Als günstigere Bewertungsgröße erweist sich die Pulsfrequenz. Diese reagiert nicht nur auf körperliche Belastungen sondern wird auch stark durch psychische Faktoren beeinflusst.“ [81, Seite 158] Eine Anwendung dieses Ansatzes wäre jedoch nur dann möglich, wenn unter anderem „die Eingangsgrößen des Arbeitspulses in den verschiedenen Verkehrsmitteln auf eine breite empirische Basis gestellt werden können“ [81, Seite 161].

Ein Modell von Ben-Akiva et al. [8] ermöglicht die Berücksichtigung beliebiger quantitativer Kenngrößen des Verkehrsangebots sowie zusätzlicher Variablen, die beliebige subjektive Einschätzungen des Angebots umfassen können. Werte für diese zusätzlichen Variablen lassen sich für unterschiedliche Verkehrsangebots-situationen anhand von Befragungen ermitteln. Wegen der bekannten Probleme von Stated-Preferences und des hohen Befragungsaufwands wird dieser Ansatz in der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt.

In das Modell von Tzieropoulos [84] fließen viele Aspekte des Verkehrsangebots beziehungsweise Einschätzungen dieser Parameter ein. Betrachtet werden alle vier Verkehrsmittel zu Fuß, Fahrrad, ÖPNV und MIV. „Il apparaît au terme de l'étude (...), que la prévision des estimations est également très satisfaisante.“ [84, Seite 165]

(Frei übersetzt: Bei der Untersuchung stellte sich heraus, dass die Prognose der Schätzwerte ebenfalls sehr zufriedenstellend ist.) Dieses Modell entspricht in großen Teilen den in Kapitel 1 formulierten Anforderungen. Ausnahmen bilden unter anderem die konstante Bewertung der Summe aus Zugangs- und Wartezeiten im ÖV sowie das Fehlen von Kostenparametern (die wegen mangelnder Signifikanz bewusst weggelassen wurden) und Variablen für den Komfort.

Die Standardisierte Bewertung [39] verwendet eine sehr umfassende Differenzierung der Reisezeit in Komponenten, die zum Teil nicht-linear bewertet werden. Diese Beschreibung der Qualität des Verkehrsangebots entspricht in weiten Teilen den in der Einleitung genannten Anforderungen. Sie lehnt sich an die Widerstandsformulierung nach Walther [88] an, die im Folgenden beschrieben wird.

Die umfassendste und differenzierteste Verkehrsangebotsmodellierung findet sich bei Walther [86] [88], der in seinem Modell alle vier Verkehrsmittel und alle in Abbildung 2.5 genannten Parameter (Reisezeitkomponenten, Kostenkomponenten, Komfort) des Verkehrsangebots explizit berücksichtigt sowie die subjektive Bewertung dieser Parameter durch den Entscheider unter Berücksichtigung der Relativität von Verkehrsmittelqualitäten einbezieht.

<u>öffentlicher Personennahverkehr</u>	<u>motorisierter Individualverkehr</u>
• Zugangszeit	• Zugangszeit (z. B. Wohnung - Pkw)
• Bedienungshäufigkeit	• Beförderungszeit
• Beförderungszeit	• Parkstandssuchzeit
• Umsteigewahrscheinlichkeit	• Abgangszeit
• ggf. Umsteigezeit	• Parkkosten
• Abgangszeit	• Treibstoffkosten
• Verkehrssystem (Bus, U-Bahn etc.)	• Betriebskosten
• Tarifniveau und -struktur	• Pkw-Besetzungsgrad
• Komfort (Information, Fahrzeuge etc.)	

Abbildung 2.5: Merkmale des Verkehrsangebots (hier ohne Fußgänger- und Fahrradverkehr) (nach [91, Seite 22])

Das Modell von Walther bildet aus diesen Gründen die Grundlage für die vorliegende Arbeit. Es wird im Folgenden in Anlehnung an die Ausführungen in [66] ausführlicher beschrieben.

2.3.2 Verkehrsangebotsmodellierung und Modal-Split nach Walther

Walther unterscheidet bei der Bewertung der in Abbildung 2.5 genannten Angebotsparameter nach Reisezeit- und Reisekostenelementen sowie Komfort.

Reisezeitkomponenten

Für die verschiedenen Reisezeitkomponenten sind verkehrsmittelspezifisch unterschiedliche Zeitbewertungsfunktionen bekannt. Beispielsweise wird die Wartezeit an einer Haltestelle oder einem Bahnhof als unangenehmer empfunden als die Beförderungszeit.

Zwei Minuten zu warten ist nicht sehr unangenehm. Vier Minuten statt zwei Minuten zu warten bedeutet jedoch nicht einfach nur zwei Minuten mehr, sondern auch, dass man

- gegebenenfalls auskühlt,
- nass wird und / oder
- sich langweilt.

Zeitbewertungsfunktionen sind deshalb nicht-linear.

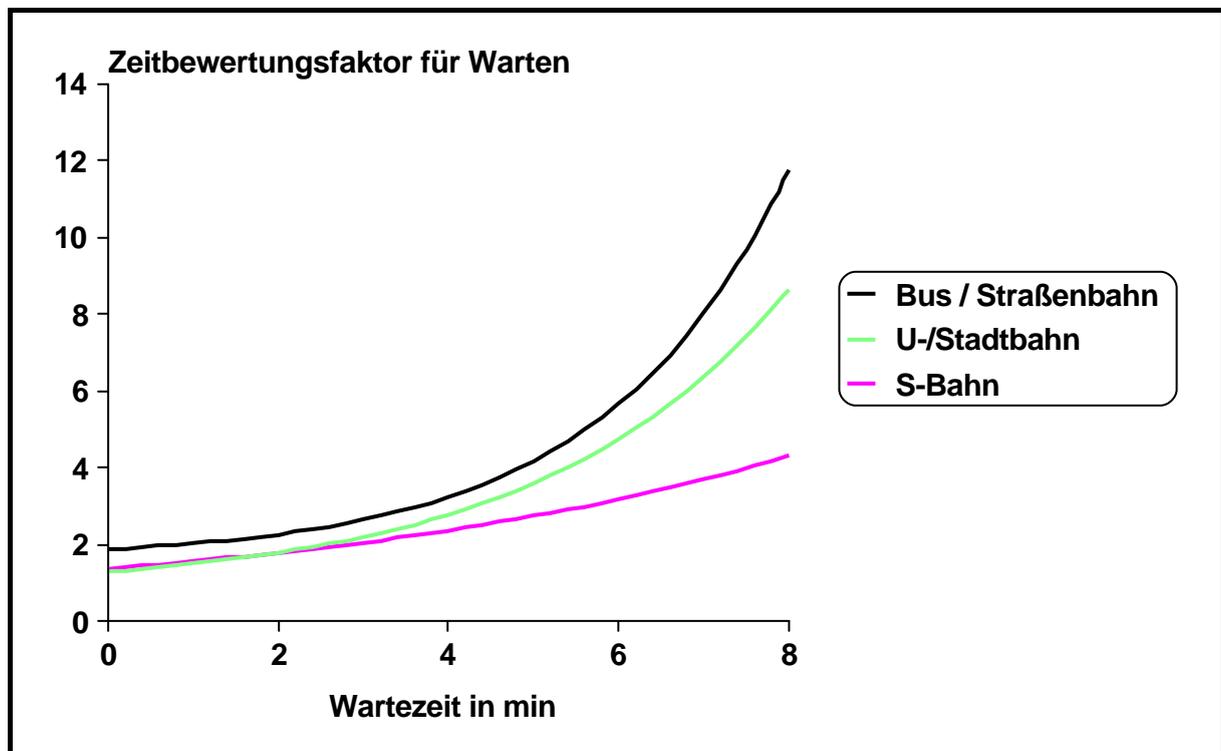


Abbildung 2.6: Zeitbewertungsfunktionen für das Warten ([88, Seite 24])

Abbildung 2.6 zeigt die Zeitbewertungsfunktionen für die Wartezeit. Die Unterschiede zwischen den Bewertungsfunktionen für die verschiedenen Verkehrssysteme repräsentieren deren unterschiedliche Attraktivität. Zur mathematischen Beschreibung der Zeitbewertungsfunktionen wählt Walther aufgrund seiner empirischen Untersuchungen [86] Exponentialfunktionen.

Die Wahl dieser Funktionsform wird durch Überlegungen von Knoflacher [48, Seite 61ff] zur Umkehrung des Weber-Fechnerschen Gesetzes im Hinblick auf die Beschreibung der Empfindung von Anstrengungen bestätigt, die ebenfalls zu einer Exponentialfunktion als Quantifizierung der subjektiven Bewertung führt. Knoflacher geht von dem Ansatz aus, dass die Reaktion von Muskeln auf Reizungen dem Weber-Fechnerschen Gesetz unterliegt. Folglich nimmt bei konstanter Reizung die von Muskeln geleistete Arbeit logarithmisch über die Zeit ab. Um eine konstante Muskelleistung zu erzielen, muss die Abnahme der Reaktionsintensität durch eine über die Zeit exponentiell wachsende Reizintensität kompensiert werden.

Die das Verkehrsangebot, im Beispiel das Warten, aus der Sicht des „Empfinders“ beschreibende Größe ergibt sich durch Multiplikation der Zeit t mit der Zeitbewertungsfunktion $ZB(t)$:

$$t \cdot ZB(t)$$

Unterschiedliche Zeitbewertungsfunktionen existieren:

im ÖPNV für

- Zu- und Abgangszeiten,
- Wartezeiten sowie
- Umsteigezeiten

im MIV für

- Zu- und Abgangszeiten,
- Parkstandssuchzeiten sowie
- die Reisezeit insgesamt

Kostenkomponenten

Mit steigendem Einkommen E sinkt die Bedeutung der Kosten K . Ferner hängt die Zahlungsbereitschaft von der Qualität eines Verkehrsmittels und der konkurrierenden Verkehrsmittel ab. Die Qualität fließt über den Kosten-Äquivalenzfaktor α in die Berechnungen ein:

$$\frac{K}{\alpha \cdot E}$$

Komfort

Die Gewichte einzelner Komfortkomponenten in Abbildung 2.7 sind beispielhaft aus [113] abgeleitet.

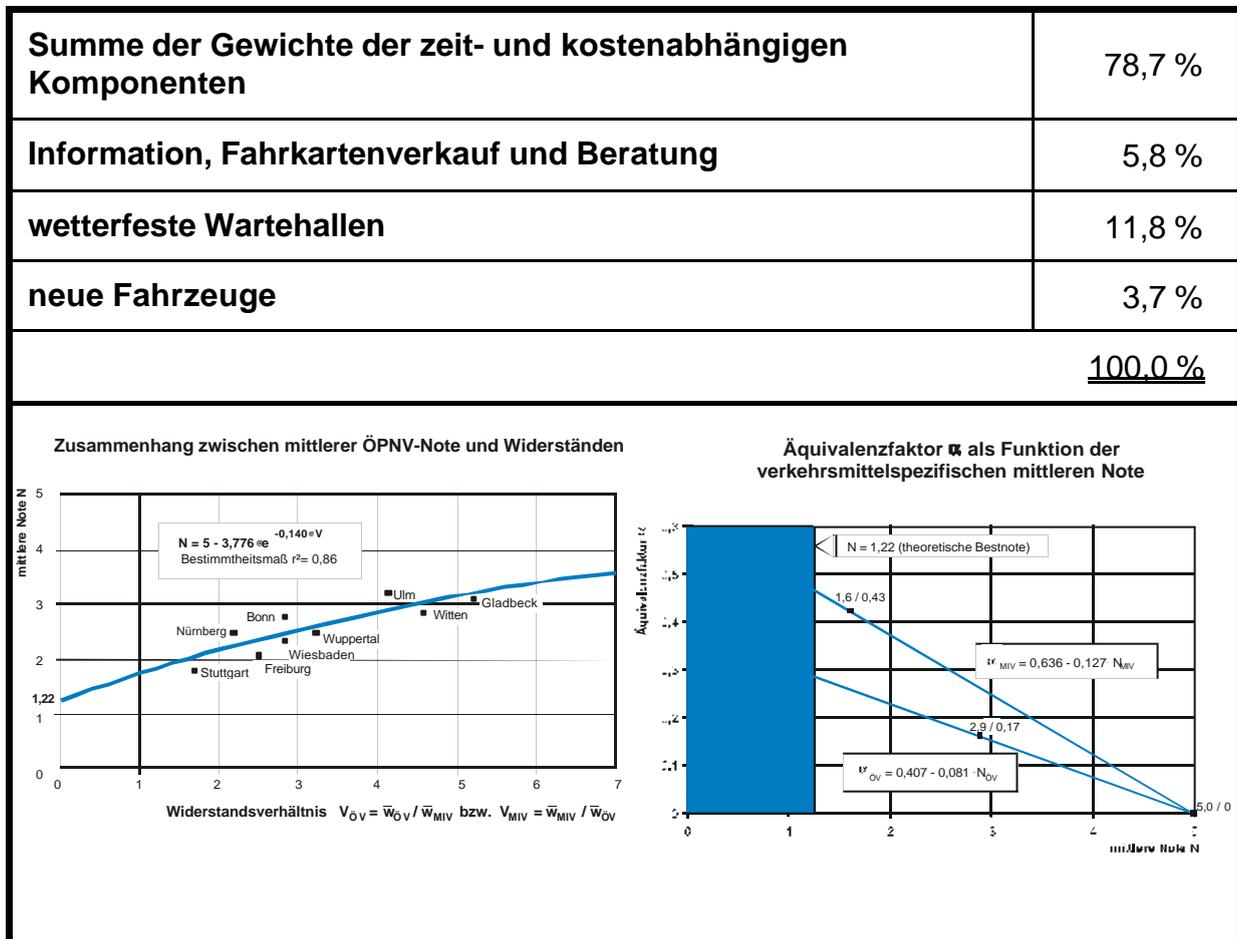


Abbildung 2.7: Qualität und Komfort (nach [91], aktualisiert 2001)

Die Gesamtnote für den ÖPNV ergibt sich aus den Teilnoten für die einzelnen Komfortkomponenten und deren Gewicht.

Demzufolge haben Zeit- und Kostenkomponenten und damit ihre Note mit circa 70 Prozent das weitaus höchste Gewicht. Diese Teilnote lässt sich aus dem Verhältnis der Widerstände für den ÖPNV und den MIV anhand des linken Diagramms in Abbildung 2.7 berechnen. Zusammen mit den Teilnoten für die Komfortkomponenten wird die Gesamtnote bestimmt. Das rechte Diagramm in Abbildung 2.7 liefert daraus den Parameter α , mit dem das Verhältnis der Widerstände als Eingangsparameter für das linke Diagramm neu bestimmt werden kann. Dieser iterative Prozess konvergiert schnell.

Widerstände

Unter Berücksichtigung aller Angebotsmerkmale aus Abbildung 2.5 und deren subjektiven Bewertungen lässt sich die Qualität des Verkehrsangebots aus der Sicht des Entscheiders für jede Route r aller Verkehrsmittel m für beliebige Quell-Ziel-Relationen i - j modellieren. Für die Bezeichnung der Kenngröße, die diese Qualität beschreibt, wählt Walther den Begriff „Widerstand“. Der Verkehrswiderstand ist die Summe über alle Angebotskomponenten einschließlich der subjektiven Bewertungen:

$$w_{ij,m,r} = \sum_k [t_{ij,m,r,k} \cdot ZB_{m,k}(t_{ij,m,r,k})] + \sum_k \frac{K_{ij,m,r,k}}{\alpha_{m,k}} \cdot E_i$$

mit

k : Index für Komponente

t_k : Reisezeitkomponente

ZB_k : Zeitbewertungsfunktion für die Reisezeitkomponente k

K_k : Kostenkomponente

α : Äquivalenzfaktor zur Berücksichtigung der Qualität

E : Einkommen

„Die *Zeitkomponenten* werden auf der Grundlage der Einheit *Minute* dem subjektiven Empfinden entsprechend mit sogenannten Zeitbewertungsfunktionen gewichtet. Der so entstandene Widerstandswert wird mit der Dimension *Widerstandseinheit* [WE] versehen.“ [92, Seite 16f]

Ein Beispiel für die Widerstandsberechnung im ÖPNV enthält Tabelle 2.2. Untersucht wird für eine 25 Kilometer lange ÖPNV-Relation ohne Umsteigen in eine mittlere Großstadt im Jahre 1997 die Umstellung von Bus- auf S-Bahnbetrieb bei gleichen Haltestellen an Quelle und Ziel sowie gleichbleibenden Bedingungen für den MIV.

Angebotskriterium	Messgröße	Subjektive Bewertung	Formel	Widerstände in WE		
				Bus (20' Takt)	S-Bahn (20' Takt)	Diff.
örtliche Verfügbarkeit (Netzdichte, Anzahl der Haltestellen)	Fußwegzeit t_F zur/ von der Haltestelle in Minuten	ZB_F	$w_{F,an} = t_{F,an} \cdot ZB_F$ $w_{F,ab} = t_{F,ab} \cdot ZB_F$	$5 \cdot 2,5 = 12,5$	$5 \cdot 1,8 = 9,0$	-3,5
				$3 \cdot 1,4 = 4,2$	$3 \cdot 1,3 = 3,9$	-0,3
zeitliche Verfügbarkeit (Häufigkeit der Verkehrsbedienung)	Fahrzeugfolgezeit in Minuten (\rightarrow Wartezeit t_W)	ZB_W	$w_W = t_W \cdot ZB_W$	$6,4 \cdot 6,5 = 41,6$	$6,4 \cdot 3,4 = 21,8$	-19,8
Beförderungszeit	Zeit t_B im Fahrzeug in Minuten	($ZB_B=1$)	$w_B = t_B \cdot 1$	$\frac{25}{32} \cdot 60 = 46,9$ ($v_B = 32$ km/h)	$\frac{25}{51} \cdot 60 = 29,4$ ($v_B = 51$ km/h)	-17,5
Kosten	Kosten K / Fahrt in DM	E, α	$w_K = \frac{K}{\alpha \cdot E}$	$\frac{151/40}{0,140 \cdot 0,60} = 25,8$ (Note = 3,3)	$\frac{151/40}{0,188 \cdot 0,60} = 23,9$ (Note = 2,7)	-1,9
Widerstand				131,0	88,0	-43,0

Tabelle 2.2: Beispiel für die Modellierung des Verkehrsangebots nach Walther
(nach [94])

Die Widerstände beschreiben das Verkehrsangebot präzise und komplex unter Berücksichtigung von Zeiten, Kosten, Komfort und subjektiver Bewertung durch den Entscheider. Sie sind die Grundlage für die Modellierung der Verkehrsnachfrage als Funktion des Verkehrsangebotes. Auf der Basis dieser Widerstandsdefinition berechnet Walther zahlreiche Kenngrößen der Verkehrsnachfrage, unter anderem den Modal-Split.

Mit steigendem Widerstand w_m für die Nutzung eines Verkehrsmittels m sinkt sein Modal-Split Anteil A_m :

$$A_m \sim \frac{1}{w_m}$$

Unter der Randbedingung

$$\sum_m A_m = 1 \quad (2.1)$$

ergibt sich daraus für den Modal-Split Anteil A_m eines Verkehrsmittels m :

$$A_m = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{w_i}} \quad (2.2)$$

Anders als bei vielen anderen Nachfragemodellen legt Walther einen besonderen Schwerpunkt auf die umfassende Modellierung des Verkehrsangebots. Diese schließt auch die unter anderem über Exponentialfunktionen abgebildete subjektive Bewertung mit ein. Dadurch können die Algorithmen zur Berechnung der Verkehrsnachfrage, wie der Teilungsalgorithmus nach Gleichung (2.2), mathematisch gesehen einfach ausfallen.

Walther weist die Gültigkeit dieses Entscheidungsalgorithmus für das Modal-Split-Modell anhand von mehr als 20 Anwendungen, zu denen auch Vorher-Nachher-Untersuchungen zum Nachweis der Maßnahmenreagibilität zählen, nach.

Unter anderem die Gleichung (2.2) ist in dem Modal-Split-/Elastizitätsmodell PNV-SPLIT [87] des VIA implementiert. Mit diesem Rechenprogramm liegt die Umsetzung der Widerstandsdefinition und des Modal-Split-Modells nach Walther in als EDV-Programm vor. „Mit dem Programm PNV-SPLIT steht ein leistungsstarkes Instrumentarium zur Lösung verkehrswirtschaftlicher, verkehrspolitischer und verkehrsplanerischer Probleme zur Verfügung.“ [87, Seite 1]

Bei einer weiteren Unterteilung der einzelnen Gruppen von Verkehrsmitteln (zum Beispiel des ÖPNV in S-Bahn, Stadtbahn und Bus) lässt sich der Modal-Split Anteil $A_{m,v}$ für jedes einzelne Verkehrsmittel v (gruppeninterne Alternativen) nach Walther [93] berechnen zu:

$$A_{m,v} = \frac{1}{w_{m,v} \cdot \mu_m} \cdot \sum_{n=1}^{\mu_n} \left(\frac{1}{\mu_n} \cdot \sum_{i=1}^{\mu_m} \frac{1}{w_{n,i}} \right)$$

mit

- n: Laufindex für die Verkehrsmittelgruppen
- i: Laufindex für gruppeninterne Alternativen
- μ_m : Anzahl der gruppeninternen Alternativen der Verkehrsmittelgruppe m

2.3.3 Fazit

Bisher existieren nur wenige Modelle, die auf verschiedenen Wegen versuchen, die Verkehrsnachfrage mit Berücksichtigung subjektiver Qualitätsbewertungen durch den Menschen zu ermitteln. Diese ersten Versuche zu einer solchen Modellentwicklung bleiben allerdings unvollständig oder verwenden ungeeignete Methoden. Die einzige

Ausnahme bildet das Modell von Walther [88], das ungewöhnlich viele Angebotsparameter (Reisezeit-, Kosten- und Komfortkomponenten) der im Nahverkehr konkurrierenden Verkehrsmittel und die jeweiligen subjektiven Bewertungen erfasst.

2.4 Folgerungen für das weitere Vorgehen

Ziel der Arbeit ist die Übertragung eines maßnahmenreagiblen Verkehrserzeugungsmodells für den gesamten Personenverkehr auf das Segment des Freizeitverkehrs.

Die vor diesem Hintergrund durchgeführte Literaturanalyse führt zu der Erkenntnis, dass kein geeignetes Verkehrserzeugungsmodell zur Verfügung steht – weder für den gesamten Personenverkehr noch für den Freizeitverkehr. Allerdings liegt mit der Widerstandsformulierung nach Walther ein Modell vor, das das Verkehrsangebot einschließlich der subjektiven nicht-linearen Bewertung durch den Menschen sowie den Modal-Split sehr präzise abbildet.

3 Konzept für die Entwicklung eines neuen Verkehrserzeugungsmodells

- 3.1 Problemstellung
- 3.2 Definition verwendeter Begriffe
- 3.3 Anforderungen an die Modellierung und Lösungsansätze
- 3.4 Vorgehensweise

3.1 Problemstellung

Aus dem Stand der Forschung nach Kapitel 2.1 ergibt sich, dass diejenigen bestehenden Verkehrserzeugungsmodelle, die ohne eine Unterscheidung nach Reisezwecken arbeiten, die in Kapitel 1 beschriebenen Anforderungen insbesondere hinsichtlich der Abbildung des Verkehrsangebots und seiner Wahrnehmung durch die Menschen nicht erfüllen. Deshalb muss anstelle der vorgesehenen Übertragung eines Modells für den gesamten Personenverkehr auf reisezweckspezifische Betrachtungen ein maßnahmenreagibles Verkehrserzeugungsmodell neu entwickelt werden.

Dieses Modell soll den Einfluss des Verkehrsangebots auf die Verkehrserzeugung vor allem für den originären Verkehr von Personen (Aktivseite) quantitativ abbilden. Zur Beschreibung des Verkehrsangebots dient aufgrund der Erkenntnisse aus den Zitaten in Kapitel 1 und des Stands der Verkehrsangebotsmodellierung nach Kapitel 2.3 das Widerstandsmodell von Walther.

Auf dieser Grundlage sind für die Verkehrserzeugung geeignete Entscheidungsalgorithmen zu entwickeln. Jeder Algorithmus soll den Prozess der Entscheidungsfindung der potentiellen Verkehrsteilnehmer widerspiegeln. Daher muss für jede beliebige Angebotssituation immer derselbe, diesen Prozess abbildende Entscheidungsalgorithmus gelten; lediglich die Eingangsgrößen verändern sich. Einen Entscheidungsalgorithmus für jeden Anwendungsfall neu zu kalibrieren (wie zum Teil üblich) würde bedeuten, Aspekte des jeweiligen Verkehrsangebots in den Algorithmus für die Entscheidung einzubeziehen, wodurch die Ergebnisse von Prognosen beeinflusst werden. Je umfassender die Modellierung des Verkehrsangebots ist (vergleiche Abbildung 2.5), desto weniger Aspekte müssen im Modell durch Kalibrierung berücksichtigt werden. Da das Modell auch für verkehrswirtschaftliche Fragestellungen und zur Beschreibung von Ist-Situationen kurzfristig ohne Erhebungen

anwendbar sein soll, muss es ohne Kalibrierung auskommen. Dadurch reduziert sich zusätzlich der finanzielle Aufwand für die Modellanwendung.

Nicht Gegenstand dieser Arbeit ist der bereits umfassend erforschte (vergleiche Kapitel 2.1) Einfluss interpersoneller Unterschiede auf die Verkehrserzeugung.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt ferner nicht auf der empirischen Erfassung sondern auf der Modellierung der Verkehrsnachfrage. Da Befragungen zum Verkehrsverhalten bereits in hinreichendem Umfang existieren, kann auf die Durchführung eigener Erhebungen im Rahmen dieser Arbeit verzichtet und das Hauptaugenmerk auf eine zielorientierte Analyse gewichtet werden.

Die vorliegenden Haushaltsbefragungen liefern – da kurze Wege häufiger auftreten als lange – vorwiegend Daten zum Nahverkehr, auf den sich folglich die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells bezieht. Die Validierung deckt damit allerdings mehr als 90 Prozent aller Wege ab. Sie erfolgt sowohl für den gesamten Personenverkehr ohne Unterscheidung nach Reisezwecken als auch für den Freizeitverkehr.

3.2 Definition verwendeter Begriffe

An dieser Stelle erscheint es für das Verständnis der Arbeit sinnvoll, häufig verwendete Begriffe zu definieren.

3.2.1 Kenngröße mit der Einheit Wege pro Person und Tag – „Mobilitätsrate“

Bei Erhebungen zum Personenverkehr werden die Angaben zur Verkehrserzeugung in der Regel in der Einheit „Wege pro Person und Tag“ gemacht. Für die Bezeichnung der Größe mit dieser Einheit existieren zahlreiche Begriffe, beispielsweise Mobilität ([38],[44],[85]), Mobilitätsrate ([73], [96], [130]), Wegezähl [109] und spezifisches Verkehrsaufkommen [5].

„Mobilität“ ist eine der gängigeren Bezeichnungen. Hautzinger führt aus: „Während in dieser Studie unter Mobilität immer durchgeführte Ortsveränderungen verstanden werden, benutzen andere Autoren diesen Begriff auch zur Kennzeichnung der Fähigkeiten des Menschen, räumliche Entfernungen zu überwinden, in einem übertragenen Sinne auch als Fähigkeit, den eigenen Lebensraum zu nutzen und zu erleben, räumliche wie geistig-soziale Grenzen zu überwinden und neue Lebensräume zu erschließen“ [38, Seite 13]. Meyers enzyklopädisches Lexikon definiert

„Mobilität“ als „räuml.-regionale (z. B. Binnen-, Ein-, Auswanderungen) und / oder positionell-soziale Bewegungsvorgänge von Personen, Personengruppen, Schichten oder Klassen einer Gesellschaft“ [58, Band 16, Seite 356]. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Bedeutungen des Begriffs „Mobilität“ wird in der vorliegenden Arbeit in Anlehnung an [73], [96] und [130] die Bezeichnung „Mobilitätsrate“ verwendet. Als Formelzeichen dient der Buchstabe M. Die Einheit der Mobilitätsrate lautet wie oben erwähnt:

$$[M] = \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$$

Hierin gilt als „Weg“ „eine Ortsveränderung, die durch eine Aktivität an einem aushäusigen Ziel bestimmt wird. Für einen Weg kann mehr als ein Verkehrsmittel genutzt werden. Ortsveränderungen, die ihren Zweck im Unterwegssein haben, wie z. B. Spaziergänge, Rad- oder Autoausflüge etc., gelten auch als Wege“ [16, Seite 9].

3.2.2 Unterscheidung nach mobilen und nicht mobilen Personen – „Mobilitätsrate Aller“, „Mobilitätsrate der Mobilen“ und „Verkehrsbeteiligungsquote“

Bei der Mobilitätsrate lässt sich unterscheiden nach mobilen und nicht-mobilen Personen. Mobile Personen sind „alle Personen, die am Erhebungsstichtag mindestens einen Weg unternehmen“ [5, Seite 148]. Ihre Mobilitätsrate sei mit „Mobilitätsrate der Mobilen“ M_M bezeichnet. Die Mobilitätsrate bezogen auf alle Personen erhält die Bezeichnung „Mobilitätsrate Aller“ M_A .

Für den Anteil der mobilen Personen an allen Personen existieren ebenfalls verschiedenste Begriffe, wie Verkehrsbeteiligungsquote [38], Mobilitätsteilnahme [109], Anteil der mobilen Personen [5, Seite 54] und Ausser-Haus-Anteil [5, Seite 148]. Es erscheint sinnvoll, eine Bezeichnung zu wählen, die aus nur einem Wort besteht und die Beteiligung am Verkehr (und nicht an der Mobilität) ausdrückt. Aus diesem Grunde erweist sich der Begriff „Verkehrsbeteiligungsquote“ als geeignet, das Formelzeichen lautet VB und die Einheit ergibt sich zu:

$$[VB] = \frac{\text{mobile Personen}}{\text{alle Personen}}$$

3.2.3 „Teilmobilitätsrate“

Die Wege, die von einer Person je Tag mit einem Verkehrsmittel m zurückgelegt werden, seien mit „Teilmobilitätsrate“ TM_m bezeichnet. Die Teilmobilitätsrate lässt sich anhand der Mobilitätsrate M (M_M oder M_A) und dem Anteil A_m des Verkehrsmittels m berechnen. Es gilt:

$$TM_m = M \cdot A_m$$

3.2.4 Induzierter Verkehr

Zur Bezeichnung der angebotsbedingten Änderung des Verkehrsaufkommens dient im Allgemeinen der Begriff „induzierter Verkehr“. „Dabei wird unter induziertem Verkehr jenes Bündel von Verkehrsaktivitäten (Mobilität) erfasst, dessen Ursache auf quantitativ-qualitative Angebotsverbesserungen zurückzuführen ist. Unterschieden wird zwischen primär und sekundär induziertem Verkehr. Direkte Erhöhungen der Fahrtzahl pro Person und Tag oder der durchschnittlichen Reiseweite werden als primär induzierter Neuverkehr, indirekte Erhöhungen aufgrund von Steigerungen der Wohnbevölkerung oder der Beschäftigtenzahl, die durch ein verbessertes Verkehrsangebot zustande gekommen sind, als sekundär induzierter Neuverkehr bezeichnet.“ [1, Seite 433] Angebotsverschlechterungen führen zu einem Rückgang der Nachfrage und damit zu negativ induziertem Verkehr.

3.2.5 Summe der Wege über alle Reisezwecke

Im Zusammenhang mit der Übertragung eines Verkehrserzeugungsmodells für den Personenverkehr auf reisezweckspezifische Betrachtungen wird einerseits nach Reisezwecken unterschieden; andererseits ist eine Bezeichnung für die Summe der Wege über alle Reisezwecke erforderlich. Da der Begriff „Gesamtverkehr“ auch Güterverkehr umfassen könnte, wird im Hinblick auf die obige Definition eines Weges die Bezeichnung „alle Wege“ gewählt, und im weiteren Text durch kursive Schrift hervorgehoben.

3.2.6 Freizeitverkehr

Als Grundlage der Zuordnung der Wege zu Reisezwecken dient meist die Zuordnung der zugehörigen Aktivitäten zu den Aktivitätszwecken: „Kriterium für die Zuordnung einer Fahrt oder eines Weges zu einem Zweck ist die Aktivität am Zielort. Ausgenommen von diesen Regeln sind Fahrten oder Wege, deren Ziel die eigene Wohnung ist. Hier ist die hauptsächliche Aktivität seit Verlassen der Wohnung entscheidend für die Zuordnung.“ [111, 2000, Seite 213] Der Heimweg wird oft auch dem Zweck der Aktivität an seiner Quelle zugeordnet.

Folglich bleibt zu klären, welche Aktivitäten als Freizeitaktivitäten einzustufen sind. [111, 2000] liefert dazu zunächst die Definitionen von Berufs-, Ausbildungs-, Geschäftsreise- und Dienstreise-, Einkaufs- sowie Urlaubsverkehr. „Im Freizeitverkehr sind alle übrigen Fahrten oder Wege erfasst, die nicht den anderen definierten fünf Fahrt- bzw. Wegezwecken zuzuordnen sind“ [111, 2000, Seite 213]. Als Alternative zu dieser Eingrenzung, die den gemessen an der Anzahl der Wege mit etwa 38 Prozent bedeutendsten Reisezweck Freizeitverkehr als „Restgröße“ beschreibt, bieten sich Positiv-Definitionen an.

Eine gängige Methode zur Identifikation von Freizeitaktivitäten ist die Einteilung der nicht für die Berufsausübung erforderlichen Zeit in verschiedene „Zeitklassen“. Dieser Einteilung folgt auch Brunsing, der beispielsweise eine Obligationszeit definiert als „Pflichtbestandteil der frei einteilbaren Zeitintervalle“, wozu er unter anderem „Selbstadministration und Privatbürokratie“ [19, Seite 32] zählt. Als weitere Zeitklasse nennt er die „freie Freizeit“, welche, positiv abgegrenzt, individuell disponibel und persönlich verfügbar ist“ [19, Seite 33].

Diese Zeitklassen lassen sich in weitere „Zeitunterklassen“ differenzieren. Zu der Frage, ob die Freizeit die Obligationszeit umfasst, existieren sehr unterschiedliche Ansichten. Beispielsweise ordnet [31] sie nicht der Freizeit zu: „Freizeit ist die Zeit, die nach Erledigung der beruflichen, familiären und sozialen Pflichten und der für den Lebenserhalt notwendigen Tätigkeiten (z. B. Körperpflege, Einkaufen, Essen, Trinken, Schlafen) verbleibt“ [31, Seite 12].

Auf das Problem der Abgrenzung zwischen den Reisezwecken und damit auf Probleme der Zuordnung von Aktivitäten zu bestimmten Zwecken weist auch Lanzendorf hin: „Am Beispiel Einkaufen werden Abgrenzungsschwierigkeiten zwischen Versorgungsarbeit und Freizeit deutlich. Einkaufen kann zum einen eine notwendige Versorgungstätigkeit sein: der Einkauf wird individuell als Pflicht empfunden, da etwa die Versorgung mit Lebensmitteln notwendig ist. Zum anderen kann Einkauf aber auch

zur Freizeittätigkeit werden: Shopping ist ein Erlebnis. Nicht das Einkaufen steht dabei im Vordergrund, sondern vielmehr der Genuß des Schaufensterbummels, das Sehen von etwas Neuem und der Zeitvertreib.“ „Ein weiteres Beispiel betrifft den Übergangsbereich von Freizeit zu Erwerbsarbeit (...) Ein Manager spielt am Sonntagmorgen Golf, um seine Geschäftsbeziehungen zu pflegen. Ist das Freizeit oder Erwerbsarbeit? Die individuelle Einschätzung des Managers kann als Kriterium herangezogen werden, um das Golfspielen als Freizeitaktivität oder als berufliche Notwendigkeit einzuordnen.“ [49, Seite 33f]

Mit der individuellen Einschätzung als Grundlage für die Zuordnung von Aktivitäten zu Zwecken bietet Lanzendorf eine Möglichkeit, die aufgezeigten Abgrenzungsprobleme zu lösen.

Den gleichen Ansatz verwenden Lüking / Meyrat-Schlee für die Definition des alltäglichen Freizeitverkehrs: „Mit ‚alltäglichem Freizeitverkehr‘ ist die Grundlast des Freizeitverkehrs im täglichen Verkehrsgeschehen – typischerweise bezogen auf den Wohnort und im allgemeinen jenseits von besonderen Ferien- oder Feiertagszeiten – gemeint, wie sie in den globalen Verkehrsbefragungen (Mikrozensus, Verkehrsbefragung Nordwestschweiz) durch explizite Angabe des Verkehrszwecks ‚Freizeit‘ einschließlich ‚Freizeitwege zurück nach Hause‘ erkennbar wird.“ [53, Seite A2]

Wegen der Zuordnungsprobleme – aus der Tätigkeit am Ziel kann nicht grundsätzlich auf den Zweck geschlossen werden – erscheint die Definition des Freizeitverkehrs auf der Basis der individuellen Einschätzung am geeignetsten.

Diese Definition ist kompatibel mit dem Datenmaterial, das für die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells in der vorliegenden Arbeit verwendet wird (eine ausführliche Beschreibung der Daten enthält Kapitel 6.2.2). Die Erhebung dieser Daten entspricht dem KONTIV-Design, bei dem die Antworter für jeden Weg selbst die Zuordnung zum Reisezweck vornehmen.

3.3 Anforderungen an die Modellierung und Lösungsansätze

Ein wesentliches Ziel der Arbeit besteht, wie in der Problemstellung (Kapitel 3.1) formuliert, in der Entwicklung eines Modells, dass die Verkehrserzeugung reisezweckspezifisch als Funktion des Verkehrsangebots und dessen subjektiver Bewertung berechnet. Dazu werden in diesem Kapitel die Anforderungen an das zu schaffende Verkehrserzeugungsmodell formuliert.

3.3.1 Sicherstellung der Maßnahmenreagibilität

Das Modell soll sich durch Maßnahmenreagibilität auszeichnen. „Die Forderung nach ‚Maßnahmenreagibilität der Modelle‘ bedeutet, dass die Umsetzung heutiger oder zukünftiger Instruktionen (Maßnahmen, Handlungskonzepte) abbildbar sein muss - also baulich-infrastrukturelle Maßnahmen hinsichtlich Raumstruktur und Verkehrsanlagen, betriebliche Maßnahmen, organisatorische Maßnahmen, rechtliche/ordnungsbehördliche Maßnahmen, Maßnahmen finanzieller Anreize aber auch Maßnahmen informatorischer Art.“ [6, Seite 11] Dazu gehört auch die Einkommenssituation und ihre Entwicklung.

Die richtige Maßnahmenreagibilität ist - wie im Folgenden erläutert - eine notwendige Voraussetzung für die Richtigkeit von Verkehrsnachfragemodellen.

Mit Hilfe eines Verkehrsnachfragemodells lässt sich üblicherweise die Nachfrage für einen bestimmten Zustand eines Systems beschreiben. Das gleiche Modell liefert auch die Nachfrage für andere Zustände des gleichen Systems. Als Differenz zwischen zwei Zuständen ergibt sich die Änderung der Verkehrsnachfrage.

Wenn die berechnete Änderung nicht mit dem beobachteten Verhalten übereinstimmt, berechnet das Modell die Nachfrage für mindestens einen der beiden Zustände falsch. Sofern beide Zustände im Definitionsbereich des Modells liegen, erweist sich das Modell damit als nicht allgemeingültig. Die Entscheidungsalgorithmen von Verkehrsnachfragemodellen müssen deshalb für jede beliebige Konstellation der Eingangsgrößen und deren Veränderungen zu sinnvollen Änderungen der Nachfrage bezüglich Vorzeichen und Betrag führen.

Bei der Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen erscheint es in der Regel wenig sinnvoll, nur einen einzigen Aspekt der Verkehrsnachfrage, wie die Verkehrserzeugung, zu betrachten. Aus diesem Grund werden für Nachfrageberechnungen in der Praxis die Modelle für die einzelnen Kenngrößen der Verkehrsnachfrage miteinander verknüpft, wie beispielsweise die vier Stufen im Vier-Stufen-Algorithmus. Wenn die einzelnen Modelle nur aus einem Algorithmus bestehen, sind die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge für diesen einen Algorithmus meist übersichtlich, so dass die Maßnahmenreagibilität leicht feststellbar ist. Die Sensitivität dieser einzelnen Algorithmen ist bei deren Verknüpfung zu einem komplexeren Modell eine zwar notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung für die Maßnahmenreagibilität der Verknüpfung der Modelle. Deshalb ist auch für die Verknüpfung der Modelle der Nachweis der richtigen Maßnahmenreagibilität erforderlich.

3.3.2 Umfassende Absicherung des Modellzusammenhangs

Anders als beispielsweise in den Naturwissenschaften lassen sich Verkehrsnachfragealgorithmen nicht mit hundertprozentiger statistischer Sicherheit als richtig nachweisen. Die Methoden zur Entwicklung des Verkehrserzeugungsmodells werden vor diesem Hintergrund so gewählt, dass sie erlauben, das Modell weit über das übliche Maß hinaus abzusichern. Das gilt für jeden einzelnen Schritt der gesamten Modellentwicklung, beispielsweise die Festlegung des Modellansatzes und die Validierung. Die Vorstellung der Methoden zur weitergehenden Absicherung des Modellzusammenhangs geschieht getrennt nach den einzelnen Schritten.

3.3.3 Deduktion zur Modellbestimmung

Entscheidungsalgorithmen zur Berechnung von Kenngrößen der Verkehrsnachfrage werden üblicherweise induktiv bestimmt. Dabei ist zunächst der Modellzusammenhang, zum Beispiel die Funktionsform, (begründet) zu „raten“, um dann anhand von Erhebungen zu zeigen, dass das Modell beobachtetes Verhalten abbildet.

Bei diesem Vorgehen muss anhand von Beispielen auf allgemeine Zusammenhänge geschlossen werden. Die Beispiele stellen dabei gleichzeitig die Grundlage für drei Aufgaben dar: die Wahl des Modellzusammenhangs, dessen Validierung sowie seine Kalibrierung. Die verwendete Anzahl von Wertepaaren und der Teil des Definitionsbereichs, den die Wertepaare abdecken, beeinflussen die Wahrscheinlichkeit, dass der Modellzusammenhang auch die Realität wiedergibt.

Die Alternative zu induktivem Vorgehen besteht in der Deduktion, der „Ableitung einer Aussage (These A) aus anderen Aussagen (Hypothesen A_1, \dots, A_n) kraft log. Schlussregeln ($A_1, \dots, A_n \mid A$)“ [58, Band 6, Seite 345]. Für eine Deduktion bedarf es folglich als Grundlage der Formulierung von Aussagen.

Im Hinblick auf das gesteckte Ziel einer möglichst weitergehenden Absicherung des Modellzusammenhangs soll in dieser Arbeit die Deduktion insoweit für die zuverlässige Bestimmung der Funktionsformen der Entscheidungsalgorithmen des Verkehrserzeugungsmodells Anwendung finden, wie dies in den Ingenieurwissenschaften möglich ist. Ein anschließendes Hinzuziehen von Beispielen dient damit vorwiegend der einmaligen Kalibrierung der Funktionsparameter. Im Vergleich zu rein induktivem Vorgehen genügt hier jedoch eine deutlich geringere Anzahl von Beispielen.

3.3.4 Plausibilitätskontrollen bei der Modellvalidierung

Kenngößen der Verkehrsnachfrage, die im Zusammenhang mit der Validierung zusätzlich zur Mobilitätsrate der Mobilen und der Verkehrsbeteiligungsquote berechnet werden, dienen zur zusätzlichen Absicherung des neuen Modells.

3.3.5 Quantifizierung des induzierten Verkehrs

Nach der oben angegebenen Definition (vergleiche Kapitel 3.2.4) beschreibt der Begriff des primär induzierten Verkehrs die Änderung der Mobilitätsrate Aller als Reaktion auf Maßnahmen im Bereich des Verkehrsangebots. Da das neue Verkehrserzeugungsmodell maßnahmenreagibel sein soll, muss es in der Lage sein, primär induzierten Verkehr zu quantifizieren. Um zu erreichen, dass der induzierte Verkehr grundsätzlich richtig berechnet wird, sind bei der Anwendung der Deduktion Aussagen bezüglich des primär induzierten Verkehrs zu treffen.

3.3.6 Ansätze zur Berechnung der Kenngößen des Verkehrsangebots

Sowohl für die einmalige Kalibrierung des neuen Verkehrserzeugungsmodells als auch für Anwendungen dieses Modells außerhalb der vorliegenden Arbeit müssen alle Merkmale des Verkehrsangebots nach Abbildung 2.5 untersuchungsgebietspezifisch, gegebenenfalls unterschieden nach Reisezwecken, Verkehrszellen oder Relationen, bestimmt werden. Einige Merkmale des Verkehrsangebots lassen sich leicht ermitteln, zum Beispiel die Beförderungszeit im ÖPNV anhand von Fahrplänen, für andere Größen wie die Parkstandssuchzeit im MIV liegen nur für einzelne Untersuchungsgebiete Erhebungswerte vor. Um solche Größen zukünftig zuverlässig für beliebige Untersuchungsgebiete bestimmen zu können, ist es notwendig, Ansätze zu deren Berechnung zu entwickeln.

Der Nachweis, dass das neue Verkehrserzeugungsmodell wie in der Problemstellung gefordert ohne fallspezifische Kalibrierung auskommt, lässt sich nur führen, wenn die Eingangsgrößen nicht als „Stellschrauben“ für die Kalibrierung eingestuft werden können. Zuverlässige untersuchungsgebietsspezifische Werte für die Angebotsmerkmale sind ferner eine notwendige Voraussetzung für die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells, da sich sonst auch falsche Modelle vermeintlich validieren ließen. Zudem hängt die Qualität der Ergebnisse der Verkehrsnachfrageberechnungen stark von der Zuverlässigkeit der Eingangsgrößen ab.

3.4 Vorgehensweise

Nach den Überlegungen in Kapitel 3.3 zur Formulierung des Verkehrserzeugungsmodells gibt Kapitel 3.4 die einzelnen Schritte der Modellentwicklung wieder. Einen Überblick über diese einzelnen Schritte enthält Abbildung 3.1, die im Folgenden näher erläutert wird. Die Kapitel 3 bis 6 bilden zusammen den Kern der Arbeit. Sie sind daher in der Abbildung 3.1 stärker hervorgehoben. Die Aussagen in allen Kapiteln gelten sowohl für *alle Wege* als auch für den *Freizeitverkehr*. Eine entsprechende Unterscheidung wird, sofern erforderlich, in den einzelnen Unterkapiteln vorgenommen. Für die Gleichungen, zu denen keine Einheiten angegeben sind, gelten die SI-Einheiten (Größengleichungen).

Aufgrund der großen Diskrepanz zwischen dem in der Einleitung (Kapitel 1) formulierten Ziel und dem in Kapitel 2 eruierten Stand der Forschung enthält Kapitel 3 die Formulierung eines Konzeptes für die Entwicklung eines neuen Verkehrserzeugungsmodells. Die theoretische Herleitung des Modells ist Gegenstand von Kapitel 4. Aufgrund der Überlegungen zur Methode in Kapitel 3.3 werden für die Modellentwicklung allgemeingültige Aussagen zum Verkehrsnachfrageverhalten formuliert. Sie bilden die Grundlage für die Deduktion zur Bestimmung der mathematischen Formen der Entscheidungsalgorithmen.

Für die Validierung des neuen Modells müssen zusätzlich zu den Entscheidungsalgorithmen die untersuchungsgebietsspezifischen Ausprägungen der Verkehrsangebotsmerkmale als Eingangsgrößen des Verkehrserzeugungsmodells bekannt sein. In Kapitel 5 werden deshalb Ansätze zur Berechnung von Verkehrsangebotsmerkmalen entwickelt. Dazu gehört für jeden einzelnen Ansatz eine Auswertung der entsprechenden Literatur. Zusätzlich umfasst das Kapitel 5 für alle anderen Angebotsmerkmale auch kurze Beschreibungen existierender Ansätze beziehungsweise geeigneter Daten zu deren Ermittlung. Auf diese Weise entsteht ein „Handbuch“, das die Bestimmung aller Widerstandsparameter bei der Validierung des Verkehrserzeugungsmodells beschreibt und eine hilfreiche Grundlage für die praktische Anwendung von Verkehrsnachfragemodellen sein kann.

Auf der Basis dieser Ansätze erfolgt in Kapitel 6 die Validierung der Entscheidungsalgorithmen nach Kapitel 4. Dazu werden dem anhand von Kapitel 5 ermittelten Verkehrsangebot Werte für Kenngrößen der Verkehrsnachfrage aus Verkehrserhebungen gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung ermöglicht ferner, die Parameter der Entscheidungsalgorithmen einmalig zu eichen. Zur zusätzlichen Bestätigung der Genauigkeit der Modellrechnungen dienen Plausibilitätskontrollen.

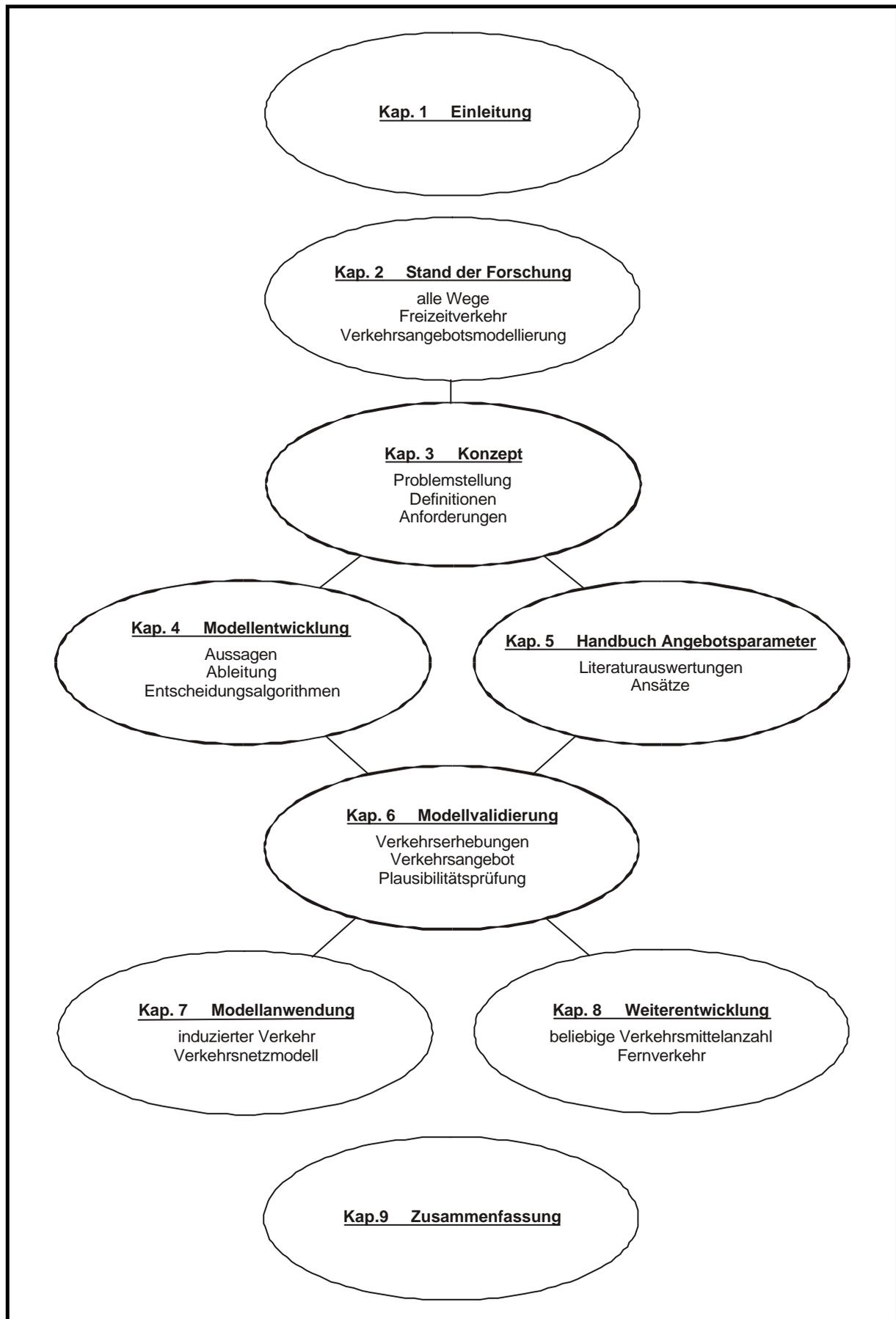


Abbildung 3.1: Grundsätzlicher Aufbau der Arbeit

Nach der Validierung werden in Kapitel 7 Anwendungsmöglichkeiten des neuen Verkehrserzeugungsmodells präzisiert und anhand von Beispielen illustriert. Kapitel 8 zeigt Möglichkeiten zur Erweiterung der Einsatzbereiche des Modells auf und liefert konkrete Hinweise für deren Realisierung. Die Arbeit schließt in Kapitel 9 mit der Zusammenfassung und einem Ausblick.

4 Theoretische Herleitung eines neuen Verkehrserzeugungsmodells

- 4.1 Kenngrößen und Vorgehensweise
- 4.2 Anforderungen aus der Maßnahmenreagibilität des Verkehrserzeugungsmodells
- 4.3 Anforderungen aus der Maßnahmenreagibilität der Verknüpfung von Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell
- 4.4 Herleitung des Modellansatzes für die Mobilitätsrate der mobilen Personen
- 4.5 Herleitung des Modellansatzes für die Verkehrsbeteiligungsquote und theoretische Überprüfung des Verkehrserzeugungsmodells
- 4.6 Folgerungen

4.1 Kenngrößen und Vorgehensweise

Für die Entwicklung eines maßnahmenreagiblen Verkehrserzeugungsmodells müssen die Kenngrößen, die in diesem Modell das Verkehrsangebot und die Verkehrserzeugung beschreiben, festgelegt werden.

4.1.1 Kenngröße des Verkehrsangebots

Grundlage für die Verkehrsnachfrageberechnung soll die Verkehrsangebotsmodellierung von Walther (vergleiche zum Beispiel Kapitel 2.3.2) sein.

Die Nachfrage nach einem Produkt hängt vom Angebot mit seinen Eigenschaften, zum Beispiel Qualität und Preis, ab. Soll zum Beispiel für die Bevölkerung eines städtischen Raumes die Mobilitätsrate berechnet werden, ist dafür als Grundlage ein Indikator für die Qualität des Verkehrsangebots, beispielsweise ein Widerstand, für diesen Raum erforderlich. Als einen solchen Indikator hat Walther die „Größe ‚mittlerer Gesamtsystem-Widerstand‘ als Basiswert für die Betrachtung von Mobilitätsänderungen eingeführt“ [88, Seite 42].

Der Gesamtsystem-Widerstand ist der mit den Verkehrsmittelanteilen gewichtete Mittelwert der verkehrsmittelspezifischen Widerstände:

$$w_{GS} = \sum_{m=1}^{\mu} (A_m \cdot w_m) \quad (4.1)$$

mit

- w_{GS} : Gesamtsystem-Widerstand
- A_m : Anteil des Verkehrsmittels m
- w_m : Widerstand des Verkehrsmittels m
- μ : Anzahl der Verkehrsmittel

„Damit sind in einem einzigen Wert sehr komplexe Wirkungszusammenhänge zwischen Angebot und Nachfrage im städtischen Verkehr repräsentiert.“ [88, Seite 42] Die Verkehrserzeugung ist also auf der Basis dieses Gesamtsystem-Widerstands zu berechnen:

$$\text{Verkehrserzeugung} = f(w_{GS}) \quad (4.2)$$

Mit dem Gesamtsystem-Widerstand lässt sich die Qualität des Verkehrsangebots sowohl für ganze (städtische) Räume als auch für Korridore, Zellen und Einzelrelationen beschreiben.

4.1.2 Kenngrößen der Verkehrserzeugung

Als Kenngröße der Verkehrserzeugung könnte die in Kapitel 3.2.2 definierte Mobilitätsrate *Aller* verwendet werden. Eine Unterscheidung in mobile und nicht mobile Personen weist jedoch mehrere Vorteile in verschiedenerlei Hinsicht auf:

- Bei der Anwendung des Modells besteht die Möglichkeit, zwischen dem Einfluss einer Maßnahme auf den Anteil der am Verkehr teilnehmenden Personen und dem Einfluss der Maßnahme auf die Mobilitätsrate dieser Personen zu unterscheiden.

- Wird bei der theoretischen Herleitung des Modellansatzes nach der Mobilitätsrate der Mobilen und der Verkehrsbeteiligungsquote differenziert, lassen sich an beide Größen Anforderungen hinsichtlich des Funktionsverlaufs formulieren. Somit ergibt sich eine größere Anzahl von Anforderungen.
- Bei der Durchführung und Hochrechnung von Erhebungen führen unterschiedliche methodische Ansätze zu unterschiedlichen Resultaten für die beiden genannten Nachfragekenngößen. Eine Unterscheidung erleichtert deshalb den Vergleich methodisch unterschiedlicher Erhebungen.

Beispielsweise stellt Zängler fest: „Allerdings werden durch die genauere Erfassung der Feinmobilität durch die Einführung von Zwischenstops in Mobilität '97 wesentlich mehr verkettete Wege (mehr als zwei Wege innerhalb einer Tour) berichtet als in KONTIV '89“ [96, Seite 136]. Dieser Effekt wirkt sich ausschließlich auf die Größe der Mobilitätsrate der Mobilen aus.

Beim Deutschen Mobilitätspanel finden Personen keine Berücksichtigung, „wenn

1. kein Weg in der ganzen Woche berichtet wurde und
2. keine Gründe angegeben wurden, die eine vollständige Immobilität über die ganze Woche erklären“ [109, Seite 12 (1995)].

„Dieser Ansatz erlaubt es gerade im Unterschied zu Erhebungen des Mobilitätsverhaltens an Stichtagen, eindeutig zwischen immobilen Personentagen und einer Totalverweigerung zu differenzieren.“ [109, Seite 12 (1995)] Die Verkehrsbeteiligungsquote fällt deshalb in den Auswertungen des Deutschen Mobilitätspanels höher aus als bei Stichtagserhebungen.

Die Differenzierung nach den Kenngößen Mobilitätsrate der Mobilen und Verkehrsbeteiligungsquote erleichtert deshalb den Vergleich methodisch unterschiedlicher Erhebungen.

Aus den genannten Gründen wird im Weiteren nach mobilen und nicht mobilen Personen unterschieden. Damit lässt sich Gleichung (4.2) umschreiben zu:

$$M_M = f(w_{GS}) \quad \wedge \quad VB = f(w_{GS}) \quad (4.3)$$

4.1.3 Vorgehensweise

Gegenstand dieses Hauptkapitels ist die theoretische Herleitung der mathematischen Form des in den Gleichungen (4.3) formulierten Modells ohne Zuhilfenahme von Erhebungen allein auf der Grundlage allgemeingültiger Aussagen zum Verkehrsverhalten. Aus diesen Aussagen sind Anforderungen an das zu entwickelnde Modell herleitbar. Diese Anforderungen werden in den Kapiteln 4.2 und 4.3 formuliert.

Die deduktive Herleitung der funktionalen Zusammenhänge in den Gleichungen (4.3) aus diesen Anforderungen erfolgt getrennt für die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote in den Kapiteln 4.4 und 4.5.

4.2 Anforderungen aus der Maßnahmenreagibilität des Verkehrserzeugungsmodells

4.2.1 Ziel

Das Verkehrserzeugungsmodell muss auf jede Angebotsänderung der Realität entsprechend reagieren.

Voraussetzung dafür ist unter anderem, dass die Algorithmen der Gleichungen (4.3) in den Randbereichen ihres Definitionsbereichs keine unplausiblen Werte annehmen, der Wertebereich der Funktionen sinnvoll beschränkt ist und der Funktionsverlauf beobachtetem Verhalten qualitativ entspricht.

Diese Anforderungen werden getrennt für die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote bestimmt. Der Definitionsbereich beider Funktionen ist p^+ .

4.2.2 Anforderungen an die Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen

Definitionsgemäß legt eine an einem Tag mobile Person an diesem Tag mindestens einen Weg zurück. Es gilt deshalb, wie in Abbildung 4.1 dargestellt:

$$M_M \geq 1 \frac{\text{Weg}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$$

Ein sehr kleiner Widerstand pro Weg würde zum Beispiel von Personen erreicht, die sich von Scotty, dem Chef-Ingenieur des Raumschiffs Enterprise, beamen lassen. Selbst wenn Scotty auf der Erde leben würde, würde die Mobilitätsrate der Mobilen keinen unendlichen

Wert annehmen, weil Weltraumbewohner wie Erdenbürger am Ziel ihres Weges Aktivitäten nachgehen wollen. Das heißt, der Grenzwert der Funktion der Mobilitätsrate der Mobilen für den Gesamtsystem-Widerstand gegen Null existiert:

$$\lim_{w_{GS} \rightarrow 0} [M_M(w_{GS})] =: M_{M,0}$$

Es ist unbestritten, dass die Nachfrage nach einem Gut üblicherweise mit steigendem Preis sinkt. Für die hier behandelte Problematik bedeutet dieser Sachverhalt, dass mit steigendem Widerstand (Preis) die Mobilitätsrate der Mobilen (Nachfrage) sinkt.

Der funktionale Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen ist folglich wie in Abbildung 4.2 dargestellt streng monoton fallend.

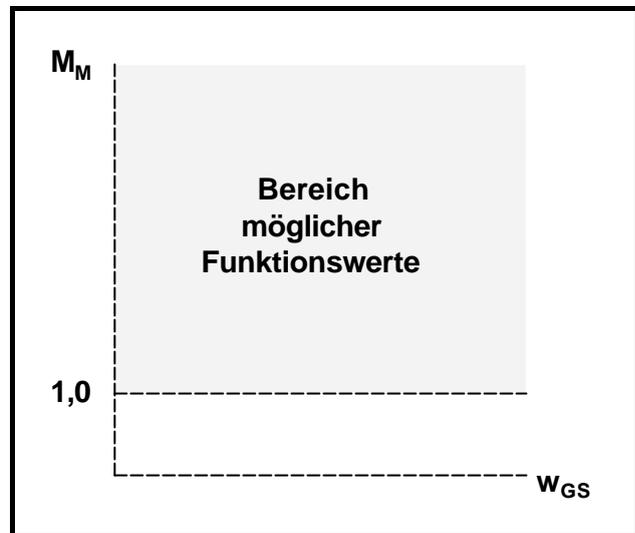


Abbildung 4.1: Untere Schranke der Mobilitätsrate der Mobilen

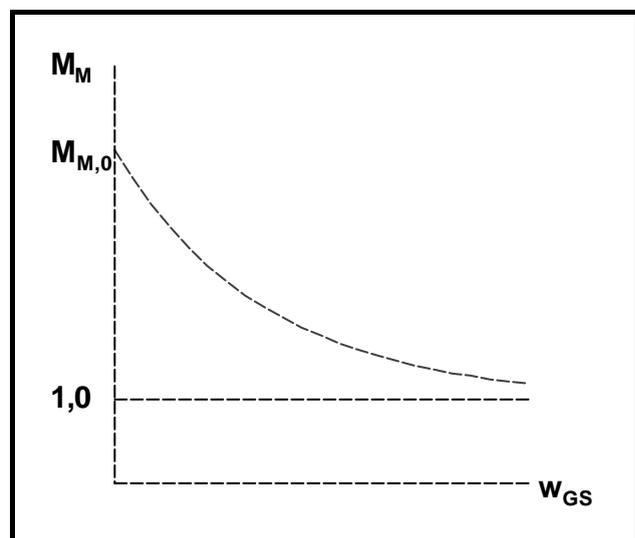


Abbildung 4.2: Verlauf der Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen

4.2.3 Anforderungen an die Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote

Definitionsgemäß liegt die Verkehrsbeteiligungsquote zwischen Null und 100 Prozent (vergleiche Abbildung 4.3). Zunächst lässt sich also feststellen:

$$VB > 0$$

Der Wert von 100 Prozent wird allerdings in der Realität nie erreicht, da zu jeder Zeit Menschen ganze Tage beispielsweise zu Hause oder im Krankenhaus bettlägerig sind, vor dem Fernseher oder im Gefängnis verbringen.

Es bleibt folglich, einen sinnvollen Wert für die obere Grenze der Verkehrsbeteiligungsquote abzuschätzen.

Die Verkehrsbeteiligungsquote nimmt dann den größten Wert an, wenn der Gesamtsystem-Widerstand gegen Null geht. Da Situationen mit Gesamtsystem-Widerständen in dieser Größenordnung unrealistisch sind, ist nur eine Abschätzung auf der Grundlage von Erhebungen zum Verhalten bei höheren Gesamtsystem-Widerständen möglich.

Kloas / Kunert [118] liefern die in Tabelle 4.1 wiedergegebene Übersicht über die Anteile der Gründe der Nicht-Teilnahme am Verkehr auf der Grundlage der KONTIV-Erhebungen 1976 und 1982. Wegen des Methodenwechsels zwischen den KONTIV-Befragungen 1982 und 1989 wird die Erhebung von 1989 nicht weiter betrachtet.

In Anbetracht des Ziels – der Bestimmung der Verkehrsbeteiligungsquote bei einem Gesamtsystem-Widerstand von Null – ist zu fragen, wie sich die Immobilität ändert, wenn der Gesamtsystem-Widerstand klein wird.

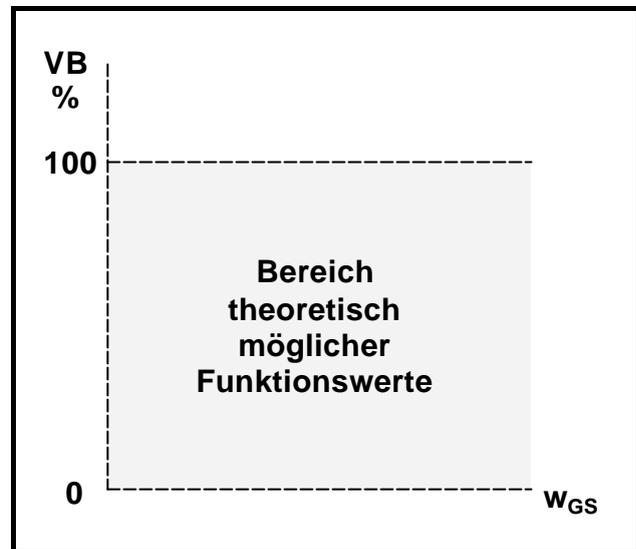


Abbildung 4.3: Theoretische Schranken für die Verkehrsbeteiligungsquote

Grund der Immobilität	KONTIV '76	KONTIV '82
Daten (nach [118, Seite 192])		
Keiner, d. h. Weg vorhanden	78,7	76,6
Alter	2,9	0,5
Krankheit		4,1
Wetter	0,5	1,5
Hausarbeit	0,5	3,0
ohne Aktivität	3,9	5,0
sonstige Gründe	1)	1,8
nicht am Wohnort	1,9	3,1
keine Angabe, kein Personenbogen	2)	4,4
nicht verwertbarer Personenbogen	2,3	1)
Immobil, ohne Angabe von Grund	9,4	-
Berechnung		
verwertbare Angaben	$100 - 2,3 = 97,7$	$100 - 4,4 = 95,6$
Immobile mit Angabe des Grundes bei $w \textcircled{0}$	$0,5 \cdot 2,9 + 1,9 = 3,35$	$0,5 \cdot (0,5 + 4,1) + 3,1 = 5,4$
Immobile mit Angabe des Grundes im Ist-Zustand	$2,9 + 0,5 + 0,5 + 3,9 + 1,9 = 9,7$	$0,5 + 4,1 + 1,5 + 3,0 + 5,0 + 3,1 = 17,2$
Immobile insgesamt im Ist-Zustand	$9,7 + 9,4 = 19,1$	$17,2 + 1,8 = 19,0$
Immobile insgesamt bei $w \textcircled{0}$	$3,35 / 9,7 \cdot 19,1 = 6,6$	$5,4 / 17,2 \cdot 19,0 = 6,0$
Maximale Verkehrsbeteiligungsquote	$1 - 6,6 / 97,7 = 93,24$	$1 - 6,0 / 95,6 = 93,72$
<p>1) Codierung nicht vorgesehen</p> <p>2) Codierung vorgesehen, aber nicht belegt, daher wahrscheinlich Fallzahl „immobil ohne Angabe von Grund“</p>		

Tabelle 4.1: Bedeutung der Gründe für die Nicht-Teilnahme am Verkehr in % sowie Berechnung der maximalen Verkehrsbeteiligungsquote

Der in Tabelle 4.1 genannte Grund „Krankheit“ beeinträchtigt einerseits die Verkehrsteilnahme des Einzelnen. Andererseits ermöglicht ein geringer Widerstand auch Kranken, Wege beispielsweise zu Arzt, Apotheke und Supermarkt zurückzulegen. Für die grobe Abschätzung der maximalen Verkehrsbeteiligungsquote wird überschlägig angenommen, dass bei geringem Gesamtsystem-Widerstand nur die Hälfte aller Kranken nicht am Verkehr teilnimmt.

Bei der KONTIV '76 haben die Gründe „Alter“ und „Krankheit“ die gleiche Codierung, so dass eine Unterscheidung zwischen diesen beiden Gründen nicht möglich ist. Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, erscheint es sinnvoll, den Grund „Alter“ ebenso zu kategorisieren. Da er außerdem nur geringe Bedeutung hat (siehe Werte nach KONTIV '82 in Tabelle 4.1) wird er genauso behandelt wie der Grund „Krankheit“.

Es ist davon auszugehen, dass der Gesamtsystem-Widerstand wenig Einfluss auf die Abwesenheit vom Wohnort hat. Insofern muss dieser Grund in die Berechnung der maximalen Verkehrsbeteiligungsquote einfließen.

Ein geringer Gesamtsystem-Widerstand bedeutet, dass die Wege in sehr kurzer Zeit und nahezu kostenfrei zurückgelegt werden. Der Einfluss des Wetters wird dadurch geringer, man kann „mal eben schnell“ etwas während der Hausarbeit außer Haus erledigen oder auch Kommunikation über Medien durch persönliche Kontakte ersetzen. Die Gründe „Wetter“, „Hausarbeit“ und „ohne Aktivität“ finden deshalb bei der Bestimmung der maximalen Verkehrsbeteiligungsquote keine Berücksichtigung.

Auf der Basis dieser Annahmen ergeben sich die in Tabelle 4.1 ausgewiesenen maximalen Verkehrsbeteiligungsquoten. Für die weiteren Berechnungen wird der in Abbildung 4.4 dargestellte Mittelwert verwendet:

$$VB \leq 93,5\%$$

Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Daten lediglich eine Abschätzung der maximalen Verkehrsbeteiligungsquote möglich ist.

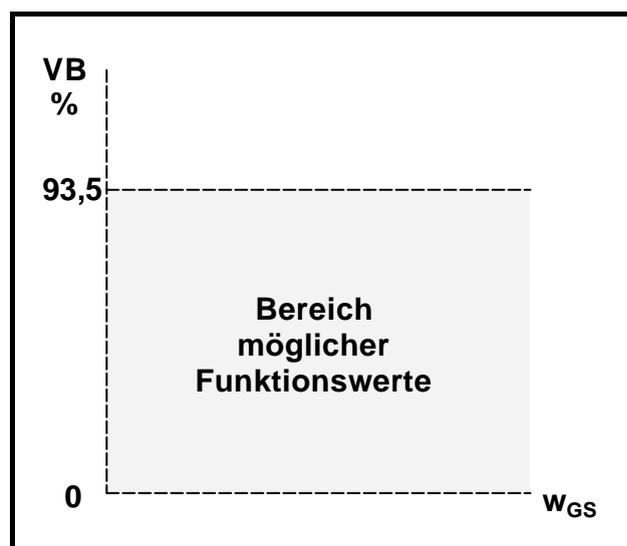


Abbildung 4.4: Realistischer Wertebereich für die Verkehrsbeteiligungsquote

Da mit steigendem Gesamtsystem-Widerstand die Verkehrsnachfrage sinkt, muss – analog zur Mobilitätsrate der Mobilen – der Zusammenhang zwischen der Verkehrsbeteiligungsquote und dem Gesamtsystem-Widerstand streng monoton fallend sein.

Unter Berücksichtigung der drei genannten Eigenschaften ergibt sich der in Abbildung 4.5 dargestellte Funktionsverlauf für die Verkehrsbeteiligungsquote.

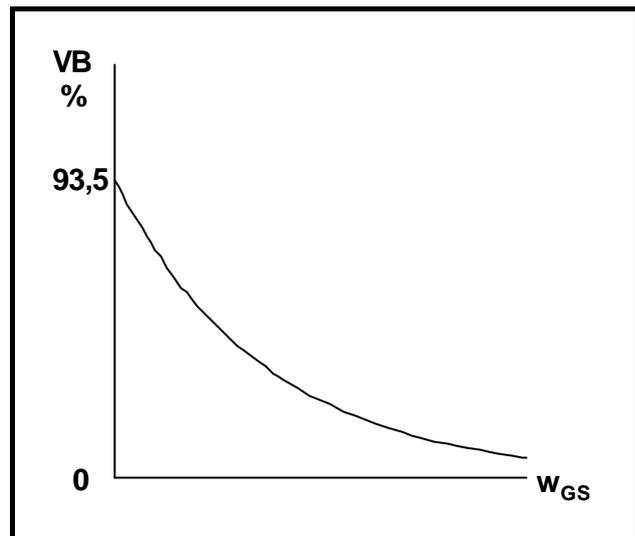


Abbildung 4.5: Verlauf der Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Überlegungen in diesem Kapitel zu jeweils drei Anforderungen an die funktionalen Zusammenhänge in den zwei Gleichungen (4.3) führen. Bei der Formulierung dieser Anforderungen wurden die beiden funktionalen Zusammenhänge zunächst unabhängig voneinander und unabhängig von dem Modell zur Berechnung des Gesamtsystem-Widerstand betrachtet.

4.3 Anforderungen aus der Maßnahmenreagibilität der Verknüpfung von Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell

4.3.1 Art der Verknüpfung von Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell

Als Eingangsgröße des Verkehrserzeugungsmodells dient nach den Gleichungen (4.3) der Gesamtsystem-Widerstand. Er lässt sich nach Gleichung (4.1) aus den verkehrsmittelspezifischen Widerständen und den Verkehrsmittelanteilen, die das Modal-Split-Modell von Walther liefert, berechnen. Dies ist eine der Verknüpfungen zwischen dem neu zu entwickelnden Verkehrserzeugungsmodell und dem Modal-Split-Modell. In diesem Kapitel werden weitere Interdependenzen zwischen den beiden Modellen (Kapitel 4.3.1) und die daraus folgenden Konsequenzen für die Entscheidungsalgorithmen untersucht. Diese Untersuchung muss erfolgen, um die Kompatibilität zwischen den beiden Modellen zu garantieren. Ferner soll, wie bereits

in Kapitel 3.3.1 formuliert, erreicht werden, dass der durch die Modellkopplung entstehende Modellkomplex maßnahmenreagibel ist (Kapitel 4.3.2).

Dazu muss zunächst festgestellt werden, ob die beiden Modelle einzeln betrachtet diese Eigenschaft besitzen. Walther schreibt, dass sich mit dem von ihm geschaffene Modal-Split-Modell „Fragen nach der zu erwartenden Marktreaktion auf vielfältige Maßnahmen im Bereich der Angebots- und Kostenstruktur beantworten“ [88, Seite 93] lassen. Die in Kapitel 4.2 formulierten Anforderungen stellen die Voraussetzung für ein maßnahmenreagibles Verkehrserzeugungsmodell dar.

Die Maßnahmenreagibilität der einzelnen Modelle ist bei deren Verknüpfung zu einem Modellkomplex eine zwar notwendige jedoch nicht hinreichende Bedingung für die Maßnahmenreagibilität des Modellkomplexes. Deshalb ist auch für die Verknüpfung beider Modelle der Nachweis der Maßnahmenreagibilität erforderlich.

Dazu werden die Interdependenzen zwischen den beiden Modellen analysiert und anhand eines Beispiels verdeutlicht.

Einen Überblick über die Berechnung des Modal-Split, der Verkehrserzeugung und der verkehrsmittelspezifischen Teilmobilitätsraten gibt Abbildung 4.6.

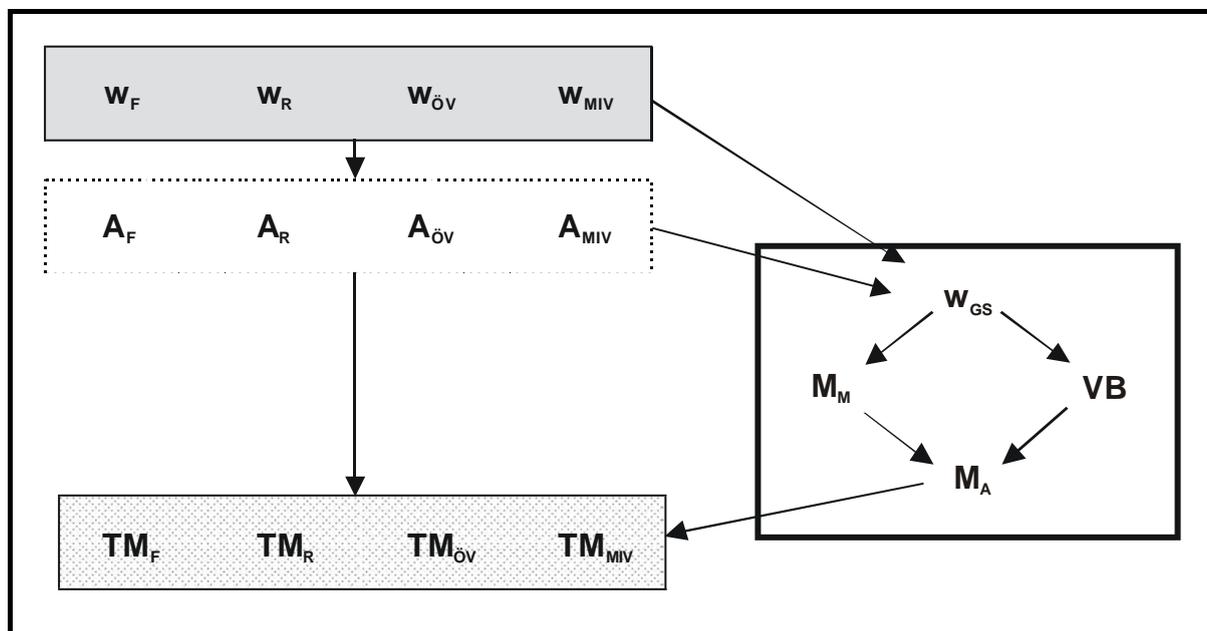


Abbildung 4.6: Interdependenzen von Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell

Als Eingangsgröße dienen dabei die verkehrsmittelspezifischen Widerstände w_m (in der Abbildung 4.6: die Widerstände der vier Verkehrsmittel zu Fuß (F), Rad (R), ÖV und MIV). Ein verkehrsmittelspezifischer Widerstand beschreibt die Qualität des Verkehrsangebots des betrachteten Verkehrsmittels unter Berücksichtigung der ökonomischen

mischen und bei Gebietsuntersuchungen auch der raumstrukturellen Randbedingungen sowie der Qualität des Verkehrsangebots der konkurrierenden Verkehrsmittel.

Aus den verkehrsmittelspezifischen Widerständen lässt sich der Modal-Split berechnen. Die Berechnung der Anteile A_m der Verkehrsmittel erfolgt mit dem Modal-Split-Modell nach Walther gemäß Gleichung (2.2), das in Abbildung 4.6 durch einen gepunkteten Rand gekennzeichnet ist. Als mit den Anteilen der Verkehrsmittel gewichtetes Mittel der verkehrsmittelspezifischen Widerstände ergibt sich daraus der Gesamtsystem-Widerstand (Gleichung (4.1)).

Mit Hilfe des Verkehrserzeugungsmodells, in der Abbildung mit breitem Rand dargestellt, sollen die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote aus dem Gesamtsystem-Widerstand ermittelbar sein.

Bezeichnet man die Anzahl der Einwohner eines Gebiets mit EW und die Anzahl der von ihnen an einem Stichtag zurückgelegten Wege mit F gilt definitionsgemäß (vergleiche Kapitel 3.2.2):

$$M_M = \frac{F}{EW_M} \quad \wedge \quad VB = \frac{EW_M}{EW}$$

mit

- F : Anzahl der von den Einwohnern am Stichtag zurückgelegten Wege
- EW : Anzahl der Einwohner eines untersuchten Gebiets
- EW_M : Anzahl der am Stichtag mobilen Einwohner des Gebiets

Damit lässt sich die Mobilitätsrate A als das Produkt beider Kenngrößen schreiben:

$$M_M \cdot VB = \frac{F}{EW} = M_A \quad (4.4)$$

Anhand von

$$A_m = \frac{F_m}{F}$$

mit

- F_m : Anzahl der von den Einwohnern am Stichtag mit dem Verkehrsmittel m zurückgelegten Wege

und Gleichung (4.4) ergeben sich die Teilmobilitätsraten TM_m durch Verknüpfung

von Verkehrserzeugung und Modal-Split (siehe auch Abbildung 4.6):

$$M_A \cdot A_m = \frac{F}{EW} \cdot \frac{F_m}{F} = \frac{F_m}{EW} =: TM_m \quad (4.5)$$

Abbildung 4.6 lässt erkennen, dass im Vergleich zu anderen Verkehrsnachfrage-modellen verhältnismäßig viele Verflechtungen zwischen Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell bestehen. Ungewöhnlich ist insbesondere, dass eine Größe auf zwei unterschiedlichen Wegen jeweils indirekt über zwischengeschaltete Schritte in deren gemeinsames Ergebnis einfließt: die verkehrsmittelspezifischen Widerstände beeinflussen sowohl über den Modal-Split als auch über die Verkehrserzeugung die Teilmobilitätsraten.

Die Bedeutung dieser Verflechtungen für die Modellentwicklung sei am Beispiel steigender Benzinpreise aufgezeigt. Zur Vereinfachung werden ceteris-paribus-Bedingungen unterstellt und der ohnehin schwache Einfluss einer Widerstandsänderung im MIV auf die subjektive Bewertung des Verkehrsangebots der konkurrierenden Verkehrsmittel vernachlässigt. Somit gilt $w_m = \text{const}$ für $m \neq \text{MIV}$.

Die Beschreibung der Auswirkungen der Benzinpreiserhöhung auf die Verkehrsnachfrage erfolgt zunächst getrennt für die beiden Modelle:

- Im Modal-Split-Modell führt der steigende Widerstand des MIV zu einem sinkenden MIV-Anteil und zu wachsenden Anteilen im Fußgänger-, Fahrrad- und öffentlichen Verkehr.
- Ferner sollte mit dem Widerstand des MIV auch der Gesamtsystem-Widerstand steigen. Ein steigender Gesamtsystem-Widerstand sorgt – wenn die Anforderungen nach Kapitel 4.2 eingehalten sind – für ein Absinken der Mobilitätsrate der Mobilen und der Verkehrsbeteiligungsquote sowie gemäß Gleichung (4.4) der Mobilitätsrate Aller.

Für ein einzelnes Modell werden die hier am Beispiel dargestellten Reagibilitäten gegenüber den Eingangsgrößen in der Regel selbstverständlich und unproblematisch sichergestellt.

Die bei der Verknüpfung dieser beiden Modelle entstehenden Verflechtungen stellen hingegen hohe Ansprüche an die Modellentwicklung. Dies sei exemplarisch anhand der Veränderung der Teilmobilitätsrate im ÖPNV bei dem angenommenen Ansteigen

des Benzinpreises dargestellt. Die Teilmobilitätsrate müsste wegen der Verkehrsverlagerungen zunehmen.

Die Teilmobilitätsrate im ÖPNV ist nach Gleichung (4.5) das Produkt aus der Mobilitätsrate Aller und dem ÖPNV-Anteil. Während die Mobilitätsrate Aller in dem Beispiel sinkt, steigt der ÖPNV-Anteil. Bei der Modellspezifikation muss jedoch auch für die Modellverknüpfung sichergestellt werden, dass die Teilmobilitätsrate im ÖPNV bei sinkender Mobilitätsrate Aller steigt.

Die mögliche Divergenz von plausibler und berechneter Veränderung der Teilmobilitätsrate im ÖPNV zeigt eine der Auswirkungen der Verflechtungen. Im Folgenden sind die Konsequenzen der Verflechtungen für die Modellentwicklung näher zu untersuchen.

4.3.2 Kompatibilität der einzelnen Modelle und Maßnahmenreagibilität des entstehenden Modellkomplexes

Vor weitergehenden Untersuchungen muss zunächst geprüft werden, ob das Verkehrserzeugungs- und das Modal-Split-Modell in der Weise, in der sie in den Kapiteln 2.3.2 und 4.2 näher spezifiziert sind, überhaupt kompatibel sein können und gegebenenfalls, ob diese Kompatibilität für jede beliebige Konstellation der Eingangsgrößen existiert.

In das Verkehrserzeugungsmodell fließt als Quantifizierung der Qualität des Verkehrsangebots der Gesamtsystem-Widerstand ein. Die in Kapitel 4.2 formulierten Eigenschaften des Verkehrserzeugungsmodells basieren auf der Annahme, dass der Gesamtsystem-Widerstand bei abnehmender Qualität des Verkehrsangebots steigt. Nur wenn diese Annahme für jede beliebige Änderung des Verkehrsangebots erfüllt wird, sind die Aussagen in Kapitel 4.2 zur Monotonie der Zusammenhänge nach den Gleichungen (4.3) richtig und damit die zu verknüpfenden Modelle kompatibel.

Zur Verifizierung oder Falsifizierung dieser Annahme genügt die alleinige Betrachtung der Gleichung (4.1) nicht, da mit steigendem Widerstand eines Verkehrsmittels dessen Anteil und damit dessen Gewicht sinkt. Vielmehr ist zu prüfen, ob beliebige Änderungen eines verkehrsmittelspezifischen Widerstands w_n zu einer Veränderung des Gesamtsystem-Widerstands mit gleichem Vorzeichen führen (der Index n be-

zeichnet das Verkehrsmittel, dessen Widerstand sich ändert.):

$$\frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} > 0$$

Dazu wird zunächst die Gleichung (4.1) für den Gesamtsystem-Widerstand umgeschrieben.

$$w_{GS} = \sum_{m=1}^{\mu} (A_m \cdot w_m)$$

Unter Verwendung von Gleichung (2.2) ergibt sich:

$$w_{GS} = \sum_{m=1}^{\mu} \left(\frac{1}{\frac{w_m}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}}} \cdot w_m \right)$$

Nach dem Kürzen der Widerstände w_m Verkehrsmittel der Verkehrsmittel m

$$w_{GS} = \sum_{m=1}^{\mu} \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}} \right)$$

und auflösen der äußeren Summe folgt:

$$w_{GS} = \frac{\mu}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}} \quad (4.6)$$

Nach Umstellen dieser Formel zu

$$\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i} = \frac{\mu}{w_{GS}} \quad (4.7)$$

lässt sich Gleichung (2.2) vereinfachen:

$$A_m = \frac{\frac{1}{w_m}}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}} = \frac{\frac{1}{w_m}}{\frac{\mu}{w_{GS}}} = \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_m} \quad (4.8)$$

Mit Gleichung (4.6) ergibt sich die partielle Ableitung in der zu prüfenden Ungleichung zu:

$$\frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} \left(\frac{\mu}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}} \right)$$

Die Differentiation liefert:

$$\frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} = \mu \cdot (-1) \cdot \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i} \right)^2} \cdot (-1) \cdot \frac{1}{w_n^2}$$

Der Nenner des Doppelbruchs lässt sich mit Gleichung (4.7) umschreiben

$$\frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} = \mu \cdot \frac{1}{\left(\frac{\mu}{w_{GS}} \right)^2} \cdot \frac{1}{w_n^2}$$

und – nach dem Kürzen der Anzahl μ der Verkehrsmittel – angeben als:

$$\frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{w_{GS}^2}{w_n^2} > 0 \quad (\text{wahr}) \quad (4.9)$$

Da alle Terme nur positive Werte annehmen (vergleiche Kapitel 4.2.1), ist die Ungleichung erfüllt. Das Verkehrserzeugungs- und das Modal-Split-Modell sind folglich für beliebige Angebotskonstellationen und beliebige Änderungen kompatibel.

Da beide Modelle also grundsätzlich zusammenpassen, werden die Algorithmen für die Mobilitätsrate der Mobilien und die Verkehrsbeteiligungsquote so hergeleitet, dass sie qualitativ in der Lage sind, richtige Ergebnisse zu liefern. Zu diesem Zweck wird im Weiteren bereits bei der Modellentwicklung sichergestellt, dass die Ergebnisse der Entscheidungsalgorithmen des Modells mit beobachtbarem Verhalten übereinstimmen.

Mit dem fertigen Modell soll sich die Verkehrsnachfrage in einem beliebigen Untersuchungsgebiet für eine bestimmte Verkehrsangebotssituation berechnen lassen. Die gleiche Rechnung kann auch für eine andere Situation des Verkehrsangebots im gleichen Untersuchungsgebiet durchgeführt werden. Unter der selbstverständlichen Voraussetzung, dass das Modell Zustände richtig abbildet, müssen die Ergebnisse beider Rechnungen richtig sein. Wenn beide Ergebnisse aber richtig sind, muss die aus beiden Zuständen als Differenz bestimmbare Änderung der Verkehrsnachfrage ebenfalls richtig abgebildet sein. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die richtige Abbildung der Änderung der Verkehrsnachfrage die notwendige Voraussetzung für die Richtigkeit der Beschreibung der Zustände darstellt.

Die Herleitung der Entscheidungsalgorithmen (Kapitel 4.4 und 4.5) wird deshalb auf der Grundlage von Aussagen zur Änderung der Verkehrsnachfrage durchgeführt. Als Kenngröße der Verkehrsnachfrage dient die Teilmobilitätsrate. Da sie sich aus der Verknüpfung von Verkehrserzeugungs- und Modal-Split-Modell ergibt, wird die Maßnahmenreagibilität des Modellkomplexes garantiert.

Die Aussagen zur Änderung der Teilmobilitätsrate als Reaktion auf eine Veränderung des Verkehrsangebots sind in Abbildung 4.7 zusammengestellt.

(A)	$\frac{\partial TM_m}{\partial w_n} > 0$	mit $m \neq n$
(B)	$\frac{\partial TM_n}{\partial w_n} < 0$	
(C)	$\sum_i \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} < 0$	
(D)	$-\frac{\partial TM_n}{\partial w_n} > -\sum_i \frac{\partial TM_i}{\partial w_n}$	
(E)	$2 \cdot TM_{m,vor} > TM_{m,nach} + TM_{n,nach}$	bei Einführung eines 2. Verkehrsmittels, mit $w_{m,vor} = w_{m,nach} = w_{n,nach}$

Abbildung 4.7: Aussagen zum Verkehrsverhalten

Die Aussagen gelten unter den gleichen Randbedingungen wie das obige Beispiel der Benzinpreiserhöhung (ceteris-paribus-Bedingungen; $\Delta w_m = f(\Delta \alpha_n)$ vernachlässigt)

ohne Einschränkung der Allgemeingültigkeit für die Änderung des Widerstands des Verkehrsmittels n (A – D) beziehungsweise für das Hinzufügen des Verkehrsmittels n (E). Die Aussagen können einerseits auf die mobilen Personen und andererseits auf alle Einwohner bezogen werden. Die Erläuterung der Aussagen erfolgt im Weiteren anhand des Beispiels der Benzinpreiserhöhung.

Zur Beschreibung der Nachfrageänderung sind – wie oben erwähnt – die Änderungen der *einzelnen Teilmobilitätsraten* zu betrachten.

Aussage **(A)** besagt, dass für den Fall sinkender Qualität des Verkehrsmittels n die Anzahl der Wege mit jedem anderen Verkehrsmittel steigt. Für das Beispiel der Benzinpreiserhöhung bedeutet die Aussage (A) unter anderem, dass die Teilmobilitätsrate des ÖPNV wächst.

Aussage **(B)** gibt an, dass die Nachfrage bei dem Verkehrsmittel, bei dem der Widerstand steigt, zurückgeht. Ein steigender Benzinpreis führt somit zu weniger Autofahrten.

Nach der Betrachtung der einzelnen Teilmobilitätsraten lässt sich über die *Summe der Teilmobilitätsraten* die Aussage **(C)** treffen, dass Änderungen des Verkehrsangebots auch *Verkehr induzieren*. Ein steigender Benzinpreis führt zu einer geringeren Anzahl von Wegen insgesamt.

Aussage **(D)** beschreibt, dass *Verkehrsverlagerungen* existieren. Bei einer Benzinpreiserhöhung fällt die Änderung der Teilmobilitätsrate im MIV dem Betrag nach höher aus als die Änderung der Gesamtwegezahl.

Die Aussagen (A) – (D) gelten sowohl für eine beliebige Veränderung des Verkehrsangebots eines existierenden Verkehrsmittels als auch für die Einführung eines neuen Verkehrsmittels. Der Widerstand des neuen Verkehrsmittels vor der Einführung ist dazu als unendlich groß anzusetzen. Analog kann eine Reduzierung der Anzahl der Verkehrsmittel modelliert werden.

Zusätzlich lässt sich bei der *Einführung eines neuen Verkehrsmittels* eine Aussage **(E)** bezüglich der Verkehrsmengen treffen. Dazu wird das Beispiel einer Insel herangezogen, die nur mit einem Verkehrsmittel – einem selten aber regelmäßig verkehrenden Flugzeug – an den weit entfernten Kontinent angebunden ist. Als neues Verkehrsmittel soll eine Fährverbindung hinzukommen, deren Verkehrsangebot insgesamt die gleiche Qualität wie die Flugverbindung habe ($w_{\text{Flug,vor}} = w_{\text{Flug,nach}} = w_{\text{Fähre}}$). Die Gesamtfahrtanzahl nimmt nach Einführung des

neuen Verkehrsmittels zwar zu, steigt jedoch nicht a priori auf das Doppelte und verteilt sich nach Gleichung (2.2) gleichmäßig auf die beiden Verkehrsmittel:

$$TM_{m,nach} = TM_{n,nach} \quad (4.10)$$

Im Zusammenhang mit der Aussage über den Einfluss der Anzahl der Verkehrsmittel auf die Verkehrsnachfrage sei darauf hingewiesen, dass die „*Independence of Irrelevant Alternatives (IIA)*“ aufgrund der verwendeten Verkehrsangebotsmodellierung nicht gegeben ist.

Der Fehler, der im Zusammenhang mit dem „blue bus – red bus – problem“ auftritt, fällt bei der verwendeten Verkehrsangebotsmodellierung geringer als üblich aus, da die Fahrzeugfolgezeit wegen der steilen Zeitbewertungsfunktion für das Warten den Widerstand des ÖPNV stark beeinflusst. Wie bei den meisten Verkehrsnachfragemodellen wird die Vermeidung unrealistischer Alternativen in die Verantwortung des Anwenders gestellt.

Die Teilmobilitätsraten in den Aussagen nach Abbildung 4.7 lassen sich anhand der Gleichungen (4.3), (4.4) und (4.5) wie folgt schreiben:

$$TM_{A,m} = M_M(w_{GS}) \cdot VB(w_{GS}) \cdot A_m(w_m, w_{GS}) \quad (4.11)$$

mit

$$w_{GS} = f(w_1, \dots, w_\mu)$$

Die verkehrsmittelspezifischen Widerstände w_1, \dots, w_μ fließen in alle drei Faktoren dieser Gleichung ein. Während die Funktion für A_m der Gleichung (2.2) entnommen werden kann, sind die Funktionen $M_M(w_{GS})$ und $VB(w_{GS})$ bisher nicht bekannt. Gleichung (4.11) enthält also noch zwei unbekannte Funktionen. Durch gezielte Auswertung der Aussagen nach Abbildung 4.7 und der Anforderungen nach Kapitel 4.2 eröffnet sich dennoch die Möglichkeit, die Funktionsformen von $M_M(w_{GS})$ und $VB(w_{GS})$ herzuleiten.

Wegen der Vielzahl der Anforderungen – 2 · 5 Ungleichungen aus Abbildung 4.7 und 2 · 3 Funktionseigenschaften nach Kapitel 4.2 – ist eine geschlossene Lösung nicht möglich. Zur Vereinfachung der iterativen Lösung in den Kapiteln 4.4 und 4.5 werden die Ungleichungen und Funktionseigenschaften deshalb auf möglichst wenige Ungleichungen zurückgeführt, die sich als die strengsten Anforderungen an das Modell herausstellen.

Es gilt:

$$A_i, M_M, VB, w_i \in \mathbf{p}^+ \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial A_n}{\partial w_n} < 0 \quad (4.13)$$

$$\frac{\partial A_m}{\partial w_n} > 0 \quad (4.14)$$

Sicherzustellen ist nach Kapitel 4.2:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} < 0$$

$$\frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} < 0$$

Daraus ergibt sich mit Ungleichung (4.9):

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_n} = \frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} < 0 \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial VB}{\partial w_n} = \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} < 0 \quad (4.16)$$

Somit folgt mit Gleichung (4.4)

$$\frac{\partial M_A}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} (M_M \cdot VB)$$

und der Produktregel:

$$\frac{\partial M_A}{\partial w_n} = \frac{\partial M_M}{\partial w_n} \cdot VB + M_M \cdot \frac{\partial VB}{\partial w_n} < 0 \quad (4.17)$$

Da in beiden Summanden mit den partiellen Ableitungen aufgrund der Ungleichungen (4.15) und (4.16) jeweils der eine Faktor negativ und der andere positiv ist, nimmt das Ergebnis einen negativen Wert an.

Wie (4.12), (4.15) und (4.17) zeigen, muss unabhängig von der betrachteten Personengruppe (alle Einwohner oder nur mobile Einwohner) für die Mobilitätsrate M gelten:

$$M > 0 \quad (4.18)$$

$$\frac{\partial M}{\partial w_n} < 0 \quad (4.19)$$

Bei den weiteren Berechnungen in diesem Unterkapitel braucht deshalb nicht nach den beiden Mobilitätsbegriffen unterschieden zu werden.

Nach Aussage (**A**) aus Abbildung 4.7 ist folgende Ungleichung zu erfüllen:

$$\frac{\partial TM_m}{\partial w_n} > 0 \quad \text{mit } m \neq n$$

Es gilt:

$$\frac{\partial TM_m}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} (M \cdot A_m) \quad \text{mit (4.5)}$$

und nach Anwenden der Produktregel:

$$\frac{\partial TM_m}{\partial w_n} = \frac{\partial M}{\partial w_n} \cdot A_m + M \cdot \frac{\partial A_m}{\partial w_n}$$

Der erste Summand dieser Gleichung nimmt als Produkt aus einer negativen partiellen Ableitung (siehe Ungleichung (4.19)) und einem positiven Faktor (vergleiche Aussage (4.12)) nur negative Werte an. Die Faktoren des zweiten Summanden sind aufgrund der Ungleichungen (4.18) und (4.14) positiv. Über das Vorzeichen der Summe kann jedoch aufgrund der bisher formulierten Anforderungen keine Aussage getroffen werden. Aussage (A) muss also explizit für jedes postulierte Modell geprüft werden.

Aussage (**B**) lautet:

$$\frac{\partial TM_n}{\partial w_n} < 0$$

Die linke Seite der Ungleichung lässt sich umschreiben zu:

$$\frac{\partial TM_n}{\partial w_n} = \frac{\partial M}{\partial w_n} \cdot A_n + M \cdot \frac{\partial A_n}{\partial w_n}$$

Im Gegensatz zur Rechnung bezüglich Aussage (A) ist die partielle Ableitung auch im zweiten Summanden negativ, so dass die Summe immer negativ wird. Diese Feststellung basiert auf der Aussage (4.12) sowie den Ungleichungen (4.13) und (4.19). Dabei beschreibt die Ungleichung (4.13) die Maßnahmenreagibilität des Modal-Split-Modells; die Ungleichung (4.19) wird erfüllt, wenn das Verkehrserzeugungsmodell maßnahmenreagibel ist. Da die Aussage (4.12) immer Gültigkeit besitzt (negative Mobilitätsraten oder negative Verkehrsmittelanteile existieren nicht), lässt sich zusammenfassen: Aussage (B) ist genau dann erfüllt, wenn sowohl das Modal-Split- als auch das Verkehrserzeugungsmodell maßnahmenreagibel sind.

An dieser Stelle lässt sich auch bereits festhalten, dass die Aussage (A) nicht aus der Maßnahmenreagibilität der einzelnen Modelle hergeleitet werden kann. Die Maßnahmenreagibilität der einzelnen Entscheidungsalgorithmen ist bei deren Verknüpfung zu einem Modellkomplex folglich zwar notwendige Voraussetzung, wie sich aus der Rechnung zu Aussage (B) ergibt. Sie stellt jedoch keine hinreichende Bedingung für die Maßnahmenreagibilität des Modellkomplexes dar, wie die Rechnung zu Aussage (A) zeigt. Deshalb ist auch für den Modellkomplex der Nachweis der Maßnahmenreagibilität erforderlich.

Aussage (C) fordert:

$$\sum_i \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} < 0$$

Es gilt:

$$\sum_{i=1}^{\mu} \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} \left[\sum_{i=1}^{\mu} TM_i \right]$$

Daraus folgt mit Gleichung (4.5):

$$\sum_{i=1}^{\mu} \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} \left[\sum_{i=1}^{\mu} (M \cdot A_i) \right]$$

Die Mobilitätsrate hängt nicht vom Verkehrsmittel i ab, so dass gilt:

$$\sum_{i=1}^{\mu} \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} \left[M \cdot \sum_{i=1}^{\mu} A_i \right]$$

Da die Summe der Anteile nach Gleichung (2.1) Eins ergibt, lässt sich die Gleichung umschreiben zu:

$$\sum_{i=1}^{\mu} \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} = \frac{\partial M}{\partial w_n}$$

Wegen Ungleichung (4.19) ist die Aussage (C) erfüllt.

Nach Aussage (D) gilt

$$-\frac{\partial TM_n}{\partial w_n} > -\sum_i \frac{\partial TM_i}{\partial w_n}$$

und somit:

$$\sum_i \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} - \frac{\partial TM_n}{\partial w_n} > 0$$

Daraus folgt:

$$\sum_{i \neq n} \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} > 0$$

Diese Ungleichung ist erfüllt, wenn für jeden einzelnen Summanden die Aussage (A) zutrifft. Aussage (A) lässt sich nicht aus Aussage (D) herleiten und ist deshalb die schärfere der beiden Anforderungen.

Aussage (E) nach Abbildung 4.7 lautet:

$$2 \cdot TM_{m,vor} > TM_{m,nach} + TM_{n,nach} \quad \text{mit } w_{m,nach} = w_{n,nach}$$

Durch Einsetzen von Gleichung (4.10) ergibt sich daraus:

$$TM_{m,nach} + TM_{n,nach} = 2 \cdot TM_{m,nach}$$

Die Teilmobilitätsrate $TM_{m,nach}$ des Verkehrsmittels m nach Einführung des Verkehrsmittels n lässt sich umschreiben zu $TM_{m,nach} = TM_{m,vor} + \Delta TM_m$. Somit ist:

$$TM_{m,nach} + TM_{n,nach} = 2 \cdot TM_{m,vor} + 2 \cdot \Delta TM_m$$

Da der Widerstand des Verkehrsmittels n vor dessen Einführung – wie oben vermerkt – als unendlich groß angesetzt werden kann, sinkt er mit der Einführung, das heißt $\Delta w_n < 0$. Daraus folgt mit Aussage (A), dass ΔTM_m ebenfalls negativ ist. Die Summe der Teilmobilitätsraten nach der Einführung lässt sich durch Weglassen des negativen Summanden $2 \cdot \Delta TM_m$ nach oben gegen $2 \cdot TM_{m,vor}$ abschätzen. Da Gleichung (4.10) auf Gleichung (2.2) zurückgeführt werden kann, ist Aussage (E) genau dann wahr, wenn die Gleichung (2.2) und die Aussage (A) erfüllt sind.

4.3.3 Fazit

Durch die umfassende Beschreibung des Verkehrsverhaltens ohne die Verwendung von Verkehrserhebungen gelingt es, die Erkenntnisse bezüglich des zu schaffenden Verkehrserzeugungsmodells wesentlich zu präzisieren.

Die entwickelten Anforderungen an das Verkehrserzeugungsmodell beziehen sich unter anderem auf die Grenzen des Definitionsbereichs (siehe Kapitel 4.2). Insbesondere werden in Kapitel 4.3 anhand der Beschreibung des Verkehrsverhaltens zusätzlich Aussagen zum erforderlichen Modellverhalten für übliche Größenordnungen der Eingangsvariablen getroffen. Diese Aussagen garantieren – nach der Feststellung der Maßnahmenreagibilität von Modal-Split- und Verkehrserzeugungsmodell und deren Kompatibilität – die Maßnahmenreagibilität des Modellkomplexes.

4.4 Herleitung des Modellansatzes für die Mobilitätsrate der mobilen Personen

4.4.1 Vorüberlegungen

Die in den Kapiteln 4.2 und 4.3 formulierten Anforderungen bilden die Grundlage für die angestrebte Entwicklung der Entscheidungsalgorithmen für das Verkehrserzeugungsmodell. Aus diesen Anforderungen sind die Algorithmen herzuleiten.

Wie in Kapitel 4.3 bereits erläutert, kann die Herleitung der Algorithmen nur auf iterativem Weg erfolgen. Jede Ungleichung für die Teilmobilitätsrate führt zu einer

Differentialungleichung. Um die Lösungsschar der Differentialungleichung zu bestimmen, wird die dazugehörigen Differentialgleichung gelöst.

Die Ungleichungen nach Abbildung 4.7 sind einerseits für die Betrachtung der mobilen Einwohner und andererseits für die Gesamtheit alle Einwohner zu erfüllen. Werden die Ungleichungen auf alle Einwohner angewandt, enthalten sie (nach Gleichung (4.11)) mit der Mobilitätsrate der Mobilen und der Verkehrsbeteiligungsquote zwei unbekannte Funktionen. Bei Anwendung auf die mobilen Einwohner bleibt als unbekannte Funktion lediglich die Funktion $M_M(w_{GS})$. Deshalb wird in diesem Kapitel zuerst der Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen hergeleitet und danach in Kapitel 4.5 der Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsbeteiligungsquote.

4.4.2 Herleitung der Funktionsschar

Zur Bestimmung des Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen ist im ersten Schritt die Funktionsform herzuleiten.

Dazu wird die Aussage (A) nach Abbildung 4.7 – als die schärfste Anforderung an die gesuchte Funktion – auf die Verkehrsnachfrage der mobilen Einwohner angewendet. Das partielle Differential der Teilmobilitätsrate TM der mobilen Einwohner für das Verkehrsmittel m nach dem Widerstand w_n des Verkehrsmittels n muss positiv sein:

$$\frac{\partial TM_{M, m}}{\partial w_n} > 0$$

Nach Gleichung (4.11) lässt sich die Teilmobilitätsrate ersetzen:

$$\frac{\partial}{\partial w_n} [M_M \cdot A_m] > 0$$

Durch Anwendung der Produktregel ergibt sich:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_n} \cdot A_m + M_M \cdot \frac{\partial A_m}{\partial w_n} > 0$$

Mit Gleichung (4.8) für den Modal-Split Anteil A_m folgt daraus:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_m} + M_M \cdot \frac{1}{\mu \cdot w_m} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} > 0$$

Diese Ungleichung lässt sich nach Multiplikation mit μ und w_m sowie Division durch die Ableitung des Gesamtsystem-Widerstands, die alle nur positive Werte annehmen, umschreiben zu:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot w_{GS} + M_M > 0 \quad \text{mit (4.9) und (4.12)} \quad (4.20)$$

Zur weiteren Lösung wird diese Differentialungleichung in eine Differentialgleichung umgewandelt. Die Funktion, die die Differentialgleichung erfüllt, sei mit $f(w_{GS})$ bezeichnet. Dann muss gelten:

$$f'(w_{GS}) \cdot w_{GS} + f(w_{GS}) = 0$$

Da der Gesamtsystem-Widerstand nach Ungleichung (4.12) nur positive Werte annimmt, entspricht dies:

$$f'(w_{GS}) + f(w_{GS}) \cdot \frac{1}{w_{GS}} = 0$$

Setzt man

$$h(w_{GS}) := \frac{1}{w_{GS}}$$

führt das zu:

$$f'(w_{GS}) + f(w_{GS}) \cdot h(w_{GS}) = 0$$

Da $h(w_{GS})$ im \mathbf{p}^+ stetig ist, ergibt sich als Lösung:

$$f(w_{GS}) = \eta \cdot e^{-H(w_{GS})}$$

mit

$$H(w_{GS}) = \int_{\xi}^{w_{GS}} h(x) dx = \int_{\xi}^{w_{GS}} \frac{1}{x} dx \quad \text{und} \quad f(\xi) = \eta$$

Daraus lässt sich die Funktionsform für $f(w_{GS})$ bestimmen.

$$H(w_{GS}) = \int_{\xi}^{w_{GS}} \frac{1}{x} dx$$

hat die Lösung:

$$H(w_{GS}) = \ln x \Big|_{\xi}^{w_{GS}}$$

Nach Einsetzen der Grenzen ergibt sich

$$H(w_{GS}) = \ln w_{GS} - \ln \xi$$

und:

$$H(w_{GS}) = \ln \left(\frac{w_{GS}}{\xi} \right)$$

Die gesuchte Funktion

$$f(w_{GS}) = \eta \cdot e^{-H(w_{GS})}$$

lässt sich damit angeben als

$$f(w_{GS}) = \eta \cdot e^{-\ln \left(\frac{w_{GS}}{\xi} \right)}$$

oder:

$$f(w_{GS}) = \eta \cdot \xi \cdot \frac{1}{w_{GS}}$$

Aus der Funktionsform der Funktion $f(w_{GS})$, die die Differentialgleichung löst, kann die Lösungsschar der Differentialungleichung ermittelt werden.

Als Lösungsschar käme zum Beispiel in Frage:

$$M_M(w_{GS}) \sim \frac{1}{g(w_{GS})}$$

mit

$$g(w_{GS}) = w_{GS}^{\alpha}, \quad \alpha > 0$$

Die Ableitung von

$$M_M(w_{GS}) = \kappa \cdot \frac{1}{w_{GS}^\alpha} \quad \kappa = \text{const.}, \kappa > 0$$

lautet:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} = -\kappa \cdot \frac{\alpha}{w_{GS}^{1+\alpha}}$$

Eingesetzt in Ungleichung (4.20) ergibt sich:

$$-\kappa \cdot \frac{\alpha}{w_{GS}^{1+\alpha}} \cdot w_{GS} + \kappa \cdot \frac{1}{w_{GS}^\alpha} > 0$$

Eine Division durch κ führt wegen $\kappa > 0$ zu:

$$-\frac{\alpha}{w_{GS}^\alpha} + \frac{1}{w_{GS}^\alpha} > 0$$

Die Multiplikation der Ungleichung mit dem nach Gleichung (4.12) positiven Nenner liefert

$$-\alpha + 1 > 0$$

und somit:

$$\alpha < 1$$

Eine Lösungsschar dieser Differentialungleichung lautet somit:

$$M_M(w_{GS}) \sim \frac{1}{g(w_{GS})}$$

mit

$$g(w_{GS}) = w_{GS}^\alpha, \quad 0 < \alpha < 1$$

Die Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen kann gezielt so gewählt werden, dass

$$g(w_{GS}) = w_{GS}^\alpha, \quad \alpha = 1$$

auch Element der Lösungsschar ist.

4.4.3 Herleitung eines Modellansatzes

Im zweiten Schritt auf dem iterativen Weg zur Entwicklung eines Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen wird ein erster Ansatz für die Funktion der Mobilitätsrate der Mobilen hergeleitet. Als Grundlage dient die aus der Aussage (A) nach Abbildung 4.7 hergeleitete Funktionsschar. Für die Herleitung werden Anforderungen nach Kapitel 4.2 hinzugenommen und Überlegungen zum Widerstandsmodell nach Walther angestellt.

Nach Walther stellt der Verkehrswiderstand „eine vielschichtige Überlagerung von objektiv messbaren Größen und subjektiven Bewertungen dar.“ [92, Seite 17]. Bei der Wahl der Funktionsform ist also zu berücksichtigen, dass die Widerstandsdefinition bereits die subjektive Bewertung des Verkehrsangebots unter anderem in Form von Exponentialfunktionen einschließt. Bei einer Entscheidung für eine logarithmische Funktion wäre also zu fragen, warum die exponentielle subjektive Bewertung durch die Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen kompensiert werden muss.

In der Verkehrsnachfragemodellierung ist es bisher allgemein üblich, das Verkehrsangebot durch einige wenige oder einen einzigen Parameter (Reiseweite, Reisezeit, Reisekosten oder ähnliches) zu beschreiben oder vollständig zu vernachlässigen. Die Verkehrsnachfrage wird dann anhand komplexer Formeln aus diesen wenigen Parametern berechnet. Walther [88] kommt durch die Berücksichtigung zahlreicher Verkehrsangebotsparameter sowie deren subjektiver Bewertung durch die Menschen zu einer sehr umfassenden Verkehrsangebotsmodellierung. Diese ermöglicht mathematisch relativ einfache Funktionen auch für die Berechnung der Verkehrsnachfrage aus den Widerständen, wie beispielsweise der in Kapitel 2.3.2 wiedergegebene Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsmittelwahl zeigt.

Aus den beiden genannten Gründen wird im ersten Ansatz $\alpha = 1$ gewählt, das heißt

$$g(w_{GS}) = w_{GS}$$

Damit gilt für die Mobilitätsrate der Mobilen:

$$M_M \sim \frac{1}{w_{GS}}$$

Führt man einen Proportionalitätsfaktor κ ein, so entspricht dies

$$M_M = \kappa \cdot \frac{1}{w_{GS}},$$

womit für den Faktor κ folgt:

$$\kappa = M_M \cdot w_{GS}$$

Bei einer beliebigen Verkehrsangebotssituation beträgt die Menge der für die Mobilität ausgegebenen Widerstandseinheiten bezogen auf alle Einwohner

$$M_A \cdot w_{GS} = M_M \cdot VB \cdot w_{GS} \quad \text{mit (4.4)}$$

und unter Verwendung des Faktors κ :

$$M_A \cdot w_{GS} = \kappa \cdot VB$$

Sinkt der Gesamtsystem-Widerstand, soll die Verkehrsbeteiligungsquote gemäß Kapitel 4.2.3 steigen. Ein durch den Gesamtsystem-Widerstand beschriebener geringerer Verkehrsaufwand würde mit diesem Ansatz zu mehr Ressourceneinsatz im Verkehr führen.

Gemäß der mikroökonomischen Theorie ist genau das Gegenteil der Fall. Das Modell wird unter anderem deshalb gegenüber dem Ansatz von $g(w_{GS})$ um einen Basiswiderstand w_0 erweitert, der zu einer trägeren Reaktion der Mobilitätsrate der Mobilen auf eine Widerstandsänderung führt. Er berücksichtigt, dass für jeden Weg unabhängig von seiner Länge grundsätzlich ein Widerstand anfällt, der folglich auf den Gesamtsystem-Widerstand zu addieren ist.

$$M_M \sim \frac{1}{w_{GS} + w_0} \quad \text{mit } w_0 > 0 \quad (4.21)$$

Der so modifizierte Ansatz

$$M_M(w_{GS}) = \kappa \cdot \frac{1}{w_{GS} + w_0} \quad \kappa = \text{const.}, \kappa > 0$$

erfüllt, wie die weitere Rechnung zeigt, trotz $\alpha=1$ die Differentialungleichung (4.20).

Das partielle Differenzial der Mobilitätsrate der Mobilen beträgt:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} = - \kappa \cdot \frac{1}{(w_{GS} + w_0)^2}$$

Eingesetzt in Ungleichung (4.20) ergibt sich:

$$- \kappa \cdot \frac{1}{(w_{GS} + w_0)^2} \cdot w_{GS} + \kappa \cdot \frac{1}{w_{GS} + w_0} > 0$$

Durch Multiplikation der Ungleichung mit dem nicht-trivialen Term $(w_{GS} + w_0)^2$ und Division durch den positiven Faktor κ folgt daraus

$$- w_{GS} + (w_{GS} + w_0) > 0 \quad \text{mit (4.12) und } \kappa > 0$$

entsprechend:

$$w_0 > 0 \quad \text{(wahr)}$$

Da der Widerstand w_0 gemäß der Definition in (4.21) nur positive Werte annimmt, ist die Differentialungleichung erfüllt.

Eine der in Kapitel 4.2.2 definierten Anforderungen besagt, dass der Grenzwert $\lim_{w_{GS} \rightarrow 0} [M_M(w_{GS})]$ für die Mobilitätsrate der Mobilen für einen gegen Null gehenden Gesamtsystem-Widerstand existieren muss. Mit dem modifizierten Ansatz beträgt der Grenzwert:

$$\lim_{w_{GS} \rightarrow 0} [M_M(w_{GS})] \sim \lim_{w_{GS} \rightarrow 0} \left(\frac{1}{w_{GS} + w_0} \right) = \frac{1}{w_0}$$

Da nach Gleichung (4.21) w_0 immer größer Null ist, konvergiert die Funktion der Mobilitätsrate der Mobilen für $w_{GS} \rightarrow 0$ gegen einen positiven, endlichen Wert.

Eine weitere Anforderung nach Kapitel 4.2.2 lautet:

$$M_M \geq 1$$

Da gilt

$$\lim_{w_{GS} \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{w_{GS} + w_0} \right) = 0$$

und die Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen streng monoton fallend sein soll, wird die Funktion um ein additives Glied erweitert.

Der erste Ansatz für den Entscheidungsalgorithmus zur Berechnung der Mobilitätsrate der Mobilien lautet damit:

$$M_M = 1 + \frac{B}{w_{GS} + w_0} \quad (4.22)$$

mit den Funktionsparametern

$$B > 0 \quad \text{und}$$

$$w_0 > 0$$

4.4.4 Überprüfung des Ansatzes

Die Entwicklung der Entscheidungsalgorithmen zur Beschreibung der Verkehrserzeugung stellt – wie oben beschrieben – einen iterativen Prozess dar. Deshalb muss geprüft werden, ob der postulierte Entscheidungsalgorithmus nicht zu verwerfen ist.

Dazu wird sowohl der Entscheidungsalgorithmus alleine als auch die Verknüpfung aus Modal-Split- und Verkehrserzeugungsmodell – unter der vorübergehenden Annahme einer konstanten Verkehrsbeteiligungsquote – auf Maßnahmenreagibilität untersucht. Die erforderlichen Berechnungen, die analog zu den in Kapitel 4.4 durchgeführten Rechnungen erfolgen, enthält Anhang 2. Sie führen zusammen mit den Überlegungen bei der Herleitung des Ansatzes für den Entscheidungsalgorithmus zu dem Ergebnis, dass alle Anforderungen an den Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilien erfüllt sind.

4.4.5 Fazit

In Kapitel 4.4 wurde ein Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilien vollständig theoretisch hergeleitet und bezüglich beobachtbarem Verkehrsverhalten geprüft. Als Grundlage dienen die in den vorangegangenen Unterkapiteln formulierten Anforderungen, die die Beschreibung des Modellzusammenhangs unter anderem über Differentialgleichungen ermöglichen.

Der Entscheidungsalgorithmus erfüllt alle in den Kapiteln 4.2 und 4.3 formulierten Anforderungen.

4.5 Herleitung des Modellansatzes für die Verkehrsbeteiligungsquote und theoretische Überprüfung des Verkehrserzeugungsmodells

4.5.1 Vorüberlegungen

Ziel dieses Kapitels ist, den Modellansatz für die Verkehrsbeteiligungsquote herzuleiten. Dazu werden unter anderem die Ungleichungen nach Abbildung 4.7 auf die Gesamtheit der Einwohner des Untersuchungsraums angewendet. Voraussetzung für die Lösung der sich ergebenden Differentialgleichungen ist die Kenntnis eines geeigneten Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen, der aus Kapitel 4.4 vorliegt. Anhand der Differentialgleichungen lässt sich dann feststellen, ob eine das beobachtbare Verhalten widerspiegelnde Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote existieren kann. Ist dies nicht der Fall, so ist der Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen zu verwerfen. Andernfalls ergeben sich aus den Differentialgleichungen Anforderungen hinsichtlich der mathematischen Form des Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsbeteiligungsquote.

Diese Anforderungen bilden zusammen mit den Anforderungen an die Funktion der Verkehrsbeteiligungsquote nach Kapitel 4.2 die Grundlage für die Herleitung eines Ansatzes. Die Herleitung der Funktionsform und des Modellansatzes selbst erfolgt in den nächsten zwei Unterkapiteln.

Für die beiden zu entwickelnden Entscheidungsalgorithmen werden dann Ansätze geschaffen sein. Damit lassen sich sowohl der Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsbeteiligungsquote als auch das gesamte Verkehrserzeugungsmodell auf ihre Maßnahmenreagibilität prüfen.

4.5.2 Herleitung der Funktionsschar

Von der Möglichkeit, aus den erwähnten Anforderungen die mathematische Form der Entscheidungsalgorithmen herzuleiten, soll auch für die Verkehrsbeteiligungsquote Gebrauch gemacht werden.

Nach Aussage (A) aus Abbildung 4.7 muss gelten, dass beispielsweise mit steigendem Widerstand w_n des Verkehrsmittels n die Teilmobilitätsrate TM_m des Verkehrsmittels m steigt:

$$\frac{\partial TM_m}{\partial w_n} > 0$$

Die Teilmobilitätsrate lässt sich nach Gleichung (4.11) umschreiben:

$$\frac{\partial}{\partial w_n} [M_M \cdot VB \cdot A_m] > 0$$

Nach der Produktregel ergibt sich daraus:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot VB \cdot A_m + \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot M_M \cdot A_m \\ & + \frac{\partial A_m}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot M_M \cdot VB > 0 \end{aligned}$$

Die Division durch die nach Gleichung (4.12) positiven Funktionen M_M und A_m sowie durch die entsprechend der Ungleichung (4.9) ebenfalls positive partielle Ableitung $\partial w_{GS} / \partial w_n$ führt zu:

$$\frac{1}{M_M} \cdot \frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot VB + \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} + \frac{1}{A_m} \cdot \frac{\partial A_m}{\partial w_{GS}} \cdot VB > 0$$

Das Einsetzen der Gleichungen (4.8) und (4.22) liefert

$$\begin{aligned} & \frac{1}{1 + \frac{B}{w_{GS} + w_0}} \cdot \left[-\frac{B}{(w_{GS} + w_0)^2} \right] \cdot VB \\ & + \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} + \frac{\mu \cdot w_m}{w_{GS}} \cdot \frac{1}{\mu \cdot w_m} \cdot VB > 0 \end{aligned}$$

und nach dem Kürzen:

$$\frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} + VB \cdot \left[\frac{1}{w_{GS}} - \frac{B}{(w_{GS} + w_0) \cdot (w_{GS} + w_0 + B)} \right] > 0 \quad (4.23)$$

Zur weiteren Lösung wird diese Differentialgleichung in eine Differentialgleichung umgewandelt. Die Funktion, die die Differentialgleichung erfüllt, sei mit $f(w_{GS})$ bezeichnet.

$$f'(w_{GS}) + f(w_{GS}) \cdot h(w_{GS}) = 0$$

mit

$$h(w_{GS}) := \frac{1}{w_{GS}} - \frac{B}{(w_{GS} + w_0) \cdot (w_{GS} + w_0 + B)}$$

Da $h(w_{GS})$ im p^+ stetig ist, ergibt sich als Lösung:

$$f(w_{GS}) = \eta \cdot e^{-H(w_{GS})}$$

mit

$$H(w_{GS}) = \int_{\xi}^{w_{GS}} h(x) dx \quad \text{und} \quad f(\xi) = \eta$$

Zunächst muss $H(w_{GS})$ berechnet werden.

$$H(w_{GS}) = \int_{\xi}^{w_{GS}} h(x) dx$$

Das Einsetzen von $g(x)$ und die Substitution von $(x + w_0)$ liefert

$$H(w_{GS}) = \int_{\xi}^{w_{GS}} \frac{1}{x} dx - \int_{\xi+w_0}^{w_{GS}+w_0} \frac{z+B-z}{z \cdot (z+B)} dz \quad \text{mit } z := x + w_0, \quad \frac{dz}{dx} = 1$$

und damit:

$$H(w_{GS}) = \int_{\xi}^{w_{GS}} \frac{1}{x} dx - \int_{\xi+w_0}^{w_{GS}+w_0} \frac{1}{z} dz + \int_{\xi+w_0}^{w_{GS}+w_0} \frac{1}{z+B} dz$$

Nach Integration und Einsetzen der Grenzen folgt:

$$H(w_{GS}) = \ln\left(\frac{w_{GS}}{\xi}\right) - \ln\left(\frac{w_{GS} + w_0}{\xi + w_0}\right) + \ln\left(\frac{w_{GS} + w_0 + B}{\xi + w_0 + B}\right)$$

Daraus lässt sich die Funktionsform für $f(w_{GS})$

$$f(w_{GS}) = \eta \cdot e^{-H(w_{GS})}$$

herleiten:

$$f(w_{GS}) = \eta \cdot \frac{\xi}{w_{GS}} \cdot \frac{w_{GS} + w_0}{\xi + w_0} \cdot \frac{\xi + w_0 + B}{w_{GS} + w_0 + B}$$

Die Funktion $f(w_{GS})$ hat im Wesentlichen – unter Vernachlässigung der additiven Glieder – die Form einer Hyperbel $1/w_{GS}$. Analog zu Kapitel 4.4.2 ergibt sich aus dieser Lösung der Differentialgleichung als Lösungsschar der Differentialgleichung beispielsweise:

$$VB(w_{GS}) \sim \frac{1}{g(w_{GS})}$$

mit

$$g(w_{GS}) = w_{GS}^\alpha, \quad 0 < \alpha < 1$$

Bei geeigneter Wahl der Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote ist auch $g(w_{GS}) = w_{GS}^\alpha$ mit $\alpha = 1$ möglich.

4.5.3 Herleitung eines Modellansatzes

Als erster Ansatz für den Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsbeteiligungsquote wird

$$g(w_{GS}) = w_{GS}^\alpha \text{ mit } 0 < \alpha \leq 1$$

gewählt.

Nach Kapitel 4.2.3 soll die Verkehrsbeteiligungsquote bei gegen Unendlich ansteigendem Gesamtsystem-Widerstand gegen Null konvergieren:

$$\lim_{w_{GS} \rightarrow \infty} [VB(w_{GS})] = 0$$

Für den gewählten Ansatz ergibt sich:

$$\lim_{w_{GS} \rightarrow \infty} [VB(w_{GS})] \sim \lim_{w_{GS} \rightarrow \infty} \frac{1}{w_{GS}^\alpha} = 0$$

Ein additives Glied analog zu dem Summanden „1“ in der Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen entfällt bei der Verkehrsbeteiligungsquote.

Nach Kapitel 4.2.3 ist der Grenzwert der Verkehrsbeteiligungsquote für $w_{GS} \rightarrow 0$ bekannt. Dadurch liegt im Vergleich zur Herleitung des Modellansatzes für die Mobilitätsrate der Mobilen ein Wertepaar mehr vor. Die Gleichung für die Verkehrsbeteiligungsquote sollte deshalb einen Freiheitsgrad mehr enthalten, der sich durch Beibehaltung des Exponenten α erreichen lässt. Aufgrund dieser Überlegungen wird der Ansatz für den Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsbeteiligungsquote gewählt zu:

$$VB = \frac{C}{D + w_{GS}^\alpha} \quad (4.24)$$

mit den Funktionsparametern

$$\begin{aligned} C &> 0, \\ D &> 0 \quad \text{und} \\ 0 &< \alpha \leq 1 \end{aligned}$$

Mit sinkendem Gesamtsystem-Widerstand müsste ein geringerer Ressourceneinsatz im Verkehr einhergehen (vergleiche Kapitel 4.4.3). Ob dies für das Verkehrserzeugungsmodell (bestehend aus den Ansätzen für die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote) zutrifft, bleibt zu prüfen. Es müsste gelten:

$$\frac{\partial}{\partial w_{GS}} [M_M \cdot VB \cdot w_{GS}] > 0$$

Mit der Produktregel wird daraus

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot VB \cdot w_{GS} + M_M \cdot \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} \cdot w_{GS} + M_M \cdot VB \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_{GS}} > 0$$

und nach Division durch die nach Gleichung (4.12) positiven Größen M_M und w_{GS} :

$$\frac{1}{M_M} \cdot \frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot VB + \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} + \frac{1}{w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_{GS}} \cdot VB > 0$$

Das Einsetzen von Gleichung (4.21) liefert

$$-\frac{\frac{B}{(w_{GS} + w_0)^2}}{1 + \frac{B}{w_{GS} + w_0}} \cdot VB + \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} + \frac{1}{w_{GS}} \cdot VB > 0$$

und nach Kürzen:

$$\frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} + VB \cdot \left[\frac{1}{w_{GS}} - \frac{B}{(w_{GS} + w_0) \cdot (w_{GS} + w_0 + B)} \right] > 0$$

Diese Ungleichung ist identisch mit Ungleichung (4.23). Die – noch zu verifizierende – Maßnahmenreagibilität der Verknüpfung von Modal-Split- und Verkehrserzeugungsmodell stellt also auch einen der mikroökonomischen Theorie entsprechenden Ressourceneinsatz sicher.

4.5.4 Überprüfung des Ansatzes

Wie in Kapitel 4.4 erläutert ist der jeweilige Ansatz auf Maßnahmenreagibilität zu prüfen.

Die Berechnungen in Anhang 3 ergeben, dass der Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsbeteiligungsquote alleine betrachtet diese Anforderung erfüllt. Zusammen mit Kapitel 4.4 konnten zwei maßnahmenreagible Entscheidungsalgorithmen hergeleitet werden.

Gemeinsam bilden sie das zu entwickelnde Verkehrserzeugungsmodell. Der Nachweis, dass dessen Verknüpfung mit dem Modal-Split-Modell nach Walther ebenfalls maßnahmenreagibel ist, ist Gegenstand von Kapitel 6.

4.5.5 Fazit

Als zweite der beiden Komponenten des Verkehrserzeugungsmodells konnte der Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsbeteiligungsquote analog zu Kapitel 4.4 hergeleitet werden. Er entspricht allen an ihn gestellten Anforderungen, so dass der Modellansatz für die Mobilitätsrate der Mobilen nicht zu verwerfen ist.

Die beiden Entscheidungsalgorithmen bilden das neue Verkehrserzeugungsmodell, das ebenfalls alle in den Kapiteln 4.2 und 4.3 formulierten Anforderungen erfüllt und damit den allgemeingültigen Aussagen zum Verkehrsverhalten entspricht.

4.6 Folgerungen

Die Verkehrserzeugung wird nach zwei Kenngrößen differenziert: der Mobilitätsrate der Mobilen und der Verkehrsbeteiligungsquote. Für beide Kenngrößen waren Entscheidungsalgorithmen auf der Grundlage der Verkehrsangebotsmodellierung nach Walther (vergleiche Kapitel 2.3.2) zu schaffen.

Mit einem soweit wie möglich deduktiven Vorgehen wurden ohne Erhebungen zum Verkehrsverhalten Entscheidungsalgorithmen entwickelt.

Die Grundlage für die Herleitung der Entscheidungsalgorithmen bilden allgemeingültige Aussagen zum Verkehrsverhalten. Sie garantieren insbesondere die Kompatibilität und die Maßnahmenreagibilität der einzelnen Modelle sowie deren Verknüpfung. Diese umfassenden Aussagen konnten, zum Teil über Differentialgleichungen und Differentialgleichungen, in Anforderungen an die zu spezifizierenden Entscheidungsalgorithmen transformiert werden. Die Anforderungen decken sowohl die Grenzen des Definitionsbereichs der Entscheidungsalgorithmen als auch übliche Werte der Eingangsgrößen des Modells ab.

Diese Entscheidungsalgorithmen sind im Weiteren zusätzlich anhand von Erhebungen zum Verkehrsverhalten zu validieren. Im Gegensatz zur üblichen induktiven Vorgehensweise dienen die Erhebungen hier nicht für die – auf diesem Wege fehleranfällige – Bestimmung der Entscheidungsalgorithmen. Das Hinzuziehen von Erhebungswerten kann über die Berechnung der wenigen Funktionsparameter hinaus vielmehr dazu genutzt werden, um das Modell auf einer breiten Basis abzusichern.

5 Ansätze zur Berechnung der Kenngrößen des Verkehrsangebots

- 5.1 Grundlagen
- 5.2 Relevanz der einzelnen Kenngrößen
- 5.3 Die verkehrsmittelunabhängige Kenngröße Einkommen
- 5.4 Motorisierter Individualverkehr
- 5.5 Öffentlicher Personennahverkehr
- 5.6 Fußgängerverkehr und Fahrradverkehr
- 5.7 Fazit

5.1 Grundlagen

Um das in Kapitel 4 entwickelte Verkehrserzeugungsmodell anhand von Erhebungen zur Verkehrsnachfrage zu validieren, muss die Eingangsgröße des Verkehrserzeugungsmodells – der Gesamtsystem-Widerstand – für zahlreiche Untersuchungsgebiete, die die Basis der Validierung bilden, vorliegen. Um den Gesamtsystem-Widerstand berechnen zu können, ist es erforderlich, für alle Angebotsmerkmale untersuchungsgebietspezifische Werte zu bestimmen.

Einige Angebotsmerkmale, zum Beispiel der Benzinpreis, lassen sich Statistiken entnehmen. Für weitere Angebotsmerkmale, wie die Zugangszeit zu Haltestellen des ÖPNV, haben Walther / Klinkenberg [87] Berechnungsansätze geschaffen. Für wieder andere Angebotsmerkmale, beispielsweise die Parkstandssuchzeit und die Abgangszeit im MIV stehen, wie die in diesem Kapitel enthaltenen Literaturrecherchen zeigen, jedoch nur in seltenen Fällen untersuchungsgebietspezifische Daten und noch keine allgemein gültigen Berechnungsansätze zur Verfügung.

Eine Möglichkeit zur Bestimmung von Werten für die letztgenannten Angebotsmerkmale besteht in der Abschätzung anhand von Erhebungen zu anderen Gebieten als dem Untersuchungsgebiet. Eine Abschätzung zum Beispiel der Parkkosten für Osnabrück führte ohne Ortskenntnis, da Osnabrück ein Oberzentrum ist, vermutlich zu Parkkosten mittlerer Höhe. Tatsächlich lagen die Parkkosten Mitte der neunziger Jahre (siehe Anlage 3) jedoch – politisch gewollt – im deutschlandweiten Vergleich an der Spitze. Bei den Zeitkomponenten einer Reise reagiert das Widerstandsmodell schon bei kleineren Veränderungen einer Reisezeitkomponente wegen der zum Teil sehr steilen nicht-linearen Zeitbewertungsfunktionen stark. Auch insofern weist eine Abschätzung von Werten für Angebotsmerkmale gewisse Probleme auf.

Wie in Kapitel 3.1 formuliert muss für jede beliebige Angebotssituation immer der gleiche, kalibrierungsfreie Modellalgorithmus gelten; lediglich die Eingangsgrößen, das heißt die Angebotsmerkmale, verändern ihre Werte. Der Nachweis, dass das neu entwickelte Modell für die Verkehrserzeugung ohne Kalibrierung auskommt, gelingt überzeugend nur, wenn sich die Eingangsgrößen nicht als „Stellschrauben“ für die Kalibrierung einstufen lassen. Zudem kann ein Modell nur so präzise sein wie seine Eingangsgrößen; dies gilt nicht nur für die Modellanwendung sondern insbesondere auch für die Validierung im Rahmen der Modellentwicklung.

Ein – auch anwendungsorientierter – Schwerpunkt der Arbeit liegt aus diesen Gründen auf der Entwicklung von Ansätzen zur Berechnung derjenigen Angebotsmerkmale, für die bisher keine Ansätze oder Daten im erforderlichen Umfang existieren. Ohne eine solche zuverlässige Bestimmung der Eingangsgrößen ließe sich die Gültigkeit eines jeden Modells beweisen (vergleiche zum Beispiel Kapitel 2.1.4 zu [85]).

Die Entwicklung dieser Ansätze sowohl für den gesamten städtischen Personenverkehr als auch reisezweckspezifisch am Beispiel des Freizeitverkehrs ist das **Ziel** dieses Hauptkapitels. Der Vollständigkeit halber wird ferner auch die Bestimmung derjenigen Angebotsmerkmale, für die bereits Berechnungsansätze oder geeignete Daten zur Verfügung stehen, kurz wiedergegeben. Auf diese Weise entsteht eine Art „Handbuch“, das deutlich macht, wie die Bestimmung der Kenngrößen des Verkehrsangebots für die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells (Kapitel 6) erfolgt, und das als Leitfaden für weitere Untersuchungen dienen kann.

Bei der Entwicklung der neuen Ansätze ist je nach Angebotsmerkmal zusätzlich zum Reisezweck auch zum Beispiel nach Quell- beziehungsweise Zielgebieten, Stundengruppen oder Wegweiten zu unterscheiden. Um ohne fallspezifische Erhebungen auszukommen, müssen die Eingangsgrößen der Ansätze so gewählt werden, dass sie sich quasi ohne eigene Erhebungen vor Ort aus verfügbaren Quellen bestimmen lassen. Diese unverzichtbaren Randbedingungen verkomplizieren die Schaffung von Ansätzen.

Für jede Kenngröße des Verkehrsangebots, für die bisher keine Daten und kein Berechnungsansatz zur Verfügung stehen, wird das im Folgenden beschriebene **Vorgehen** gewählt.

Zunächst sind Recherchen im Hinblick auf verfügbare Erhebungen und seit 1991 (Jahr der Veröffentlichung von [88]) publizierte Berechnungsverfahren durchzuführen. Trotz des Umfangs der zahlreichen erforderlichen Literaturrecherchen in diesem Hauptkapitel wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

Sofern sich aus der Literaturrecherche bezüglich einer Kenngröße kein im Hinblick auf den Zweck – Eingangsgrößen für Verkehrsnachfragemodelle zu liefern – geeignetes Verfahren ergibt, ist ein eigener Ansatz erforderlich. Die Genauigkeit der Ansätze orientiert sich an diesem Zweck und an den Ergebnissen zur Untersuchung der Relevanz der Kenngrößen für die Verkehrsnachfrage in Kapitel 5.2. Die Ansätze zur Berechnung der Kenngrößen des Verkehrsangebots lassen sich sowohl für Modelle mit Zelleinteilung als auch für Modelle mit höherer Abstraktion des Raums und der Verkehrsnachfrage verwenden.

An die Entwicklung eines Ansatzes schließt sich zur Verdeutlichung des Rechenwegs in der Regel ein Anwendungsbeispiel an. Alle Beispiele beziehen sich auf die Stadt Düsseldorf, für die eine Erhebung zur Verkehrsnachfrage für das Jahr 1990 vorliegt. Wegen der Verfügbarkeit von Erhebungsdaten zählt Düsseldorf zu den 20 Städten, die der Validierung des Verkehrserzeugungsmodells in Kapitel 6 dienen. Die Anwendungsbeispiele werden jeweils unter Angabe der Eingangsgrößen der Berechnung und deren Werten tabellarisch dargestellt. Die Tabellen enthalten für jede Größe entweder die Datenquelle oder die Berechnungsformel. Berechnungsergebnisse sind durch Schattierung hervorgehoben.

Die Kenngrößen des Verkehrsangebots müssen, wie beschrieben, nicht nur für den gesamten städtischen Personenverkehr unabhängig vom Reisezweck, sondern auch reisezweckspezifisch am Beispiel des **Freizeitverkehrs** bestimmt werden.

Für die reisezweckspezifische Beschreibung der Verkehrsangebotsqualität ist zu berücksichtigen,

- dass sich die einzelnen Reisezwecke unterschiedlich über den Tag und die Woche verteilen,
- dass reisezweckimmanente Unterschiede, zum Beispiel hinsichtlich der Zahlungsbereitschaft, existieren und
- dass das reisezweckspezifische Verkehrsaufkommen, beispielsweise bei der Parkstandssuchzeit, Einfluss auf das Angebot haben kann.

Die unterschiedliche *zeitliche Verteilung* der Reisezwecke lässt sich Ganglinien entnehmen.

Beispielsweise findet ein großer Teil der Arbeitswege während der Spitzenstunden, in denen der ÖPNV deswegen besonders häufig verkehrt, statt. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Angebotsqualitäten für die verschiedenen Reisezwecke.

Allerdings lässt sich ein Reisezweck nicht auf eine einzelne Stundengruppen reduzieren, wie Abbildung 2.2 für den Freizeitverkehr zeigt. Die tageszeitabhängigen Kenngrößen des Verkehrsangebots werden deshalb über die Bildung des mit den Tages- und Wochenganglinien gewichteten Mittels über alle Stunden(gruppen) reisezweckspezifisch berechnet. Zur Mittelung dient nicht die Kenngröße selbst (zum Beispiel die Fahrzeugfolgezeit) sondern die zugehörige Widerstandskomponente (zum Beispiel der Wartewiderstand), um der nicht-linearen subjektiven Bewertung des Verkehrsangebots durch die Verkehrsteilnehmer Rechnung zu tragen:

$$w_k = \sum_h (a_h \cdot w_{k,h})$$

mit

- w_k : Widerstandskomponente k
 a_h : reisezweckbezogener Anteil der Wege, die auf die Stundengruppe h entfallen, wobei $\sum a_h$ über die gesamte Woche je Reisezweck den Wert Eins annimmt

Reisezweckimmanente und *verkehrsaufkommensabhängige* Unterschiede einer Kenngröße des Verkehrsangebots lassen sich berücksichtigen, indem entweder die Kenngröße für den einzelnen Reisezweck jeweils neu bestimmt oder der Unterschied beziehungsweise das Verhältnis von dem Wert der Kenngröße für den Reisezweck und dem Wert für den Gesamtverkehr ermittelt wird. Für die vorliegende Arbeit erweist sich der letztgenannte Weg als geeigneter, da die Datenverfügbarkeit für den Gesamtverkehr deutlich besser ist als für die einzelnen Reisezwecke. Aufbauend auf einem zuverlässig für den Gesamtverkehr ermittelbaren Wert bleiben lediglich die reisezweckspezifischen Unterschiede einer gewissen Ungenauigkeit unterworfen. Diese Unterschiede fallen jedoch bei den im Folgenden auf diese Weise bestimmten Kenngrößen vergleichsweise gering aus.

Im Hinblick auf den Handbuchcharakter werden in diesem Hauptkapitel die Berechnungsverfahren für alle Widerstandsparameter einschließlich der neuen Ansätze zusammengestellt. Dadurch entstehen hinsichtlich des **wissenschaftlichen Anspruchs** sehr unterschiedliche Unterkapitel. Es ist zu differenzieren nach

- der Wiedergabe bekannter Verfahren.

Diese Ansätze sind durch ihr Layout (einfacher Zeilenabstand) kenntlich gemacht. Auf eine Begründung oder Herleitung der Ansätze wird weitgehend verzichtet.

- Verfahren und Daten, die die Literaturrecherchen liefern.
Eigene wissenschaftlich anspruchsvolle Ansätze sind in diesen Fällen nicht erforderlich. In der Regel stehen jedoch nicht alle zur Berechnung einer Kenngröße des Verkehrsangebots benötigten Angaben zur Verfügung, so dass sich zusätzlich ingenieurmäßige Berechnungsverfahren als notwendig erweisen.
- Kenngrößen, für die neue Ansätze im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt werden.
Dazu zählen zum Beispiel Algorithmen zur Berechnung des so genannten Radfaktors aus Noten zur Qualität des Angebots für den Fahrradfahrer und der Parkstandssuchzeit im MIV unterschieden nach Parkstandstypen.

Da das Kapitel seinen Handbuchcharakter unter anderem im Hinblick auf weitere Verkehrsnachfrageberechnungen unabhängig von den Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit erhält, beziehen sich die **Daten in den Anlagen** nicht nur auf die in Kapitel 6 dieser Arbeit untersuchten Städte und Jahre. Die Tabellen, die Eingangsgrößen für die Ermittlung von Angebotsmerkmalen wiedergeben, geben zudem alle in den verwendeten Quellen angegebenen Daten zur jeweiligen Kenngröße wieder.

Im Anschluss an diese Überlegungen zum Inhalt des Hauptkapitels gibt dieser Abschnitt einen **Überblick** über seine Gliederung. Vor der Bestimmung der Verfahren zur Berechnung der Kenngrößen des Verkehrsangebots wird die Bedeutung der einzelnen Angebotsmerkmale für die Verkehrsnachfrage als Grundlage für die Beurteilung der erforderlichen Untersuchungstiefe abgeschätzt. Die Darstellung der Ansätze erfolgt getrennt nach verkehrsmittelunabhängigen (Kapitel 5.3) und verkehrsmittelabhängigen Angebotsmerkmalen des MIV (Kapitel 5.4), des ÖPNV (Kapitel 5.5) sowie des Fußgänger- und Fahrradverkehrs (Kapitel 5.6). Innerhalb dieser Unterkapitel wird weiter unterschieden nach den einzelnen Angebotsmerkmalen.

Zwei Kenngrößen, die in mehreren Kapiteln Eingang in die Berechnungen finden, sind die **Geschwindigkeiten bei den nicht-motorisierten Verkehrsmitteln**. Sie werden deshalb vorab einheitlich festgelegt und zwar für Fußgänger zu 75 Metern pro Minute, entsprechend 4,5 km/h und im Fahrradverkehr unabhängig von der Reisezeit zu 12 km/h.

5.2 Relevanz der einzelnen Kenngrößen

5.2.1 Allgemeines

Vor der Entwicklung und Auswahl von Ansätzen wird zunächst abgeschätzt, welchen Einfluss die einzelnen Kenngrößen des Verkehrsangebots auf die Verkehrsnachfrage haben. Daraus lässt sich für jede Kenngröße die erforderliche Genauigkeit und damit der Aufwand für Bestimmung der Kenngröße abschätzen. Die Sensitivitätsanalyse wird für *alle Wege* wie auch für die *Freizeitwege* durchgeführt.

Bei der hier zu berechnenden Verkehrsnachfrage handelt es sich im Wesentlichen um den Modal-Split und die Verkehrserzeugung. Die beiden entsprechenden Sensitivitätsanalysen werden getrennt voneinander durchgeführt, beginnend mit dem Modal-Split.

Die Analysen erfolgen anhand der Verkehrsangebotssituationen in den Städten Düsseldorf, Hamburg und Wuppertal (in Kapitel 6 näher vorgestellt). Diese Städte zeichnen sich durch zum Teil sehr unterschiedliche Gesamtsystem-Widerstände aus, die nahezu den gesamten Wertebereich, der bei der Untersuchung ganzer Städte üblicherweise vorkommt, abdecken.

5.2.2 Modal-Split

Eine Möglichkeit, um die Empfindlichkeit des Modal-Split gegenüber Veränderungen der Eingangsgrößen zu ermitteln, besteht darin, nacheinander jede Eingangsgröße um einen bestimmten Prozentsatz, zum Beispiel zehn Prozent, zu verändern und jeweils den Einfluss auf den Modal-Split zu berechnen. Bei dieser Vorgehensweise liegt aber ein Problem in den unterschiedlichen absoluten Veränderungen, die einer Toleranz von zehn Prozent entsprechen. Beispielsweise fällt bei einer Abgangszeit im MIV von nur einer Minute die Toleranz mit nur 0,1 Minute im Vergleich zur Genauigkeit des Wertes für die Abgangszeit gering aus. Bei der Beförderungszeit im ÖPNV hingegen, die sich zuverlässig aus dem Fahrplan bestimmen lässt, bedeuten zehn Prozent Toleranz eine Änderung von etwa 1,5 bis 2 Minuten.

Als weitere Möglichkeit bietet sich an, eine Änderung des Modal-Split vorzugeben und für jede Eingangsgröße deren dazu erforderliche Veränderung zu berechnen. Wegen der besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse für die einzelnen Eingangsgrößen wird diese Vorgehensweise als geeigneter erachtet. Die erforderlichen Berechnungen lassen sich mit Teil C des Modal-Split- und Elastizitätsprogramms

PNV·SPLIT [87], das mit dem in dieser Arbeit verwendeten Widerstandsmodell nach Walther [88] arbeitet, durchführen.

Grundsätzlich gälte es, die Auswirkungen einer Veränderung eines Widerstandsparameters auf die Anteile aller Verkehrsmittel anzugeben. Es ist jedoch zu vermuten, dass die Angebotsmerkmale eines Verkehrsmittels n betragsmäßig einen größeren Einfluss auf den Modal-Split Anteil des Verkehrsmittels n haben als auf die Modal-Split Anteile der übrigen Verkehrsmittel. Demnach müsste gelten:

$$\frac{\left| \frac{\partial A_n}{\partial w_n} \right|}{A_n} > \frac{\left| \frac{\partial A_m}{\partial w_n} \right|}{A_m}$$

Sofern diese Ungleichung eine wahre Aussage ist, könnte auf die Angabe von Kreuzelastizitäten verzichtet werden.

Für den Zähler des linken Bruchs gilt mit Gleichung (4.8):

$$\frac{\partial A_n}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} \left(\frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_n} \right)$$

Die Anwendung der Produktregel führt zu:

$$\frac{\partial A_n}{\partial w_n} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot \frac{1}{w_n} + \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial}{\partial w_n} \left(\frac{1}{w_n} \right) \cdot w_{GS}$$

Durch Einsetzen von Gleichung (4.9) und die Auflösung des Differentials im zweiten Summanden ergibt sich:

$$\frac{\partial A_n}{\partial w_n} = \frac{w_{GS}^2}{\mu^2 \cdot w_n^3} - \frac{1}{\mu} \cdot \frac{w_{GS}}{w_n^2}$$

Der Zähler des Bruchs auf der rechten Seite der Ungleichung lässt sich ebenfalls mit Gleichung (4.8) umschreiben:

$$\frac{\partial A_m}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} \left(\frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_m} \right)$$

Da die Anzahl μ der Verkehrsmittel und die Widerstände w_m der Verkehrsmittel $m \neq n$ nicht vom Widerstand w_n abhängen, gilt:

$$\frac{\partial A_m}{\partial w_n} = \frac{1}{\mu \cdot w_m} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n}$$

Mit Gleichung (4.9) folgt daraus:

$$\frac{\partial A_m}{\partial w_n} = \frac{w_{GS}^2}{\mu^2 \cdot w_n^2} \cdot \frac{1}{w_m}$$

Durch Einsetzen in die Ungleichung

$$\frac{\left| \frac{\partial A_n}{\partial w_n} \right|}{A_n} > \frac{\left| \frac{\partial A_m}{\partial w_n} \right|}{A_m}$$

ergibt sich mit (4.8), (4.13), (4.14):

$$\left(\frac{1}{\mu} \cdot \frac{w_{GS}}{w_n^2} - \frac{w_{GS}^2}{\mu^2 \cdot w_n^3} \right) \cdot \frac{\mu \cdot w_n}{w_{GS}} > \frac{1}{w_m} \cdot \frac{w_{GS}^2}{\mu^2 \cdot w_n^2} \cdot \frac{\mu \cdot w_m}{w_{GS}}$$

Ausklammern und Kürzen liefern:

$$\frac{1}{w_n} - \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_n^2} > \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_n^2}$$

Nach Multiplikation mit der nach (4.12) positiven Größe w_n und Anwendung der Gleichung (4.8) für den Modal-Split Anteil A_n des Verkehrsmittels n wird daraus

$$1 > 2 \cdot A_n$$

entsprechend:

$$\frac{1}{2} > A_n$$

Da für die drei in der Sensitivitätsanalyse verwendeten Städte, abgesehen von einem Wert, alle Modal-Split Anteile unter 50 Prozent liegen, erfolgt die sehr umfangreiche Darstellung von Kreuzelastizitäten nicht. Im Folgenden werden die Resultate der Analyse getrennt nach Verkehrsmitteln vorgestellt und diskutiert.

Die Tabelle 5.1 gibt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu einer Reduzierung des ÖPNV-Anteils um fünf Prozent wieder.

		D $t_{F,an}$	D $t_{F,ab}$	D t_{Ff}	D t_U	D v_B	D K
Düsseldorf	alle Wege	43,2 %	55,6 %	13,5 %	¹⁾	-21,8 %	37,6 %
		1,0 min	1,2 min	1,1 min	-	-4,6 km/h	21 DM
	Freizeitwege	41,1 %	52,8 %	13,3 %	¹⁾	-20,6 %	32,3 %
		1,0 min	1,2 min	1,1 min	-	-4,3 km/h	18 DM
Hamburg	alle Wege	34,1 %	44,9 %	20,6 %	223 %	-23,1 %	28,1 %
		1,0 min	1,2 min	1,2 min	5,6 min	-5,8 km/h	18 DM
	Freizeitwege	35,1 %	46,4 %	17,8 %	215 %	-23,6 %	25,3 %
		1,0 min	1,2 min	1,2 min	6,2 min	-5,9 km/h	17 DM
Wuppertal	alle Wege	42,9 %	63,5 %	10,8 %	¹⁾	-23,3 %	36,6 %
		1,0 min	1,4 min	1,1 min	-	-3,7 km/h	20 DM
	Freizeitwege	46,2 %	172 %	9,4 %	¹⁾	-25,1 %	34,2 %
		1,1 min	2,1 min	1,4 min	-	-4,0 km/h	19 DM
¹⁾ erforderliche Änderung größer 1000 %							
$t_{F,an}$: Fußwegzugangszeit				t_U : Umsteigezeit			
$t_{F,ab}$: Fußwegabgangszeit				v_B : Beförderungsgeschwindigkeit			
t_{Ff} : Fahrzeugfolgezeit				K: Kosten Monatskarte			

Tabelle 5.1: Erforderliche alternative Änderungen eines ÖPNV-Widerstandsparameters zur Reduzierung des ÖPNV-Anteils um fünf Prozent

Tabelle 5.1 zeigt, dass die Bedeutung des einzelnen Widerstandsparameters für den Modal-Split bei allen drei Städten ähnlich ausfällt. Ferner existieren im Vergleich der Reisezwecke keine wesentlichen Unterschiede.

Die Fahrzeugfolgezeit beeinflusst bei allen Städten den Modal-Split am stärksten, als weitere bedeutsame Widerstandsparameter folgen die Beförderungsgeschwindigkeit

und die Kosten. Alle drei Größen lassen sich anhand von Fahrplänen recht genau bestimmen.

Trotz der niedrigen Werte der Fußwegzu- und -abgangszeiten sind nicht nur die erforderlichen relativen sondern auch die erforderlichen absoluten Änderungen groß. Für freiwilliges Umsteigen zum ÖPNV beträgt die notwendige Veränderung der Zeit zum Teil über 1000 Prozent. Der Einfluss von eventuellen Ungenauigkeiten auf den Modal-Split stellt sich bei diesen Reisezeitkomponenten als gering heraus.

		D $t_{F,an}$	D $t_{F,ab}$	D t_{PS}	D v_B	D K_{Parken}	D K_{Benzin}	D K_{Betr}
Düssel- dorf	alle Wege	305 %	99 %	93 %	-26 %	31 %	158 %	115 %
		3,7 min	1,9 min	1,9 min	-6,1 $\frac{km}{h}$	0,4 DM	1,6 DM	0,2 DM
	Freizeit- wege	260 %	90 %	87 %	-23 %	53 %	124 %	132 %
		2,9 min	1,5 min	1,6 min	-5,7 $\frac{km}{h}$	0,5 DM	1,2 DM	0,2 DM
Ham- burg	alle Wege	327 %	102 %	79 %	-28 %	49 %	115 %	90 %
		3,3 min	1,9 min	2,0 min	-7,7 $\frac{km}{h}$	0,4 DM	1,4 DM	0,2 DM
	Freizeit- wege	287 %	98 %	78 %	-27 %	74 %	124 %	96 %
		2,9 min	1,7 min	1,6 min	-7,8 $\frac{km}{h}$	0,4 DM	1,6 DM	0,2 DM
Wup- pertal	alle Wege	462 %	156 %	122 %	-30 %	52 %	176 %	130 %
		5,5 min	2,5 min	2,4 min	-6,9 $\frac{km}{h}$	0,5 DM	1,8 DM	0,2 DM
	Freizeit- wege	431 %	151 %	111 %	-31 %	81 %	199 %	146 %
		4,3 min	2,3 min	2,3 min	-7,7 $\frac{km}{h}$	0,5 DM	2,0 DM	0,2 DM
$t_{F,an}$: Fußwegzugangszeit		K_{Parken} : Parkkosten pro Parkvorgang						
$t_{F,ab}$: Fußwegabgangszeit		K_{Benzin} : Benzinkosten						
t_{PS} : Parkstandssuchzeit		K_{Betr} : Betriebskosten (ohne Kraftstoffkosten)						
v_B : Beförderungsgeschwindigkeit								

Tabelle 5.2: Erforderliche alternative Änderungen eines MIV-Widerstandsparameter zur Reduzierung des MIV-Anteils um fünf Prozent

Beim MIV haben gemäß Tabelle 5.2 die Beförderungsgeschwindigkeit und die Parkkosten unabhängig vom Reisezweck den größten Einfluss auf den Modal-Split. Die entsprechende erforderliche absolute Veränderung liegt bei der Beförderungsgeschwindigkeit jedoch relativ hoch. Auch für die Zu- und Abgangszeit sowie die Parkstandsuchzeit nehmen die notwendigen absoluten Veränderungen große Werte an. Damit stellen sich die einzelnen Reisezeitkomponenten als in etwa gleich wichtig heraus. Die Kraftstoff- und Betriebskosten lassen sich zuverlässig aus Statistiken bestimmen.

Für den Fahrradverkehr zeigt sich in Tabelle 5.3 eine hohe Sensitivität. Im Fußgängerverkehr fällt die erforderliche absolute Veränderung im Verhältnis zu dem kleinen Wertebereich der Fußfaktoren (vergleiche Anlage 7) hoch aus.

Änderung	Düsseldorf		Hamburg		Wuppertal	
	alle Wege	Freizeitw.	alle Wege	Freizeitw.	alle Wege	Freizeitw.
<u>Fußgängerverkehr</u>						
relativ	15,8 %	16,9 %	13,7 %	13,4 %	16,7 %	16,3 %
absolut	0,137	0,078	0,165	0,142	0,156	0,138
<u>Fahrradverkehr</u>						
relativ	6,6 %	6,7 %	7,3 %	7,8 %	1)	1)
absolut	0,09	0,065	0,065	0,049	1)	1)
1) Anteil des Fahrradverkehrs zu gering, um Aussagen treffen zu können						

Tabelle 5.3: Erforderliche alternative Änderungen des Faktors im Fußgänger- beziehungsweise Fahrradverkehr zur Reduzierung des entsprechenden Modal-Split Anteils um fünf Prozent

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Rangfolge der einzelnen Widerstandsparameter je Verkehrsmittel hinsichtlich ihres Einflusses auf den Modal-Split für die untersuchten Städte und Reisezwecke gleich ist. Die größte Sensitivität tritt bei den Verkehrsmitteln Fahrrad und ÖPNV auf.

5.2.3 Verkehrserzeugung

Als Eingangsgröße für das Verkehrserzeugungsmodell dient der Gesamtsystem-Widerstand. Nach der Sensitivitätsanalyse für den Modal-Split bleibt zu berechnen, inwieweit die angesetzten Rückgänge der Modal-Split Anteile der einzelnen Verkehrsmittel um jeweils fünf Prozent den Gesamtsystem-Widerstand beeinflussen.

Nach Gleichung (4.8) gilt:

$$A_n = \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_n}$$

Auflösen nach $1 / w_n$ liefert:

$$\frac{1}{w_n} = \frac{\mu \cdot A_n}{w_{GS}} \quad (5.1)$$

Ferner ergibt sich aus Gleichung (4.6):

$$w_{GS} = \frac{\mu}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}}$$

Die Summe im Nenner kann umgeschrieben werden zu:

$$w_{GS} = \frac{\mu}{\frac{1}{w_n} + \sum_{i \neq n} \frac{1}{w_i}}$$

Dadurch lässt sich Gleichung (5.1) einsetzen:

$$w_{GS} = \frac{\mu}{\frac{\mu \cdot A_n}{w_{GS}} + \sum_{i \neq n} \frac{1}{w_i}}$$

Das Auflösen des Doppelbruchs führt zu:

$$w_{GS} \cdot \left(\frac{\mu \cdot A_n}{w_{GS}} + \sum_{i \neq n} \frac{1}{w_i} \right) = \mu$$

Diese Gleichung entspricht nach dem Gesamtsystem-Widerstand aufgelöst:

$$w_{GS} = \frac{\mu \cdot (1 - A_n)}{\sum_{i \neq n} \frac{1}{w_i}}$$

Die relative Änderung des Gesamtsystem-Widerstands bei Reduzierung des Modal-Split Anteils A_n beträgt dann:

$$\frac{\Delta w_{GS}}{w_{GS}} = \frac{\mu \cdot (1 - A_{n,N}) - \mu \cdot (1 - A_{n,V})}{\sum_{i \neq n} \frac{1}{w_i}} \cdot \frac{\sum_{i \neq n} \frac{1}{w_i}}{\mu \cdot (1 - A_{n,V})}$$

mit

V: Index für „Vor der Modal-Split Änderung“

N: Index für „Nach der Modal-Split Änderung“

Die rechte Seite lässt sich durch Kürzen vereinfachen zu:

$$\frac{\Delta w_{GS}}{w_{GS}} = \frac{A_{n,V} - A_{n,N}}{1 - A_{n,V}}$$

Daraus wird bei einer fünfprozentigen Reduzierung des Modal-Split Anteils, das heißt, $A_{n,N} = 0,95 \cdot A_{n,V}$:

$$\frac{\Delta w_{GS}}{w_{GS}} = \frac{0,05 \cdot A_{n,V}}{1 - A_{n,V}} \quad (5.2)$$

Die relative Veränderung des Gesamtsystem-Widerstands hängt also ausschließlich vom Modal-Split Anteil und dessen Veränderung ab.

Die Tabelle 5.4 enthält die relativen und absoluten Änderungen des Gesamtsystem-Widerstands in Abhängigkeit von demjenigen Verkehrsmittel, dessen Anteil um fünf Prozent zurückgeht.

		W _{GS}	zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
Düsseldorf	alle Wege	29,7 WE	2,6 %	0,6 %	1,2 %	2,8 %
			0,8 WE	0,2 WE	0,4 WE	0,8 WE
	Freizeitwege	24,4 WE	3,2 %	0,5 %	0,9 %	2,8 %
			0,8 WE	0,1 WE	0,2 WE	0,7 WE
Hamburg	alle Wege	38,1 WE	1,6 %	0,7 %	1,3 %	3,7 %
			0,6 WE	0,3 WE	0,5 WE	1,4 WE
	Freizeitwege	34,2 WE	1,5 %	0,9 %	1,0 %	4,1 %
			0,5 WE	0,3 WE	0,3 WE	1,4 WE
Wuppertal	alle Wege	41,4 WE	2,4 %	¹⁾	1,0 %	4,8 %
			1,0 WE	¹⁾	0,4 WE	2,0 WE
	Freizeitwege	38,3 WE	2,4 %	¹⁾	0,8 %	5,6 %
			0,9 WE	¹⁾	0,3 WE	2,1 WE
¹⁾ Anteil des Radverkehrs zu gering, um Aussagen treffen zu können						

Tabelle 5.4: Änderung des Gesamtsystem-Widerstands bei Reduzierung des entsprechenden Modal-Split Anteils um fünf Prozent

Die Ergebnisse in Tabelle 5.4 fallen *alle Wege* und die *Freizeitwege* ähnlich aus. Wie sich auch aus Gleichung (5.2) ergibt, steigt die Änderung des Gesamtsystem-Widerstands mit dem Anteil $A_{n,v}$ des Verkehrsmittels. Deshalb haben der Fußgängerverkehr und insbesondere der MIV die größte Bedeutung für die Genauigkeit des Gesamtsystem-Widerstands. Der Modal-Split hingegen reagiert für die Verkehrsmittel Fahrrad und ÖPNV stärker auf die relativen Veränderungen einzelner Widerstandsparameter.

Aufgrund dieser gegenläufigen Sensitivitäten lassen sich anhand der bisherigen Analysen keine zuverlässigen Aussagen hinsichtlich der Elastizität der Mobilitätsrate gegenüber Änderungen der Widerstandsparameter treffen.

Deshalb erfolgt eine solche Analyse anhand der Widerstandsparameter, die sich als sehr einflussreich herausgestellt haben. Die Analyse wird unter Vorgabe einer Änderung der Mobilitätsrate aller um -1,5 Prozent – entsprechend 0,05 oder weniger

Wegen pro Einwohner und Tag – mit ersten Näherungen für die Algorithmen des Verkehrserzeugungsmodells und unter Verwendung der Elastizitäten aus den Tabellen 5.1 bis 5.4 durchgeführt.

	D_{g_F}	D_{g_R}	$D_{t_{FF}}$	$D_{v_{B,MIV}}$
Düsseldorf	22,4 %	42,9 %	41,5 %	-34,9 %
	0,194	0,583	3,3 min	-8,3 km/h
Hamburg	29,3 %	33,1 %	53,3 %	-25,8 %
	0,353	0,293	3,2 min	-7,1 km/h
Wuppertal	22,3 %	¹⁾	34,0 %	-20,4 %
	0,208	¹⁾	3,4 min	-4,7 km/h
¹⁾ Anteil des Fahrradverkehrs zu gering, um Aussagen treffen zu können				
γ_F : Faktor für den Fußgängerverkehr γ_R : Faktor für den Fahrradverkehr				

Tabelle 5.5: Abschätzung der erforderlichen alternativen Änderungen der Widerstandsparameter zur Reduzierung der Mobilitätsrate Aller um 1,5 Prozent

Den größten Einfluss auf die Mobilitätsrate besitzen nach Tabelle 5.5 die Beförderungsgeschwindigkeit im MIV und der Faktor für den Fußgängerverkehr.

5.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Analysen zeigen, dass viele Angebotsmerkmale deutlichen Einfluss auf die Verkehrsnachfrage haben. Diese Widerstandsparameter zuverlässig zu bestimmen, ist für die Nachfrageberechnungen somit von großer Bedeutung.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt aber auch, dass bei einer zuverlässigen stadtspezifischen Ermittlung der Kenngrößen des Verkehrsangebots die Mobilitätsrate mit dem zu entwickelnden Verkehrserzeugungsmodell sehr genau berechnet werden kann.

Den größten Einfluss auf die Anzahl der Ortsveränderungen pro Einwohner haben für die untersuchten Situationen des Verkehrsangebots die Fahrzeugfolgezeit im ÖPNV, für Fußgänger- und Fahrradverkehr die stadtspezifischen Faktoren sowie im MIV die Beförderungsgeschwindigkeit.

Um eine Veränderung der Mobilitätsrate Aller von 1,5 Prozent zu erreichen, bedarf es einer Änderung eines der genannten Parameter um 20 bis 50 Prozent. Die zuverlässige Bestimmung der Widerstandsparameter innerhalb dieser Toleranzen ist deshalb mindestens erforderlich.

5.3 Die verkehrsmittelunabhängige Kenngröße Einkommen

In die Widerstandsberechnung nach Walther fließt das Haushaltseinkommen als verkehrsmittelunabhängige Kenngröße ein. Es dient sowohl beim ÖPNV als auch beim MIV dazu, Kostenkomponenten in (zeitäquivalente) Widerstände zu transformieren.

Das Einkommen E lässt sich nach [88, Gleichung (6.1)] berechnen zu

$$E = \frac{\text{maßgebendes mittleres Haushaltseinkommen}}{\text{Erwerbsminuten eines Vollzeitbeschäftigten}}$$

Seine Einheit lautet

$$[E] = \frac{\text{DM / Monat}}{\text{min / Monat}} = \frac{\text{DM}}{\text{min}}$$

Das **maßgebende mittlere Einkommen** beschreibt zusammen mit dem Äquivalenzfaktor α (vergleiche Kapitel 2.3.2) die Zahlungsbereitschaft des Entscheiders. Der Äquivalenzfaktor dient zusätzlich zur Berücksichtigung des Einflusses des Komforts. Eventuelle reisezweckspezifische Unterschiede hinsichtlich der Zahlungsbereitschaft sollen über ein reisezweckspezifisches maßgebendes mittleres Einkommen in die Widerstandsberechnung einfließen.

Für das maßgebende mittlere Einkommen gilt, wenn *nicht nach Reisezwecken unterschieden* wird, nach [88, Seite 56]:

$$\begin{aligned} &\text{maßgebendes mittleres Einkommen} \\ &= \text{Haushaltsnettoeinkommen für Haushaltstyp 2} \\ &\quad \cdot \text{regionalspezifischer Einkommensindex} \\ &\quad \cdot (1 - \text{Anteil der Studenten an der Bevölkerung}) \\ &+ \text{BAföG-Höchstsatz} \\ &\quad \cdot \text{Anteil der Studenten an der Bevölkerung} \end{aligned}$$

Walther bezieht alle monetären Größen in dieser Gleichung auf den Zeitraum eines Monats.

Geeignete Untersuchungen zum Zeitwert oder zu Zahlungsbereitschaften im *täglichen, städtischen Freizeitverkehr* existieren in den deutschsprachigen Ländern Europas nicht. Daten aus anderen als diesen Staaten zu verwenden erscheint wegen Unterschieden in der Mentalität und Unterschieden bei den Zeitmustern nicht sinnvoll.

Eine grobe Abschätzung möglicher reisezweckspezifischer Unterschiede in der Zahlungsbereitschaft ist anhand einer Umfrage der üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG [33] möglich. Abbildung 5.1 zeigt die Bedeutung des Tarifs für unterschiedliche Reisezwecke. Ob nur Nutzer der üstra oder auch andere Verkehrsteilnehmer befragt wurden, geht aus der Quelle nicht hervor.

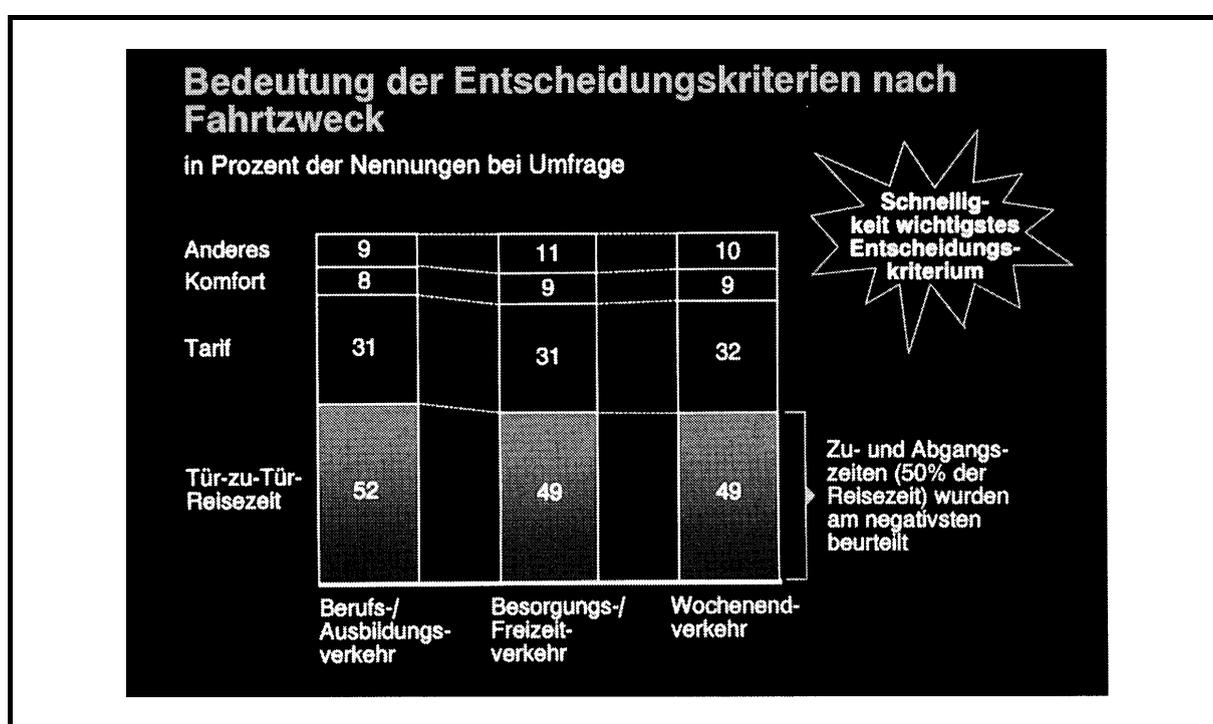


Abbildung 5.1: Bedeutung von Angebotsmerkmalen nach Fahrtzweck im ÖPNV in Hannover ([33])

In der Abbildung ist der Freizeitverkehr mit dem Besorgungsverkehr zusammengefasst. In der Freizeitwissenschaft werden beide Aktivitäten oft als Freizeitaktivitäten bezeichnet, um ihrer Ähnlichkeit Rechnung zu tragen. Eine eindeutige Zuordnung von Aktivitäten zu einem dieser beiden Zwecke ist oft schwierig. So stellt der Besuch eines Gartencenters für einen Hobbygärtner weniger einen Einkauf als eine Freizeitaktivität dar (vergleiche Kapitel 3.2.6). Wegen der Ähnlichkeit der beiden Reisezwecke ist aber nicht von wesentlichen Unterschieden in der Zahlungsbereitschaft auszugehen.

Kostenelemente fließen in die Widerstandsberechnung gewichtet mit dem Einkommen ein. Da der Tarif im Berufs- und Ausbildungsverkehr einerseits und im Besorgungs- und Freizeitverkehr andererseits gemäß Abbildung 5.1 die gleiche Bedeutung hat, wird für den täglichen Freizeitverkehr im Weiteren das gleiche Einkommen wie bei der Modellierung des gesamten städtischen Verkehrs angesetzt.

Dieser Ansatz erscheint auch vor dem Hintergrund plausibel, dass andere Aktivitäten den Umfang der täglichen Freizeit stark begrenzen (vergleiche auch Kapitel 2.2.7). Im Gegensatz zum Urlaubsverkehr stehen nur kurze Zeitfenster zur Realisierung von Freizeitaktivitäten zur Verfügung. Daraus ergibt sich die hohe und den anderen Reisezwecken entsprechende Bereitschaft, für Zeiteinsparungen Geld aufzuwenden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der gewählte Ansatz trotz der gegebenen schwachen Datenlage plausibel ist.

Die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells erfolgt anhand von Daten aus unterschiedlichen Jahren (vergleiche Kapitel 6). Insgesamt entstammen die Daten einer Periode von gut zehn Jahren. In dieser Zeit hat sich die wöchentliche Arbeitszeit kontinuierlich verändert. Diese Veränderungen sind der Anlass für die folgende genauere Auseinandersetzung mit der Größe „**Erwerbsminuten pro Monat**“.

Als mögliche Parameter zur Bestimmung der Erwerbsminuten kommen die Anzahl der Montage bis Freitage, der Wochenfeiertage, der Urlaubstage und der Krankheittage pro Jahr sowie die wöchentliche Arbeitszeit in Frage. Um die Wirkungen der einzelnen Parameter einzuschätzen, werden zwei Wochen eines Arbeitnehmers verglichen. In der einen Woche arbeitet der Arbeitnehmer fünf Tage, in der anderen Woche nur vier Tage, da er einen Tag krank ist, Urlaub nimmt oder Feiertag ist.

Würde der eine freie Tag bei der Berechnung der Erwerbsminuten berücksichtigt, würde das Einkommen pro Erwerbsminute in der zweiten Woche höher sein. Das entspräche einer größeren Zeitknappheit, die eine größere Zahlungsbereitschaft für die Einsparung von Zeit bei der Fortbewegung bedeutet. Es ist jedoch nicht einzu- sehen, warum der Arbeitnehmer gerade in der Woche, in der er mehr Freizeit hat, unter größerer Zeitknappheit leiden sollte. Aus diesen Gründen fließen Feier-, Urlaubs- und Krankheittage nicht mit in die Berechnung der maßgeblichen Arbeitszeit ein.

Des weiteren ist nicht davon auszugehen, dass der Arbeitnehmer bei der Abschätzung des Wertes seiner Zeit die Unterschiede zwischen zwei Jahren hinsichtlich der Anzahl der Tage insgesamt (Schaltjahre) sowie der Samstage und Sonntage pro

Jahr berücksichtigt. Für die Berechnung der Erwerbsminuten wird deshalb mit Mittelwerten über alle Jahre gearbeitet.

Daraus ergeben sich über die wöchentliche Arbeitszeit die in Tabelle 5.6 angegebenen Erwerbsminuten. Im Hinblick auf den „Handbuch“-Charakter des Kapitels enthält die Tabelle nicht nur die Daten für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erforderlichen Jahre.

	1989	1990	'91 - '92	'93 - '94	'95 - '97	'98 - '99
Arbeitsstunden Woche	38,5	38,4	38,1	37,7	37,5	37,4
Arbeitsminuten Monat	10044	10018	9940	9836	9783	9757

Tabelle 5.6: Wöchentliche Arbeitszeit [125] und Erwerbsminuten nach Jahren

Eine Unterscheidung nach *Freizeitwegen* und *allen Wegen* ist nicht erforderlich, da die Zahlungsbereitschaft, wie beschrieben, als gleich angesetzt wird.

Die Berechnung des Einkommens als Widerstandsparameter sei anhand des Beispiels in Tabelle 5.7 verdeutlicht.

Zeile	Kenngröße	Quelle bzw. Berechnung	Werte für Düsseldorf '90
⟨1⟩	Haushaltsnettoeinkommen des Haushaltstyps 2	stat. Jahrbuch des Bundes	3802,48 DM/mon
⟨2⟩	regionalspezifischer Einkommensindex	stat. Jahrbuch von Land / Kommune; Internet	136,3 %
⟨3⟩	Anteil der Studenten an der Bevölkerung	stat. Jahrbuch von Bund / Land / Kommune; Internet	4,94 %
⟨4⟩	BAföG-Höchstsatz	BaföG	638 DM/mon
⟨5⟩	maßgebendes mittleres Einkommen	$= [\langle 1 \rangle \cdot \langle 2 \rangle \cdot (1 - \langle 3 \rangle) + \langle 4 \rangle \cdot \langle 3 \rangle]$	4958,27 DM/mon
⟨6⟩	Erwerbsminuten	Tabelle 5.6	10018 min/mon
⟨7⟩	Einkommen	$= \langle 5 \rangle / \langle 6 \rangle$	0,4949 DM/min

Tabelle 5.7: Formeln und Beispiel zur Berechnung des Einkommens ([88])

5.4 Motorisierter Individualverkehr

5.4.1 Beförderungszeit

Die Beförderungszeit im MIV wird wesentlich durch die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit, die Knotenabstände, erforderliche Abbiegevorgänge und Verkehrsbehinderungen beeinflusst. Ein für die Berechnung der Beförderungszeit als Widerstandsparameter geeignetes Modell muss alle diese Einflussgrößen berücksichtigen. Im Folgenden werden verschiedene Berechnungsverfahren bezüglich ihrer Tauglichkeit für diese Aufgabe geprüft.

5.4.1.1 Verfahren

Eine der Möglichkeiten zur Bestimmung der Beförderungszeit sind *Messfahrten*, wie sie heute beispielsweise noch von örtlichen Betrieben des ÖPNV zur Erstellung von Fahrplänen durchgeführt werden. Messfahrten erfordern einen großen Zeitaufwand verbunden mit hohen Kosten. Aus diesem Grund finden sie immer seltener Anwendung und kommen für die vorliegende Arbeit nicht in Frage.

Als weitere Methode gelten in der Praxis *fahrdynamische Berechnungen*. Aus Anfahr- und Bremsbeschleunigungen, Halteabständen und dem Band der zulässigen Geschwindigkeiten lassen sich mit Hilfe kinematischer Berechnungen Fahrzeiten bestimmen (vergleiche [18]). Durch Addition der Haltezeiten ergibt sich die Beförderungszeit. Ein Beispiel für den ÖPNV enthält unter anderem [36].

Fahrdynamische Berechnungen berücksichtigen jedoch gegenseitige Behinderungen der Verkehrsteilnehmer nicht. Sie eignen sich deshalb insbesondere für den ÖPNV mit eigenen Spuren. Bei Anwendung auf den MIV liefern sie vor allem in Städten viel zu hohe Beförderungsgeschwindigkeiten.

Bei dem Verfahren nach [17], das in Verkehrsplanungsmodellen Anwendung findet, dienen Knoten und Kanten zur Modellierung der Straßeninfrastruktur.

Auf den Kanten wird die Fahrgeschwindigkeit aufgrund von *capacity-restraint-Funktionen* bestimmt. Über die Kantenlängen ergeben sich die jeweiligen Fahrzeiten. Die Parameter der *capacity-restraint-Funktionen* hängen von verschiedenen Eigenschaften ab, insbesondere der Gestaltung der Straßen in Grundriss, Aufriss und Querschnitt.

Verkehrsbehinderungen fließen auf zweierlei Weise in die Berechnungen ein. Einerseits schätzt der Anwender des Verfahrens für jede Kante die Einschränkung des Verkehrsflusses ab. Dazu benötigt er auch die Fahrstreifenbreiten auf 50 Zentimeter genau, so dass genaue Ortskenntnisse unabdingbar sind. Andererseits bestimmen die Verkehrsmengen je Kante die Fahrgeschwindigkeiten. Zur Berechnung der Verkehrsmengen je Kante müssen sowohl das gesamte Netz als auch alle Fahrten auf diesem Netz einschließlich Durchgangsverkehren abgebildet werden. Der mit der Bestimmung der Fahrtzeiten verbundene Aufwand ist sehr groß.

Die gesuchten Beförderungszeiten ergeben sich aus der Summe der Fahrzeiten und der Verlustzeiten an den Knoten. Um letztere bei dem Verfahren berechnen zu können, werden unter anderem die Spuraufteilungen in den Knotenzufahrten und die Art der Fußgängerüberwege benötigt. Das erfordert zusätzlich die detaillierte Modellierung aller Knoten.

Insgesamt gesehen ist der Aufwand für die Bestimmung der Beförderungszeit bei diesem Verfahren sehr hoch. Der Ansatz erscheint deshalb nur bei einer stark ins Detail gehenden Untersuchung sinnvoll.

Verkehrsflusssimulationen, die ebenfalls Beförderungszeiten liefern, erfordern einen noch größeren Aufwand.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Beförderungszeit ist die Methode nach *Schwanhäußer* [78] dar. Schwanhäußer analysiert den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Halte je Kilometer und der Beförderungsgeschwindigkeit. Als Grundlage verwendet er die in Abbildung 5.2 dargestellten Fahrkurven und Messergebnisse einer Untersuchung in sechs amerikanischen Staaten.

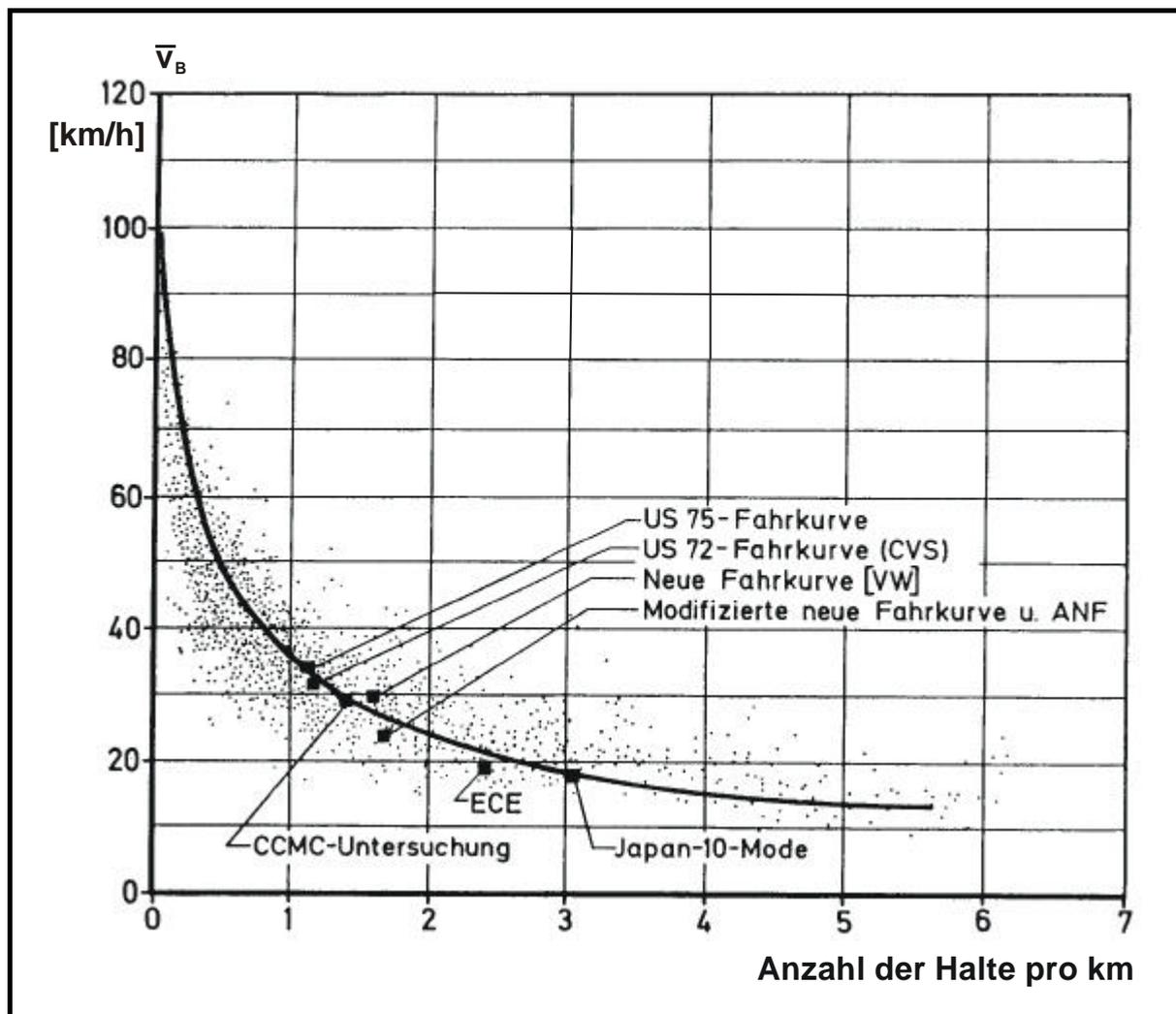


Abbildung 5.2: Zusammenhang zwischen dem Abstand zweier Halte und der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit (nach [80, Seite 46])

Schwanhäuser stellt fest, dass „sich ein überraschend enger Zusammenhang zwischen diesen Größen“ [78, Seite 20] ergibt. Es gilt:

$$\bar{v}_B = 37,4 \cdot \left(0,1 + \frac{1}{H}\right)^{-0,6} + (v_{F,\max} - 149,4) \cdot e^{-\frac{3,6}{H}} \quad (5.3)$$

mit

$1/H$: Anzahl der Halte je Kilometer

$v_{F,\max}$: zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit in km/h

Die Eingangsgrößen der Formel lassen sich leicht aus maßstäblichen Stadtplänen bestimmen.

Das Verfahren nach Schwanhäuser bietet den Vorteil, dass es im Gegensatz zu reinen fahrdynamischen Berechnungen Verkehrsbehinderungen berücksichtigt. Ferner lassen sich die Eingangsgrößen vergleichsweise leicht ermitteln. Die Bestimmung der Beförderungszeit mit Hilfe des Verfahrens nach Schwanhäuser erfordert deshalb wesentlich weniger Aufwand als Messfahrten oder das Verfahren nach [17]. Wegen seiner Vorteile wird dieses Verfahren in der vorliegenden Arbeit verwendet.

5.4.1.2 Eingangsgrößen

Eingangsgrößen des gewählten Verfahrens sind gemäß Gleichung (5.3) die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit und der Abstand der Halte. Um das Verfahren ohne detaillierte Ortskenntnisse anwenden zu können, sollten sich beide Eingangsgrößen möglichst aus Stadtplänen abschätzen lassen.

Die *zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit* kann anhand der jeweils gültigen Vorschriften und der gängigen Praxis näherungsweise ermittelt werden. Tabelle 5.8 enthält zur Zeit üblichen Werte.

innerhalb geschlossener Ortschaften	Hauptverkehrsstraßen	50 ¹⁾
	Nebenstraßen	30
außerhalb geschlossener Ortschaften	Landstraßen	100 ²⁾
	an Kreuzungen und Abzweigungen	70
¹⁾ abschnittsweise höhere Geschwindigkeiten bei gut ausgebauten Straßen möglich ²⁾ zum Teil niedriger, zum Beispiel bei hoher Kurvigkeit		

Tabelle 5.8: Größenordnung der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit in km/h

Da die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit in Gleichung (5.3) nur über den zweiten Summanden einfließt, wirken sich eventuelle Fehler lediglich bei großen Halteabständen außerhalb von Städten auf die Beförderungszeit aus.

Um die Eingangsgröße *Abstand der Halte* zu bestimmen, sind mögliche Halteorte sowie die Wahrscheinlichkeit des Anhaltens zu bestimmen. Beispielsweise beträgt die Anhaltewahrscheinlichkeit an einer Kreuzung ohne Lichtsignalanlage für ein auf der vorfahrtberechtigten Straße verkehrendes Fahrzeug, das nicht abbiegt, nahezu Null. An der ersten Lichtsignalanlage, die auf einer MIV-Fahrt erreicht wird, ist der

Zeitpunkt des Eintreffens bezüglich der Grünphase in der Regel zufällig. Die Anhaltewahrscheinlichkeit entspricht daher dem Anteil der eigenen Grünphase an der Umlaufzeit. 100 Prozent beträgt die Anhaltewahrscheinlichkeit beispielsweise beim Einbiegen aus einer Straße mit Stopp-Schild auf eine übergeordnete Straße.

In städtischen Gebieten werden die Anhaltewahrscheinlichkeiten vorwiegend durch die Lichtsignalanlagen bestimmt. Deshalb lassen sich die Regeln zur Festlegung der Anhaltewahrscheinlichkeiten aus den Prinzipien, die der Erstellung von Ampelschaltungen zugrunde liegen, logisch ableiten. Beispiele für Anhaltewahrscheinlichkeiten, die anhand eigener Messfahrten geprüft sind, enthält Tabelle 5.9.

<u>Knoten mit Lichtsignalanlagen</u>	
Kreuzung von zwei Hauptverkehrsstraßen	50 %
Einbiegen auf eine übergeordnete Straße	75 %
nächstmögliche Ampelkreuzung nach Einbiegen auf eine übergeordnete Straße	100 %
Ampelkreuzungen in Vororten, deren Ampelschaltungen nicht auf die benachbarten Ampelschaltungen abgestimmt sind	50 %
<u>zusätzlich für Abbiegevorgänge</u>	
nach rechts	25 %
nach links	50 %
<u>Kreisverkehre</u>	50 %

Tabelle 5.9: Beispiele Anhaltewahrscheinlichkeiten

Exemplarisch seien die ersten drei Zeilen der Tabelle 5.9 für Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen kurz erläutert.

Folgt man einer Hauptverkehrsstraße, so beträgt die Anhaltewahrscheinlichkeit bei grüner Welle nahezu Null. Kreuzen sich zwei Hauptverkehrsstraßen, ist die Sicherung der grünen Welle für beide Straßen schwierig. Unter der Annahme, dass die Kreuzung in die grüne Welle von einer der beiden Straßen eingepasst ist, beträgt die Anhaltewahrscheinlichkeit 50 Prozent. Für das Einbiegen auf eine Hauptverkehrsstraße ist aufgrund obiger Überlegungen zum Anteil der Grünphase an der gesamten Umlaufzeit eine Anhaltewahrscheinlichkeit von 75 Prozent angesetzt. Die folgende

Ampel auf der Hauptverkehrsstraße wird außerhalb der grünen Welle erreicht, so dass sich eine Anhaltewahrscheinlichkeit von 100 Prozent ergibt.

Auf die hier anhand von Beispielen dargestellte Weise lassen sich Anhaltewahrscheinlichkeiten sehr gut bestimmen. Die Auswirkungen eines eventuellen Fehlers bei der Bestimmung dieser Wahrscheinlichkeiten auf das Ergebnis sind, wie weiter unten beschrieben, im Verhältnis zur erforderlichen Genauigkeit vernachlässigbar.

5.4.1.3 Tageszeitabhängigkeit

Unterschiedliche Beförderungszeiten im Tagesverlauf resultieren im Wesentlichen aus Schwankungen der Nachfrage im Straßenverkehr und den mit steigenden Verkehrsströmen zunehmenden Verkehrsbehinderungen.

Verkehrsbehinderungen führen unter anderem dazu, dass die grüne Welle nicht begehalten werden kann. Dadurch kommt es zu zusätzlichen Aufenthalten an Ampeln.

In den Stunden hohen Verkehrsaufkommens ist die Umlaufzeit in der Regel zur Steigerung der Leistungsfähigkeit höher, so dass die Ampelaufenthalte zusätzlich auch länger werden. Die stärksten Verkehrsbehinderungen treten bei monozentrisch strukturierten Gebieten in der Innenstadt auf. Messfahrten haben gezeigt, dass für das Einfahren in die Innenstadt oder das Verlassen des Zentrums ein bis drei zusätzliche Ampelaufenthalte angesetzt werden müssen. Die Beförderungszeit t_B ist aus diesen Gründen um den Beförderungszeitzuschlag t_B^* zu erhöhen.

Montag-Freitag	Samstag	Sonntag	t_B^*
0 – 5 Uhr 23 – 0 Uhr	0 – 7 Uhr 23 – 0 Uhr	0 – 10 Uhr 21 – 0 Uhr	0 min
5 – 6 Uhr 19 ³⁰ – 23 Uhr	7 – 8 Uhr 19 – 23 Uhr	10 – 21 Uhr	1 min
6 – 15 Uhr 17 – 19 ³⁰ Uhr	8 – 19 Uhr	–	2,5 min
15 – 17 Uhr	–	–	4,5 min

Tabelle 5.10: Beförderungszeitzuschlag nach Stundengruppe

Die Stundengruppen nach Tabelle 5.10 sind aus dem Deutschen Mobilitätspanel [109] und den Messfahrten ermittelt.

5.4.1.4 Berechnung der Beförderungszeit

Die Schritte zur Berechnung der Beförderungszeit, die einzeln oben bereits beschrieben wurden, sind im Folgenden chronologisch zusammengestellt.

- a) Festlegung der Route(n)
- b) Feststellen der Kreuzungen mit Anhaltewahrscheinlichkeiten größer Null je Route (die Strecke zwischen zwei benachbarten Kreuzungen mit Anhaltewahrscheinlichkeiten größer Null wird im Weiteren mit „Abschnitt“ bezeichnet)
- c) Bestimmung der Größen der Anhaltewahrscheinlichkeiten
- d) Messung der Längen s der Abschnitte (Straßenentfernung, nicht Luftlinie)
- e) Abschätzung der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit je Abschnitt
- f) Berechnung der Beförderungsgeschwindigkeit aus c), d) und e) mit Gleichung (5.3)
- g) Ermittlung der Beförderungszeit aus d) und f) mit $t_B = s / v_B$
- h) Bildung der Summe der Beförderungszeiten nach g) über die gesamte Route und Addition des Beförderungszeitzuschlags t_B^* für staukritische Bereiche
- i) Zusammenfassung der tageszeitabhängigen Werte nach h) über die Gewichtung mit den Tages- und Wochenganglinien

5.4.1.5 Zusammenfassung und Beispiel

Mit der Formel nach Schwanhäußer gelingt es, die Beförderungsgeschwindigkeit zu bestimmen. Anhand der beschriebenen Überlegungen lassen sich die erforderlichen Eingangsgrößen des vorgestellten Verfahrens auf der Grundlage von maßstäblichen Stadtplänen zuverlässig ermitteln. Das Verfahren berücksichtigt alle wesentlichen, eingangs erwähnten Einflussparameter auf die Beförderungsgeschwindigkeit.

Als Beispiel wird in Tabelle 5.11 die Beförderungsgeschwindigkeit im MIV für die Strecke von der in Abbildung 5.3 markierten Tiefgarage Carschhaus in der Düsseldorfer Innenstadt in Richtung Hofgartenufer (im Norden) an einem werktäglichen Abend berechnet. Tabelle 5.11 enthält die Zusammenstellung der Kreuzungen mit Anhaltewahrscheinlichkeiten größer Null.

Die Ausfahrt der Tiefgarage liegt an der Grabenstraße.

An der Kreuzung Grabenstraße / Heinrich-Heine-Allee befindet sich eine Ampel. Da der Zeitpunkt des Eintreffens an der Ampel zufällig und der Anteil der Grünphase für die Grabenstraße an der gesamten Umlaufzeit vermutlich gering ist, wird die Anhaltewahrscheinlichkeit zu 75 Prozent gesetzt (vergleiche Tabelle 5.9). Wegen des geringen Verkehrs in der Grabenstraße lässt sich davon ausgehen, dass der Gegenverkehr und damit Verzögerungen beim Linksabbiegen vernachlässigbar sind.

Durch den Einbiegevorgang in eine Straße mit grüner Welle liegt der Zeitpunkt des Eintreffens an der folgenden Ampel am Heinrich-Heine-Platz außerhalb der Grünphase. Die Anhaltewahrscheinlichkeit beträgt somit nach Tabelle 5.9 100 Prozent.

Für die weitere Fahrt auf der Heinrich-Heine-Allee wird eine grüne Welle unterstellt, so dass die Anhaltewahrscheinlichkeit für die folgenden Kreuzungen Null beträgt. Zum Rechtsabbiegen auf die Oederallee ergibt sich nach Tabelle 5.9 eine Anhaltewahrscheinlichkeit von 25 Prozent.

Unter der Annahme, dass die Ampelschaltung an der Kreuzung Oederallee / Hofgartenufer nicht auf die grüne Welle der Heinrich-Heine-Allee ausgerichtet ist, folgt daraus eine Anhaltewahrscheinlichkeit von 75 Prozent (vergleiche Tabelle 5.9).

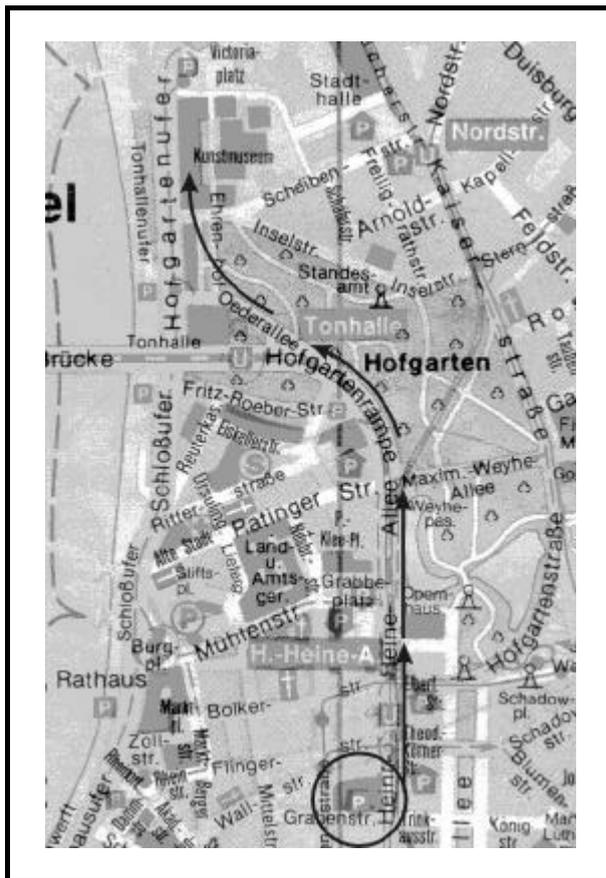


Abbildung 5.3: Beispiel für die Bestimmung der Beförderungsgeschwindigkeit im MIV

Abschnitt bis zur Kreuzung	Anhaltewahrscheinlichkeit	Abschnittslänge	Beförderungsgeschwindigkeit	Beförderungszeit
Grabenstr. / Heinrich-Heine-Allee	75 %	50 m	7,3 km/h	0,41 min
Heinrich-Heine-Platz	100 %	120 m	10,4 km/h	0,69 min
Heinrich-Heine-Allee / Oederallee	25 %	750 m	31,8 km/h	1,41 min
Oederallee / Hofgartenufer	75 %	240 m	18,5 km/h	0,78 min
Zuschlag t_B^*				1 min
Summe				4,29 min

Tabelle 5.11: Beispiel zur Berechnung der Beförderungszeit im MIV

Aus den so bestimmten Anhaltewahrscheinlichkeiten und der Entfernung zwischen den einzelnen Kreuzungen liefert Gleichung (5.3) bei Ansatz einer innerörtlich zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h die Beförderungsgeschwindigkeit je Abschnitt. Daraus lassen sich die einzelnen Beförderungszeiten – sowie unter Berücksichtigung des Beförderungszeitzuschlags nach Tabelle 5.10 von einer Minute – die für die gesamte Strecke erforderliche Zeit bestimmen. Sie beträgt nach Tabelle 5.11 etwa 4,3 Minuten.

Zur Untersuchung der Sensitivität dieses Ergebnisses bezüglich der richtigen Bestimmung der Anhaltewahrscheinlichkeiten wird für die Kreuzung Grabenstraße / Heinrich-Heine-Allee ein Zuschlag für Linksabbiegen von 50 Prozent nach Tabelle 5.9 angesetzt. Die Beförderungszeit für die betrachtete Strecke steigt dadurch um lediglich 0,15 Minuten, entsprechend 3,4 Prozent. Die Sensitivität fällt damit gering aus.

5.4.2 Differenzierung des Parkraumangebots

5.4.2.1 Ziel und Methode

Zu- und Abgangszeiten, Parkstandsuchzeiten sowie Parkkosten sind weitere Kenngrößen des Verkehrsangebots im MIV, die sich deutlich für unterschiedliche Parkstandstypen unterscheiden. Diese Unterschiede machen eine Differenzierung des Parkraumangebots in die in Abbildung 5.4 dargestellten Parkstandstypen erforderlich.

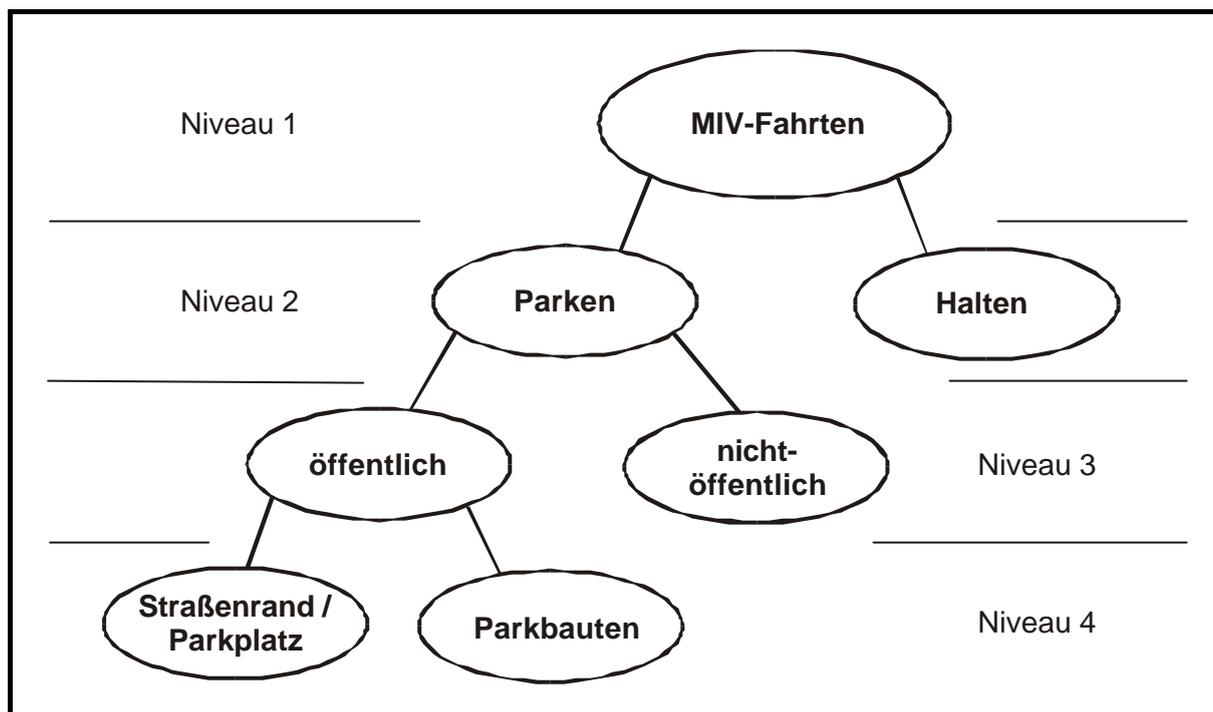


Abbildung 5.4: Differenzierung des Parkraumangebots

Ein Teil der MIV-Fahrten endet nicht mit einem Park- sondern mit einem Haltevorgang. Beim Parken wird hier unterschieden in öffentliche und nicht-öffentliche Parkstände. Während öffentliche Stellplätze jedermann zugänglich sind, stehen nicht-öffentliche Parkstände – zum Beispiel Firmenparkplätze, Stellplätze in Garagen und Vorgärten – nur bestimmten Nutzergruppen zur Verfügung. Die Kategorie der öffentlichen Stellplätze umfasst Parkstände am Straßenrand und auf Parkplätzen sowie Stellplätze in Parkbauten, zu denen Parkhäuser und Tiefgaragen zählen. Für die Berechnung der Parkkosten werden die Parkstände am Straßenrand und auf Parkplätzen in bewirtschaftete und unbewirtschaftete Stellplätze, sowie die Nutzung von Parkbauten nach Einzelparkscheinen und Dauerparkkarten weiter unterschieden (vergleiche Kapitel 5.4.6).

Für jeden Parkstandstyp und jede der vier genannten Kenngrößen des Verkehrsangebots im MIV mit Bezug zum Parken sind sowohl für die Betrachtung *aller Wege* als auch für die Berechnung des *Freizeitverkehrs*verhaltens Modellansätze zu entwickeln. Für jedes Untersuchungsgebiet werden die Ergebnisse dieser Modelle, getrennt nach dem betrachteten Zweck, über die Parkstandstypen zusammengefasst.

Dabei darf die Gewichtung nicht anhand der Anzahl der *Stellplätze* je Parkstandstyp erfolgen; es müssen vielmehr als Gewichte die Anzahl der *Parkvorgänge* je Parkstandstyp Verwendung finden. Dadurch bedingt sind zusätzlich zu Modellen für die Berechnung der Kenngrößen des Verkehrsangebots je Parkstandstyp die untersuchungsgebietsspezifischen Anteile der Parkvorgänge je Parkstandstyp zu bestimmen.

Am Stadtrand und in Vororten stehen die Fahrzeuge meist in unmittelbarer Nähe des Ziels oder auf dem eigenen Grundstück. Für diese Bereiche bestehen beim Parken keine wesentlichen Unterschiede zwischen verschiedenen Untersuchungsgebieten. Der Schwerpunkt bei der Untersuchung der Parksituation wird daher bei den Innenstädten gesetzt, für die es große Unterschiede im Parkraumangebot gibt.

Da die verkehrliche Situation in den neuen Bundesländern zur Zeit (2001) noch nicht konsolidiert ist, beziehen sich alle Aussagen auf die alten Bundesländer.

Unter der Prämisse, dass die Kenngrößen weitestgehend aus vorhandenen Unterlagen und ohne spezielle Erhebungen vor Ort ermittelt werden sollen, bieten sich zwei unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Anzahl der Parkvorgänge je Parkstandstyp an:

- a) Die Berechnung der Anzahl der Stellplätze je Parkstandstyp erfolgt aus verfügbaren statistischen Angaben. Je Parkstandstyp ist dann:

$$\text{Anzahl Parkvorgänge} \sim \text{Anzahl Parkstände} \cdot \text{Umschlagrate}$$

- b) Die Verkehrsnachfrage wird mit Parkstandstypwahlmodellen, zum Beispiel [4], bestimmt.

Die Anwendung der unter b) genannten Modelle ist für die vorliegende Aufgabe zu aufwändig. Da stadtspezifische Daten zur Anzahl der Parkstände je Parkstandstyp im Allgemeinen existieren, wird Methode a) gewählt.

Für jedes Niveau des binären Baums in Abbildung 5.4 gilt unter Verwendung des Zusammenhangs nach a):

$$\frac{PV_1}{PV_1 + PV_2} = \frac{N_1 \cdot UR_1}{N_1 \cdot UR_1 + N_2 \cdot UR_2}$$

mit

PV_i : Anzahl der Parkvorgänge beim Parkstandstyp i

N_i : Anzahl der Parkstände des Parkstandstyp i

UR_i : Umschlagrate bei Parkstandstyp i

A_i : Anteil der Parkstände des Parkstandstyp i

Durch Kürzen der rechten Seite der Gleichung mit N_1+N_2 sowie UR_1 folgt:

$$\frac{PV_1}{PV_1 + PV_2} = \frac{\frac{N_1}{N_1 + N_2}}{\frac{N_1}{N_1 + N_2} + \frac{N_2}{N_1 + N_2} \cdot \frac{UR_2}{UR_1}}$$

Die Quotienten der Stellplatzanzahlen lassen sich durch den jeweiligen Anteil A_i ersetzen:

$$\frac{PV_1}{PV_1 + PV_2} = \frac{A_1}{A_1 + A_2 \cdot \frac{UR_2}{UR_1}} \quad (5.5)$$

Folglich sind die Aufteilung der Stellplätze auf die Parkstandstypen und das Verhältnis der parkstandstypspezifischen Umschlagraten sowohl für *alle Wege* als auch für die *Freizeitwege* zu ermitteln.

5.4.2.2 Anteil der Haltevorgänge

Das zweite Niveau des Baums umfasst die Unterscheidung nach Halte- und Parkvorgängen.

Der Anteil der MIV-Fahrten, die mit einem Haltevorgang enden, an allen MIV-Fahrten wird hier aus dem Deutschen Mobilitätspanel bestimmt. Erhebungen zur Parkraumnutzung, die auf regelmäßigen Begehungen des Parkraums beruhen, eignen sich wegen der kurzen Haltedauern kaum zur Erfassung der Haltevorgänge.

Die Auswertung des Deutschen Mobilitätspanels erfolgt in Abhängigkeit von der Länge der MIV-Wege. Die Wegeweiten werden in Anlehnung an [87] in Klassen mit einer Breite von einem Kilometer und ganzzahligen Mittelwerten eingeteilt. Ausnahmen bilden lediglich die beiden untersten Klassen, deren gemeinsame Grenze bei 0,666 Kilometer liegt.

Als Haltevorgang wird hier gewertet, wenn die Differenz zwischen Ankunfts- und Abfahrtszeit zweier MIV-Fahrten fünf Minuten nicht überschreitet. Die Abweichung von der zulässigen Haltedauer von drei Minuten erfolgt, weil sich einerseits vermutlich nicht von einer Einhaltung des Grenzwertes ausgehen lässt und andererseits die Befragten ihre Zeitangaben oft auf volle fünf Minuten runden. Der Ansatz eines Grenzwertes von zehn Minuten für die Dauer von Haltevorgängen führt zu kaum veränderten Werten.

Die aus den Jahrgängen 1994, 1995 und 1997 des Deutschen Mobilitätspanels bestimmten Ergebnisse enthält Abbildung 5.5.

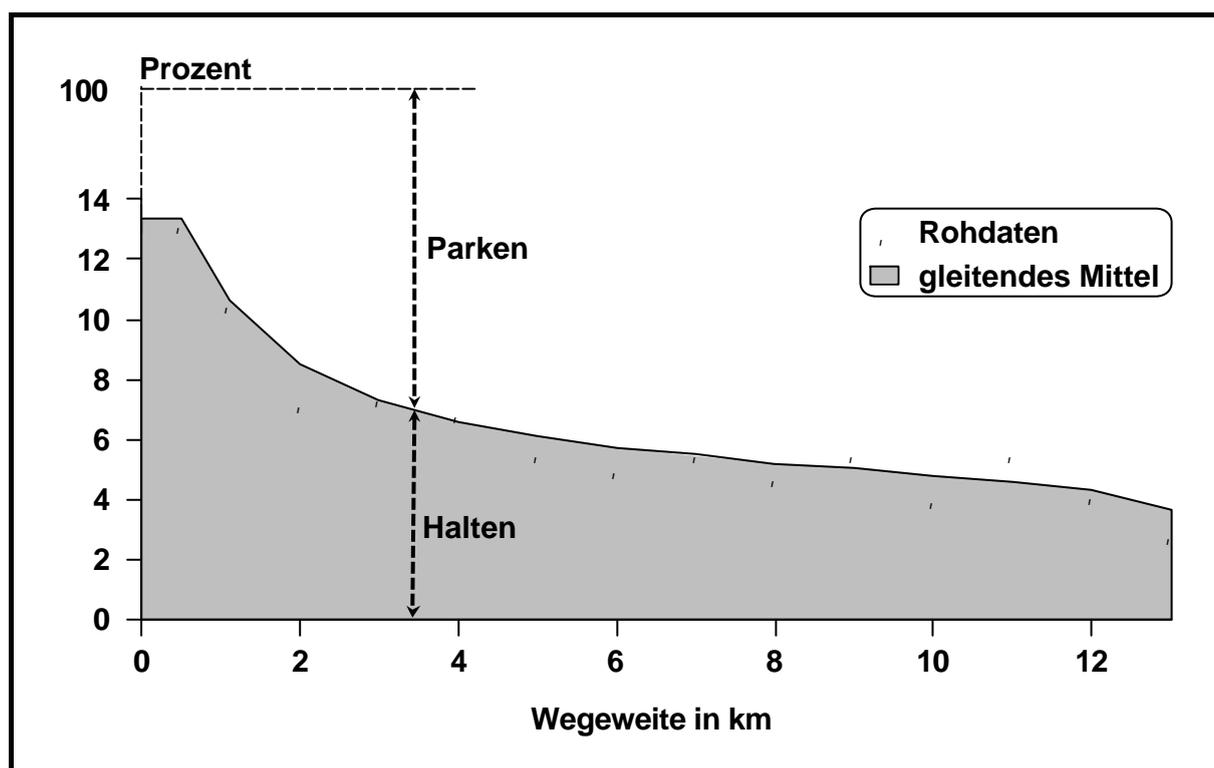


Abbildung 5.5: Anteil der Haltevorgänge (außerhäusige Ziele) (nach [109])

Die Punkte geben die Mittelwerte je Klasse an, während die Kurve ein gleitendes Mittel darstellt, das in Tabelle 5.12 in Zahlen wiedergegeben ist.

Wegeweite in km	Anteil in %	Wegeweite in km	Anteil in %
0,5	13,3	7	5,5
1,1	10,6	8	5,2
2	8,5	9	5,0
3	7,3	10	4,8
4	6,6	11	4,6
5	6,1	12	4,3
6	5,7	13	3,7

Tabelle 5.12: Anteil der Haltevorgänge (außerhäusige Ziele) (nach [109])

Bei Haltevorgängen fallen grundsätzlich keine Kosten an und Parkstandssuch- und Abgangszeiten nehmen sehr kleine Werte an, da von Autofahrern als geeignet angesehene Halteplätze vielerorts existieren. Wegen des großen Unterschieds zu den Werten der Kenngrößen beim Parken haben die Haltevorgänge trotz ihrer gemäß Abbildung 5.5 und Tabelle 5.12 vergleichsweise niedrigen Anteile Einfluss auf die Kenngrößen des Verkehrsangebots.

Eine Differenzierung der Daten aus dem Deutschen Mobilitätspanel für *Freizeitfahrten* mit dem MIV, wie in Abbildung 5.5 und Tabelle 5.12 für *alle Wege*, ist aufgrund des dafür zu geringen Umfangs der Erhebungen nicht möglich.

5.4.2.3 Anzahl der Parkstände je Parkstandstyp

Angaben zur Aufteilung der Stellplätze auf die in Abbildung 5.4 genannten Parkstandstypen lassen sich diversen Quellen entnehmen. Anlage 1 enthält eine Zusammenstellung dieser Daten für 92 Städte in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Anzahl der Stellplätze insgesamt und die Anteile der Parkstandstypen hängen von der Gebietsabgrenzung der Innenstadt ab, die in der Anlage, soweit veröffentlicht, wiedergegeben wird. Bei Verwendung der Daten aus der Anlage bleibt jeweils zu prüfen, ob das angegebene Gebiet tatsächlich nur die Innenstadt mit hohem Parkdruck oder auch angrenzende Wohngebiete umfasst.

Für die separate Beschreibung des Verkehrsangebots im *Freizeitverkehr* wird überschlägig angenommen, dass die Anteile der Stellplatzkategorien nach Anlage 1

ebenfalls gelten. Diese Annahme könnte für nicht-öffentliche Parkstände problematisch sein. Beispielsweise stehen Firmenparkplätze oft nur zum Reisezweck Arbeit zur Verfügung. Andererseits gibt es Stellplätze, zum Beispiel von Behörden, Bildungseinrichtungen und Einkaufsmärkten, die nur außerhalb der üblichen Arbeitszeiten jedermann zugänglich sind. Die beiden genannten Einflüsse haben entgegengesetzte Wirkungen auf das Parkraumangebot. Aus diesem Grund und da die für eine detailliertere Beschreibung des Parkraumangebots im Freizeitverkehr erforderlichen Daten bisher nicht erhoben worden sind, werden die Werte aus Anlage 1 für den Freizeitverkehr übernommen.

5.4.2.4 Verhältnis der Umschlagraten

Für jedes Niveau des Baums in Abbildung 5.4 bleiben nach der Anzahl der Stellplätze je Parkstandstyp die Verhältnisse der Umschlagraten zu bestimmen.

Während Daten zur Anzahl der Stellplätze je Parkstandstyp für zahlreiche Städte existieren, werden die Umschlagraten bisher nur lückenhaft erfasst. Es liegen einige wenige, stark anwendungsorientierte Erhebungen mit unterschiedlichen Befragungsmustern und Zielstellungen für einzelne Städte vor. Deshalb werden zunächst mögliche Einflussgrößen auf die Umschlagrate hinsichtlich ihrer Bedeutung geprüft, dann Werte für die Umschlagraten in Abhängigkeit von den relevanten Einflussgrößen bestimmt und die Ergebnisse schließlich einer Sensitivitätsanalyse unterzogen.

Als mögliche Einflussgrößen auf die Höhe von Umschlagraten kommen Parkdauerbeschränkungen, Parkkosten, Stadtgröße, sonstige Qualitätseigenschaften der unterschiedlichen Parkstandstypen und die Tageszeit in Frage.

Gerlach et al. stellen für die Umschlagraten gebührenpflichtiger Stellplätze im Straßenraum fest: „Eine Abhängigkeit von der durchschnittlichen **zulässigen Parkdauer** konnte nicht festgestellt werden“ [35, Seite 43]. Zu dem gleichen Ergebnis kommen Dörnemann / Groß bei der Analyse der Instrumente für das Parkraummanagement: „Eine Parkdauerbegrenzung zieht nur geringe Effekte nach sich“ [24, Seite 31].

Huber-Erler untersucht den Einfluss der **Parkkosten** auf die Umschlagraten für die Innenstädte von Gelsenkirchen und Tübingen. In beiden Städten wurden Mitte der

1990er Jahre die Bereiche mit Parkraumbewirtschaftung räumlich ausgedehnt. In Bereichen, in denen bereits vorher Parkraumbewirtschaftung bestand, stieg die Parkgebühr zum Teil bis auf das Doppelte an. In Vorher-Nachher-Untersuchungen stellt Huber-Erler [41, Seite 80] fest, dass die großflächigere Parkraumbewirtschaftung mit gestiegenen Parkkosten in beiden Städten zu Änderungen der Umschlagraten von weniger als fünf Prozent führt.

Für die Stellplätze am Straßenrand kommen Gerlach et al. außerdem zu dem Ergebnis, „dass es offenbar keine gravierende Abhängigkeit der Umschlagraten von der **Stadtgröße** gibt“ [35, Seite 43].

Schließlich bleibt der Einfluss des **Parkstandstyps** auf die Umschlagrate zu untersuchen.

Für das zweite Niveau des binären Baums nach Abbildung 5.4 ist die Bestimmung von Umschlagraten nicht erforderlich, weil es sich bei dem Anteil der Haltevorgänge nach Abbildung 5.5 und Tabelle 5.12 schon um fahrtenbezogene Werte handelt. Werte für Umschlagraten werden deshalb nicht benötigt.

Auf dem dritten Niveau des Baums ist nach öffentlichen und nicht-öffentlichen Stellplätzen zu unterscheiden. Im Verkehrsentwicklungsplan für den Großraum Würzburg wird diesbezüglich festgestellt, dass „die Anteile der Fahrten, bei denen ein privater Parkstand angefahren wird, an allen Fahrten (...) weitgehend mit den dort real vorkommenden Anteilen des privaten Parkraums am gesamten Parkraumangebot übereinstimmt“ [64; Seite E3-12]. Das Verhältnis der Umschlagrate $UR_{\text{nicht-öffentlich}}$ für nicht-öffentliche Stellplätze und der Umschlagrate $UR_{\text{öffentlich}}$ für öffentliche Parkstände wird aufgrund dessen angesetzt zu:

$$\frac{UR_{\text{nicht-öffentlich}}}{UR_{\text{öffentlich}}} = 1 \quad (5.6)$$

Auf dem vierten Niveau sind die öffentlichen Stellplätze weiter nach Parkbauten und Straßenrand / Parkplätzen zu unterscheiden. Die Umschlagrate am Straßenrand beziehungsweise auf Parkplätzen nimmt üblicherweise größere Werte als die Umschlagrate in Parkbauten an, wie die im Folgenden zitierten Quellen zeigen. Für

die westliche Innenstadt von Berlin ergibt sich nach Dörnemann et al. für Werktage zwischen 8 und 20 Uhr ein Verhältnis von:

$$\frac{UR_{SR/PP}}{UR_{PB}} = \frac{3,9}{1,9} = 2,1 \quad \text{([25, Abb. 3] und eigene Berechnungen nach [25, Abb. 4])}$$

mit

$UR_{SR/PP}$: Umschlagrate für Straßenrand und Parkplätze

UR_{PB} : Umschlagrate für Parkbauten

Aus [35, Seite 52] lässt sich dieses Verhältnis für Werktage tagsüber in Stadtkerngebieten großer Oberzentren bestimmen zu:

$$\frac{UR_{SR/PP}}{UR_{PB}} = \frac{6}{2,2} = 2,7$$

Für die Innenstadt von Hannover beträgt das Verhältnis der Umschlagraten nach [120] werktags zwischen 6 und 19 Uhr unter Ansatz des hauptsächlich anzutreffenden 60-Minuten-Parkstands für das Straßenrandparken:

$$\frac{UR_{SR/PP}}{UR_{PB}} = \frac{9,64}{3,73} = 2,6$$

Offensichtlich kann also mit dem Mittelwert in Höhe von

$$\frac{UR_{SR/PP}}{UR_{PB}} = 2,5$$

für werktags tagsüber und samstags vormittags gearbeitet werden.

Dieses Verhältnis der Umschlagraten deckt einen großen Teil aller Parkvorgänge ab. Nach Berechnungen anhand des Deutschen Mobilitätspanels enden 81,5 Prozent *aller MIV-Fahrten* und 41,3 Prozent der *MIV-Freizeitfahrten* zu außerhäusigen Zielen montags bis freitags vor 19 Uhr sowie samstags vor 15 Uhr.

Für die anderen **Tageszeiten** (in der Woche abends, samstags ab 15 Uhr und sonntags), die im Folgenden mit Schwachlastzeit bezeichnet werden, liegen keine erhobenen Umschlagraten vor. Eine Abschätzung der Änderung des Verhältnisses der Umschlagraten kann daher nur anhand der Verhältnisse der Auslastungen erfolgen.

Stellplätze am Straßenrand haben nicht nur tagsüber eine hohe Auslastung: „Nachts weisen zwei Drittel aller innerstädtischen Straßen einen starken beziehungsweise extrem hohen Parkdruck auf“ [24, Seite 27].

Bei Parkbauten hingegen sinkt die mittlere Auslastung in der Schwachlastzeit. Das aus den Ganglinien verschiedener Parkbauten bestimmte Verhältnis der mittleren Auslastung in der Starklastzeit zur Auslastung in der Schwachlastzeit beträgt:

$$\frac{72,4 \%}{30 \%} = \frac{1}{0,41}$$

Das Verhältnis der Umschlagraten $UR_{SR/PP} / UR_{PB}$ in der Schwachlastzeit ergibt sich damit und dem Verhältnis von 2,5 für die Starklastzeit zu etwa:

$$\frac{2,5}{0,41} = 6,1$$

Unter Berücksichtigung der oben angegebenen Anteile der Starklastzeit (81,5 Prozent beziehungsweise 41,3 Prozent) folgen daraus mittlere Verhältnisse der

Umschlagraten für *alle* Wege von

$$\frac{UR_{SR/PP; \text{ alle Wege}}}{UR_{PB; \text{ alle Wege}}} = \frac{\frac{2,5}{2,5+1} \cdot 81,5 \% + \frac{6,1}{6,1+1} \cdot (100 \% - 81,5 \%)}{\frac{1}{2,5+1} \cdot 81,5 \% + \frac{1}{6,1+1} \cdot (100 \% - 81,5 \%)} = 2,8 \quad (5.7)$$

und für die *Freizeitwege* von:

$$\frac{UR_{SR/PP; \text{ Freizeitwege}}}{UR_{PB; \text{ Freizeitwege}}} = \frac{\frac{2,5}{2,5+1} \cdot 41,3 \% + \frac{6,1}{6,1+1} \cdot (100 \% - 41,3 \%)}{\frac{1}{2,5+1} \cdot 41,3 \% + \frac{1}{6,1+1} \cdot (100 \% - 41,3 \%)} = 3,8 \quad (5.8)$$

Da für Schwachlastzeiten keine Erhebungen zu Umschlagraten vorliegen, erscheint eine Untersuchung der Auswirkungen eines eventuellen Fehlers bei der Abschätzung des Verhältnisses der Umschlagraten auf die Kenngrößen des Verkehrsangebots sinnvoll. Gemäß Kapitel 5.2 hat ein Fehler bei der Bestimmung der Parkkosten

verglichen mit den anderen drei, von der Parkraumsituation abhängigen Kenngrößen des Verkehrsangebots (Parkstandssuch-, Zugangs- und Abgangszeit) den größten Einfluss auf die Verkehrsnachfrage. Die Sensitivitätsanalyse wird deshalb anhand der Parkkosten durchgeführt.

Die Analyse bezieht alle in der vorliegenden Arbeit untersuchten Städte (vergleiche Kapitel 6) getrennt nach *allen Wegen* und *Freizeitwegen* ein. Sie ergibt, dass eine zehnpromtente Änderung des Verhältnisses der Umschlagraten bei Betrachtung *aller Wege* zu einer Veränderung der Parkkosten zwischen 1,5 und 4,5 Prozent mit einem Mittelwert von drei Prozent führt. Die Werte für den *Freizeitverkehr* liegen etwas darunter. Eine eventuelle Ungenauigkeit bei der Bestimmung der Verhältnisse der Umschlagraten wirkt sich also kaum auf die das Verkehrsangebot beschreibenden Kenngrößen aus.

5.4.2.5 Zusammenfassung und Beispiel

Die Aufteilung der Parkvorgänge auf die Parkstandstypen hängt sowohl von der Aufteilung der Stellplätze auf die Parkstandstypen als auch von dem Verhältnis der Umschlagraten der Parkstandstypen ab.

Zur Aufteilung der Stellplätze auf die Parkstandstypen liegen stadtspezifische Erhebungen vor. Werte für das Verhältnis von Umschlagraten ließen sich aus unterschiedlichen Quellen abschätzen.

Die gewichtete Zusammenfassung der parkstandstypenspezifischen Werte für jede der vier Kenngrößen Parkstandssuchzeit, Zu- und Abgangszeit und Parkkosten steht damit auf einer soliden Grundlage. Modellansätze zur Berechnung der stadtspezifischen und parkstandstypenspezifischen Werte werden in den folgenden Kapiteln entwickelt.

Als Anwendungsbeispiel dient die in der folgenden Tabelle 5.13 durchgeführte Berechnung des Anteils der Fahrten in Parkbauten an allen Fahrten in die Innenstadt von Düsseldorf für eine Reiseweite von fünf Kilometern.

Zeile	Kenngröße	Quelle bzw. Berechnung	Werte für Düsseldorf '90
⟨1⟩	Anteil Haltevorgänge bei 5 km Wegelänge	Tabelle 5.12	6,1 %
⟨2⟩	Anteil öffentlicher Parkstände	Anlage 1	69,4 %
⟨3⟩	$\frac{UR_{\text{nicht-öffentlich}}}{UR_{\text{öffentlich}}}$	Gleichung (5.6)	1
⟨4⟩	Anteil Parkstände in Parkbauten an allen öffentlichen Parkständen	Anlage 1	68,6 %
⟨5⟩	$\frac{UR_{\text{SR / PP; alle Wege}}}{UR_{\text{PB; alle Wege}}}$	Gleichung (5.7)	2,8
⟨6⟩	Anteil Parkvorgänge in Parkbauten an allen Parkvorgängen auf öffentl. Parkständen	Gleichung (5.5)	43,8 %
⟨7⟩	Anteil Parkvorgänge in Parkbauten an allen Fahrten in die Innenstadt	$(1 - \langle 1 \rangle) \cdot \langle 2 \rangle \cdot \langle 6 \rangle$	28,5 %

Tabelle 5.13: Formeln und Beispiel zur Berechnung der Anteile der auf einen Parkstandstyp entfallenden Parkvorgänge – alle Wege

5.4.3 Parkstandssuchzeit

5.4.3.1 Definition

Für jeden Parkstandstyp ist gemäß Kapitel 5.4.2 ein Modellansatz zur Berechnung der stadtsspezifischen Parkstandssuchzeit erforderlich. Die Definition der Parkstandssuchzeit sollte deshalb so gewählt werden, dass sie für alle Parkstandstypen zutrifft.

Bisher gibt es sehr unterschiedliche Auffassungen im Hinblick auf die Abgrenzung der Parkstandssuche. Huber-Erler schreibt in seiner Dissertation [41, Seite 103]: „Damit kann für Stadtgebiete mit ‚normaler‘ Verkehrsführung der Parksuchverkehr

wie folgt definiert werden: Definition: Der mittlere Parksuchweg aller Parkvorgänge in einem Gebiet wird ermittelt aus dem mittleren Parkweg der Parkvorgänge innerhalb eines Quadrates der Seitenlänge 1000 m um das Gebiet abzüglich 760 m.“ „Diese nachfolgend als ‚Zielgebiete‘ bezeichneten Quadrate enthalten mit hinreichender Genauigkeit den Parksuchweg vollständig. Die gesamte innerhalb des Zielgebiets zurückgelegte Route wird nachfolgend als Parkweg bezeichnet.“ [41, Seite 99] Bei dieser Definition des Parksuchverkehrs handelt es sich eher um eine Rechenvorschrift, die – wie auch Huber-Erler selbst feststellt [41, Seite 103] – durchaus problematisch ist.

Kipke definiert für Straßenrandparken: „Eine Parksuchfahrt soll mit dem Erreichen des Fahrtziels beginnen.“ „Das Ausschauen nach einem Parkplatz vor dem eigentlichen Ziel zählt nach dieser Definition nicht zum Parksuchverkehr sondern zum Zielverkehr.“ [45, Seite 2a]

Birkner unterscheidet im Hinblick auf Parkvorgänge am Straßenrand zwischen direktem und indirektem Parksuchverkehr. „Direkter Parksuchverkehr ist ein Verkehrsaufwand, der zum Zweck des Parkens unternommen wird, nachdem der zuerst erreichte Parkstand, der akzeptiert worden wäre, nicht verfügbar ist.“ [10, Seite 324] Akzeptiert wird nach Birkner jeder Parkstand, der innerhalb einer gewissen Entfernung vom Ziel – dem Akzeptanzgebiet – liegt. „Indirekter Parksuchverkehr ist ein zur Durchführung von Mehrwegen unternommener Verkehrsaufwand, sofern diese Mehrwege auf direkten Parksuchverkehr zurückzuführen sind.“ [10, Seite 324]

Reinhold [71, Seite 251] verwendet die gleichen Definitionen, bezeichnet aber den direkten Parksuchverkehr mit „Parksuchverkehr“ und den indirekten Parksuchverkehr als „Umwegverkehr“. Die Definition von Kipke umfasst nur den indirekten Parksuchverkehr.

Eine der möglichen Erhebungsmethoden zum Parksuchverkehr sind Befragungen, die die Einschätzung des Verkehrsteilnehmers zum Parksuchverkehr ermitteln. Die Angaben der Befragten umfassen die gesamte Parkstandssuche und beziehen sich folglich auf den direkten Parksuchverkehr nach Birkner. Auch bei Anwendung anderer Erhebungsmethoden wie Test- oder Verfolgungsfahrten werden die Ergebnisse der Vergleichbarkeit halber üblicherweise für den direkten Parksuchverkehr

angegeben. Aus diesem Grund und da die Modellierung des Verkehrsangebots nach Walther auf den Einschätzungen des Verkehrsteilnehmers basiert, wird hier die Definition zum (direkten) Parksuchverkehr von Birkner beziehungsweise Reinhold übernommen.

Da diese Definition in der vorliegenden Arbeit nicht wie bei Birkner und Reinhold nur für Straßenrandparken gelten soll, ist sie für die anderen Parkstandstypen in geeigneter Weise zu erweitern. Unterschiede zwischen den Parkstandstypen liegen einerseits in der Größe des Akzeptanzgebiets, dessen Größe beispielsweise beim Parken in der eigenen Garage ungefähr 15 m² beträgt. Andererseits variiert bei größeren Akzeptanzgebieten auch die innerhalb des Gebiets verfolgte Parksuchstrategie. Während Verkehrsteilnehmer beim Parken am Straßenrand nach Birkner und Reinhold den ersten freien Stellplatz wählen, wird zum Beispiel auf privaten Parkplätzen von Firmen oder Einkaufszentren in der Regel auf dem (vermeintlich) zielnächsten Parkstand geparkt.

Die Parkstandssuchzeit lässt sich unabhängig vom Parkstandstyp **definieren** wie folgt: Die Parkstandssuchzeit ist die Zeit zwischen dem Einfahren in das verkehrsteilnehmerabhängige und parkstandstypspezifische Akzeptanzgebiet und dem Erreichen des Stellplatzes, der gewählt wird. Das Akzeptanzgebiet umfasst den Bereich in der Nähe des Ziels, in dem freie Parkstände grundsätzlich akzeptiert werden. Welchen freien Stellplatz innerhalb des Akzeptanzgebiets (ersten, zielnächsten, etc.) der Verkehrsteilnehmer wählt, hängt von seiner Parksuchstrategie ab.

Diese Definition trifft für alle üblichen Parkstandstypen zu. Anhand dieser Definition sind im Weiteren Werte für die Parkstandssuchzeiten für die einzelnen Parkstandstypen zu bestimmen. Gerlach et al. stellen im Hinblick auf die Parkraumnachfrage eine „erhebliche Inhomogenität der Informationen, die aus [verschiedenartigen] Untersuchungen (...) abgeleitet werden“ [35, Seite 35] fest. Die Informationen weisen „erhebliche Unterschiede in der zeitlichen und räumlichen Gliederung“ [35, Seite 35] auf. Da nicht einmal ansatzweise ausreichend stadtspezifische Daten zur Parkraumnachfrage vorliegen, kommt ein Vorgehen wie bei der Bestimmung der Anteile der Parkvorgänge je Parkstandstyp nicht in Frage. Im Folgenden muss also, entsprechend der neuen Definition (siehe voriger Absatz), für Gebiete ohne Parkdruck einerseits sowie andererseits für jedes Blatt des Baums nach Abbildung 5.4 ein Verfahren zur Berechnung der Parkstandssuchzeit bereitgestellt werden.

5.4.3.2 Parkstände am Straßenrand – *alle Wege*

5.4.3.2.1 Erhebungen

Zur Parkstandssuchzeit am Straßenrand in Innenstädten existieren, wie in Kapitel 5.4.3.1 erwähnt, nur wenige Erhebungen. Tabelle 5.14 gibt die Ergebnisse von Erhebungen seit 1991 wieder. Alle Angaben entsprechen der getroffenen Definition der Parkstandssuchzeit (vergleiche Kapitel 5.4.3.1).

Stadt	Gebiet	Wochentage	Jahr	Quelle	Parkstandssuchzeit
Gelsenkirchen	Innenstadt	Di, Sa	1995	[41]	0,8 min
Köln	Rathenauv.	Di	1995	[41]	2,0 min
Mainz	Innenstadt	Di, Do, Sa	1991	[129]	2,9 min
München	Innenstadt	k. A.	1992	[126]	4,3 min
München	Haidhausen	Mo-Sa	1997	[71]	4,4 min
München	Maxvorstadt	k. A.	1997	[70]	5,3 min
München	Schwabing	Mo-Sa	1997	[71]	3,2 min
Stuttgart	Innenstadt	Di, Sa	1992	[129]	3,7 min
Tübingen	Innenstadt	Di, Sa	1995	[41]	0,6 min
Wiesbaden	Innenstadt	Di, Do, Sa	1992	[129]	3,0 min
Wuppertal	Innenstadt	Sa	1992	[129]	2,3 min

Tabelle 5.14: Erhobene Werte für die Parkstandssuchzeit am Straßenrand

Bei einem Teil der angegebenen Werte handelt es sich um Befragungsergebnisse, so dass wegen der starken Bewertung der Parkstandssuchzeit (vergleiche [88]) diese Zeit von den Befragten überschätzt worden sein könnte.

Reinhold [71] dagegen verfolgt Parkstandssuchende in zwei Münchener Stadtteilen und befragt sie anschließend zum Teil zusätzlich. Für den Stadtteil Haidhausen liegt der bei den Verfolgungsfahrten gemessene Wert für die mittlere Parkstandssuchzeit bei 4,9 Minuten, der von den Befragten geschätzte Wert beträgt 5,5 Minuten. Im Stadtteil Schwabing ergaben die Messungen 4,5 Minuten, die Befragung führte zu einem Wert von 6,5 Minuten. Im Gegensatz zu der Erhebung in Haidhausen war in Schwabing die Angabe einer Parkstandssuchzeit von Null Minuten nicht vorgesehen.

Diese Werte lassen eine im Mittel geringfügige Überschätzung der Parkstandssuchzeit bei Befragungen erkennen. Die Bedeutung dieser Überschätzung ist jedoch im Verhältnis zu den Ungenauigkeiten bei den Messungen und Schätzungen bei der Bestimmung der Parkstandssuchzeit vernachlässigbar.

Wegen der geringen Anzahl der Erhebungen kann die Bestimmung der erforderlichen Parkstandssuchzeit für Straßenrandparken nicht stadtspezifisch anhand von Erhebungen erfolgen. Alternativ bieten sich Modelle zur Berechnung dieser Größe an.

5.4.3.2.2 Modelle

Birkner entwickelt als Antwort auf die von ihm gestellte Frage „Wie lässt sich Parksuchverkehr analysieren und quantifizieren?“ [10, Seite 323] ein Verfahren zur Berechnung des Parksuchverkehrspotentials. „Das Parksuchverkehrspotential ist die Summe individual motorisierter Verkehrsteilnehmer, die in kritischen Zeiten einen akzeptablen Parkraum ansteuern und daraufhin am Parksuchverkehr teilnehmen.“ [10, Seite 324]

Tatsächlich handelt es sich um die – aufgrund der gewählten Methode nur recht unpräzise abschätzbare – theoretisch maximale Anzahl von MIV-Fahrten bei fehlendem Parkdruck und nicht um die realisierten Fahrten oder die Bestimmung der Parkstandssuchzeit. „Mit dieser Formel, deren Anwendung eine Erhebung im ruhenden Verkehr (...) erfordert, lassen sich die an akzeptablen Parkräumen entstehenden *maximalen Parksuchverkehrspotentiale* und ihre nachfragegruppenspezifische Zusammensetzung abschätzen.“ [10, Seite 327] Eine Antwort auf die von Birkner selbst formulierte und oben zitierte Frage nach dem Umfang des Parksuchverkehrs liefert das Verfahren nicht.

Kipke [45] berechnet den Parksuchverkehr überschlägig für ein fiktives Suchgebiet von $800 \cdot 800 \text{ m}^2$ auf der Grundlage von Zu- und Abflussganglinien in Zeitschritten von 15 Minuten.

Für den Fall, dass mehr freie Parkstände in dem Suchgebiet zur Verfügung stehen als gebraucht werden, bestimmt Kipke den Parksuchweg aus geometrischen Überlegungen zur Parkstandsichte. Falls die Parkraumnachfrage nicht gedeckt werden kann, kommen zu den Suchwegen Wartevorgänge über den gesamten Zeitschritt hinzu.

Dem Verfahren liegt die Annahme eines verlustfreien Wartesystems zugrunde. Bei Parkdruck treten jedoch Verluste durch die Wahl eines anderen Parkstandstyps oder eines anderen Suchgebiets auf.

Den Auslastungsgrad bestimmt Kipke aus Zu- und Abflussganglinien. Beide lassen sich insbesondere bei der erforderlichen hohen zeitlichen Differenzierung nur grob abschätzen. Der Auslastungsgrad als Eingangsgröße des Verfahrens ergibt sich aus der Differenz der Ganglinien, so dass bereits kleine Abweichungen zwischen geschätzten und tatsächlichen Ganglinien das Ergebnis stark beeinflussen.

Huber-Erler [41] stellt ein Verfahren zur Berechnung der Parkstandssuchzeit aller Stellplätze am Straßenrand aus der Auslastung der unbewirtschafteten Parkstände am Straßenrand vor. Um diese Auslastung für eine Anwendung des Verfahrens zu bestimmen, sind Erhebungen von 7 bis 19³⁰ Uhr durchzuführen. Wegen des damit verbundenen Aufwands kommt das Verfahren für die vorliegende Arbeit nicht in Frage.

Es liegt also kein Verfahren vor, auf das sich in dieser Arbeit zurückgreifen ließe.

5.4.3.2.3 Entwicklung eines neuen Ansatzes

Im Rahmen dieser Arbeit ist deshalb ein neuer Algorithmus zur Bestimmung der Parkstandssuchzeit am Straßenrand zu entwickeln. Als erster Schritt werden die an den Ansatz zu stellenden **Anforderungen** präzisiert.

Als naheliegend erscheint die Berechnung der Parkstandssuchzeit als Funktion des Auslastungsgrads der Stellplätze. Allerdings lassen sich Auslastungsgrade für kurze Zeitintervalle, wie sie zum Beispiel das Verfahren von Kipke erfordert, nur schwer bestimmen. Im Bereich der üblicherweise auftretenden, hohen Auslastungsgrade fällt zudem, wie Abbildung 5.6 zeigt, die Sensitivität der Parkstandssuchzeit hoch aus. Kleine Fehler bei der ohnehin problematischen Bestimmung des Auslastungsgrads wirken sich deshalb sehr stark auf die Größe der gesuchten Parkstandssuchzeit aus.



Abbildung 5.6: Parkstandssuchzeit $t_{PS,SR}$ über Auslastungsgrad r für kurze Zeitintervalle

Für Auslastungsgrade unter 0,9 ist die Parkstandssuchzeit nahezu Null. Beispielsweise beträgt die mittlere Parkstandssuchzeit in einer Straße mit einseitigem Längsparken bei einer Parkstandssuchgeschwindigkeit von 10 km/h (eigene Berechnung nach [45] und [71]) für einen Auslastungsgrad von 0,9 in etwa:

$$\begin{aligned} t_{PS,SR} &= \frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{l_{\text{Parkstand}}}{v_{PS}} \\ &= \frac{1}{1-0,9} \cdot \frac{6,5\text{m}}{10\text{km/h}} \\ &= 0,39\text{min} \end{aligned}$$

mit

$l_{\text{Parkstand}}$: Länge eines Parkstands

v_{PS} : Parkstandssuchgeschwindigkeit

Erst ab einem Auslastungsgrad von circa 0,9 steigt die Parkstandssuchzeit stärker an. Sie reagiert in diesem Bereich, in dem sich die Werte in Innenstädten üblicherweise bewegen, sehr stark auf Veränderungen des Auslastungsgrades, so dass kleine Fehler beim Auslastungsgrad große Auswirkungen auf die Parkstandssuchzeit haben.

Die zu entwickelnde Funktion für die Parkstandssuchzeit sollte aus diesen Gründen eine deutlich geringere Steigung haben als die Kurve in Abbildung 5.6 im Bereich üblicher Auslastungsgrade aufweist. Um stadtspezifische Werte für die Parkstandssuchzeit bestimmen zu können, müssen ferner die Eingangsgrößen des Ansatzes stadtspezifisch bestimmbar sein. Die Ergebnisse sollten sich nicht auf nur einen Straßenabschnitt beziehen, sondern auf größere zusammenhängende Gebiete, zum Beispiel die gesamte Innenstadt.

Im nächsten Schritt sind geeignete **Eingangsgrößen** zu definieren. Sie müssen den genannten Anforderungen gerecht werden und trotz der schwachen Datenlage zur Parkraumnachfrage aus Erhebungen zur Verfügung stehen.

Apel/Lehmbrock [103] geben für zahlreiche Städte nicht nur die in Kapitel 5.4.2 erwähnten Anzahlen der Stellplätze je Parkstandstyp und die Einwohnerzahlen in der jeweiligen Innenstadt an; für einen Teil dieser Städte nennen die Autoren auch die in Anlage 2 wiedergegebenen Pkw-Fahrten an Werktagen zu den Zwecken Arbeit und Einkauf in die Innenstadt. Wegen der verhältnismäßig geringen Anzahl der Pkw-Fahrten im Ausbildungsverkehr wird dieser Reisezweck hier vernachlässigt. Aus den Pkw-Fahrten und dem Stellplatzangebot ist es unter Zuhilfenahme der im Weiteren genannten Daten möglich, eine Kenngröße für die Auslastung der Stellplätze zu ermitteln.

Angaben zu reisezweckspezifischen Parkdauern für Innenstädte enthalten beispielsweise [154], [157], [158], [160], [161], [162] und [169].

Die Pkw-Dichte in der Innenstadt lässt sich einerseits über den Mittelwert für die zu untersuchende Stadt oder ersatzweise den Bundesmittelwert und jeweils eine

pauschale Abminderung für die Innenstadt abschätzen; andererseits kann sie mit höherer Genauigkeit aus in der Literatur ausgewiesenen Kennziffern zur Bestimmung der Parkraumnachfrage (zum Beispiel [76, Seite 66] für Innenstädte) und dem circa 88 prozentigen Anteil angemeldeter Pkw am Bestand (nach [111]) überschlägig berechnet werden zu:

$$0,5 \frac{\text{Pkw}}{\text{Wohnung}} \cdot 0,88 \frac{\text{angemeldete Pkw}}{\text{Pkw}} \Big/ 1,4 \frac{\text{Einwohner}}{\text{Wohnung}}$$

$$= 0,31 \frac{\text{angemeldete Pkw}}{\text{Einwohner}} \quad (5.9)$$

Anlage 2 weist die Pkw-Fahrten in die Innenstadt nicht parkstandstypspezifisch aus. Deshalb kann nur der gesamte Zustrom zuzüglich der Pkw der Einwohner auf die Stellplätze aller Parkstandstypen bezogen werden. Vor dem Hintergrund, dass Konkurrenz zwischen den Parkstandstypen herrscht, erscheint dieser Ansatz nicht nur aufgrund der Datenlage erforderlich sondern auch inhaltlich sinnvoll. Eine steigende Parkraumnachfrage führt nicht zu einer extrem steigenden Parkstandssuchzeit am Straßenrand, wie Abbildung 5.6 suggeriert. Vielmehr führt eine höhere Parkstandssuchzeit am Straßenrand zu Abwanderungen zu anderen Parkstandstypen, zum Beispiel den Parkbauten. Zu dieser Erkenntnis kommen auch Topp et al., die im Hinblick auf die Nachfrage bei mit „Anlagen“ bezeichneten Parkbauten feststellen: „Die vorliegenden Ergebnisse legen jedoch den Schluß nahe, daß das Angebot an Parkständen außerhalb der Anlagen der entscheidende Faktor ist“ [129, Seite 20]. Der Umfang der Abwanderungen zu Parkbauten hängt von deren Auslastung ab, da auch in Parkbauten die Parkstandssuchzeit mit der Auslastung zunimmt. Diese Wechselwirkungen zwischen den Parkstandstypen führen deshalb ebenfalls zu der geforderten und realistischen geringeren Steigung der Funktion der Parkstandssuchzeit für den Straßenrand.

Für die drei in Tabelle 5.14 enthaltenen Städte Mainz, München und Stuttgart sowie für Wien, für das die Parkstandssuchzeit am Straßenrand aus [121] vorliegt, geben Apel/Lehmbrock die Anzahl der Pkw-Fahrten in die Innenstadt, die zur Bestimmung der Eingangsgröße erforderlich ist, zeitnah zu den Erhebungen an. Zur Herleitung eines **Ansatzes** wird die aus diesen Daten für jede Stadt bestimmte Auslastung der

Stellplätze – ausgedrückt durch die mittlere Summe der Belegungszeiten je Parkstand und Tag in Stunden – in Abbildung 5.7 den Parkstandssuchzeiten für den Straßenrand für diese vier Städte gegenübergestellt.

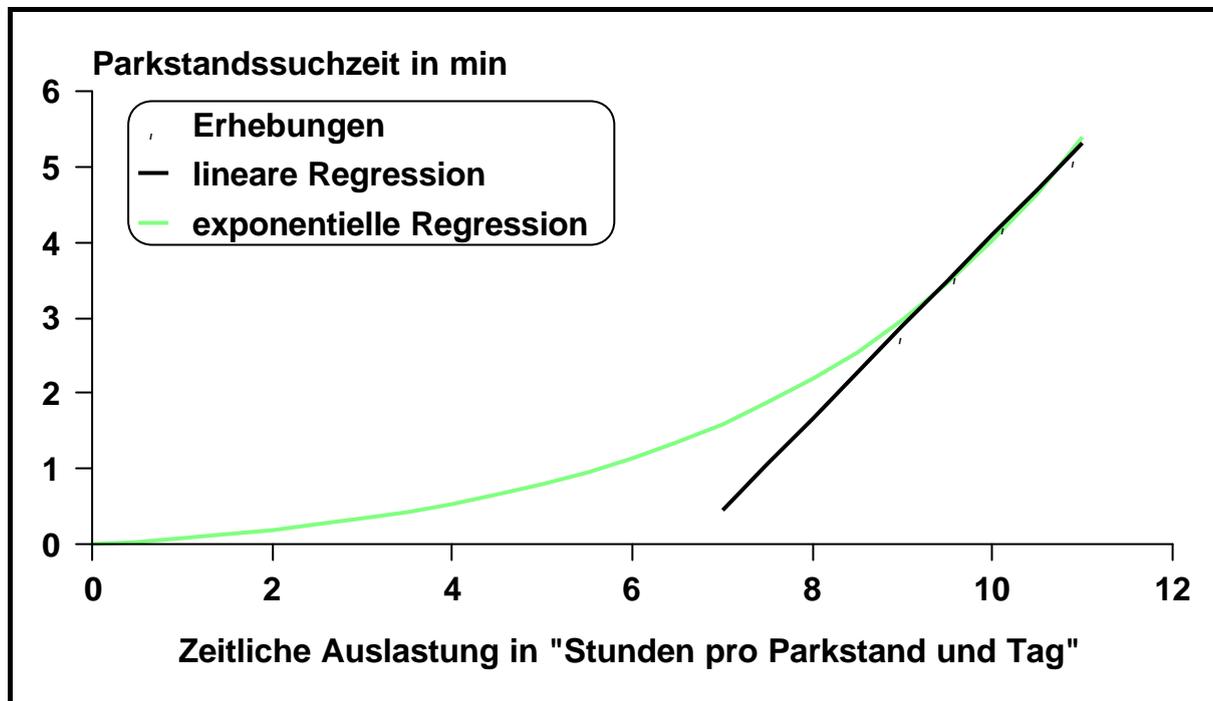


Abbildung 5.7: Bestimmung der Parkstandssuchzeit bei Straßenrandparken – alle Wege

Erhebungen zur Parkstandssuchzeit enden in der Regel abends gegen 19 oder 20 Uhr. Für die Gegenüberstellung in Abbildung 5.7 ist dieser Aspekt jedoch unbedeutend, da der weit überwiegende Anteil aller Parkvorgänge in der Zeit stattfindet, für die die Parkstandssuchzeit aus der Erhebung bekannt ist (vergleiche Kapitel 5.4.2.4).

Die Abbildung 5.7 enthält sowohl eine exponentielle Regression durch die vier Punkte und den Punkt (0;0) als auch eine lineare Regression. Die lineare Regression schneidet die Abszisse bei einer mittleren Auslastung von 6,6 Stunden pro Parkstand und Tag, so dass bei kleineren Werten die Parkstandssuchzeit Null ist, also kein Parkdruck herrscht.

Die Lage des Schnittpunkts stellt sich, wie die folgende Abschätzung zeigt, als plausibel heraus. Da für Parkstände am Straßenrand keine Belegungsganglinien vorliegen, wird in erster Näherung die Ganglinie des Parkhauses König in Tübingen aus dem Jahr 1994 [41, Seite 72] verwendet. Dieses Parkhaus zeichnet sich durch eine maximale Auslastung von 82,5 Prozent aus. Am Straßenrand herrscht bei dieser Auslastung nahezu kein Parkdruck. Aus der Ganglinie ergibt sich bezogen auf alle Parkstände eine Auslastung von 6,1 Stunden pro Parkstand und Tag. Bezogen auf 82,5 Prozent aller Parkstände – entsprechend einer zeitweisen Auslastung von 100 Prozent – beträgt die mittlere Auslastung 7,4 Stunden pro Parkstand und Tag. Da bei einer maximalen Auslastung von 100 Prozent Parkdruck herrscht, bei höchstens 82,5 prozentiger Belegung hingegen nicht, muss der Schnittpunkt mit der Abszisse zwischen 7,4 und 6,1 Stunden pro Parkstand und Tag liegen. Somit erscheint die Verwendung der linearen Regression nach Abbildung 5.7 sinnvoll.

Zur Berechnung der stadtspezifischen Parkstandssuchzeit am Straßenrand wird deshalb die lineare Regression verwendet. Die Funktion lautet:

$$t_{\text{PS,SR,alle Wege}} = \begin{cases} 0 & \text{für } t_{\text{Belegung}} \leq 6,6 \text{ h} \\ -8,09 + 1,22 \cdot t_{\text{Belegung}} & \text{für } t_{\text{Belegung}} \geq 6,7 \text{ h} \end{cases} \quad (5.10)$$

mit

t_{Belegung} : Summe der Belegungszeiten je Parkstand über den Tag

5.4.3.2.4 Zusammenfassung und Beispiel

Erhebungen zur Parkstandssuchzeit am Straßenrand liegen nur in geringem Umfang vor. Eine stadtspezifische Bestimmung allein aus Erhebungen kommt deshalb nicht in Betracht.

Bestehende Verfahren zur Berechnung der Parkstandssuchzeit erweisen sich für die vorliegende Arbeit ebenfalls als ungeeignet.

Trotz der äußerst spärlichen Datengrundlage ist es gelungen, einen Ansatz zur stadtspezifischen Abschätzung der Parkstandssuchzeit für den Straßenrand zu entwickeln. Der Ansatz lässt sich ohne aufwändige Erhebungen anwenden und erfüllt alle eingangs genannten Modellanforderungen.

Als Anwendungsbeispiel werden in Tabelle 5.15 die Auslastung und die Parkstandssuchzeit für die Innenstadt von Düsseldorf bestimmt.

Zeile	Kenngröße	Quelle bzw. Berechnung	Werte für Düsseldorf '90
⟨1⟩	Pkw-Fahrten, Arbeit	Anlage 2	28.000
⟨2⟩	Pkw-Fahrten, Einkauf	Anlage 2	45.000
⟨3⟩	Einwohner	Anlage 1	25.000
⟨4⟩	angemeldete Pkw / Einwohner (Innenstadt)	Gleichung (5.9)	0,31
⟨5⟩	mittl. Parkdauer Arbeit	[158]	4,6 h
⟨6⟩	mittl. Parkdauer Einkauf	[158]	0,8 h
⟨7⟩	mittl. Parkdauer Wohnen	[158]	15,9 h
⟨8⟩	Parkdauer insgesamt	$\langle 1 \rangle \cdot \langle 5 \rangle + \langle 2 \rangle \cdot \langle 6 \rangle + \langle 3 \rangle \cdot \langle 4 \rangle \cdot \langle 7 \rangle$	288.000 h
⟨9⟩	Anzahl Stellplätze	Anlage 1	29.400
⟨10⟩	Parkstandssuchzeit	Gl. (5.10) mit ⟨8⟩ / ⟨9⟩	3,85 min

Tabelle 5.15: Formeln und Beispiel zur Berechnung der Auslastung und der Parkstandssuchzeit für Straßenrandparken – alle Wege

5.4.3.3 Parkstände am Straßenrand – Freizeitwege

5.4.3.3.1 Erhebungen

Nach Reisezwecken oder Stundengruppen unterschiedene Angaben für die Parkstandssuchzeit am Straßenrand in Innenstädten liegen aus drei Erhebungen von Reinhold vor. Demnach beträgt die Parkstandssuchzeit in München-Schwabing für den *Freizeitverkehr* 3,5 Minuten und über *alle Fahrten* 3,2 Minuten, sowie in München-Haidhausen 8,6 und 4,5 Minuten [71, Seite 255]. In der Maxvorstadt in

München ergab sich zwischen 18 und 21 Uhr, der Zeit hohen Freizeitverkehrsaufkommens, mit 7,4 Minuten die höchste Parkstandssuchzeit am ganzen Tag bei einem Tagesmittelwert von 5,3 Minuten [70, Seite 271]. Alle drei Gebiete weisen eine Mischung aus Wohnungen, Büros und Geschäften sowie zahlreiche Gaststätten und Freizeiteinrichtungen mit unterschiedlichem Anteil der einzelnen Nutzungen in den verschiedenen Gebieten auf.

In diesen drei Gebieten bestehen unterschiedliche Differenzen zwischen den Parkstandssuchzeiten für *alle Fahrten* und für *Freizeitfahrten*. Die Unterschiede hängen vermutlich mit der unterschiedlichen Bedeutung der einzelnen Nutzungen im jeweiligen Zielgebiet zusammen. Aufgrund des hohen Stellenwerts der Freizeiteinrichtungen in den drei genannten Gebieten liegt die Parkstandssuchzeit für *Freizeitfahrten* jeweils höher als die auf *alle Fahrten* bezogene Parkstandssuchzeit.

Für eine stadtspezifische Bestimmung der Parkstandssuchzeit für Straßenrandparken im Freizeitverkehr reichen die wenigen vorliegenden Untersuchungen allerdings nicht aus.

5.4.3.3.2 Modelle

Die für *alle Wege* vorgestellten und diskutierten Verfahren zur Berechnung der Parkstandssuchzeit am Straßenrand (vergleiche Kapitel 5.4.3.2.2) eignen sich, wie beschrieben, nicht für die vorliegende Arbeit. Speziell auf den Freizeitverkehr ausgerichtete Modelle lieferte die Literaturrecherche nicht. Deshalb muss im Rahmen der Arbeit eine Möglichkeit zur Abschätzung der Parkstandssuchzeit für Straßenrandparken bei Freizeitfahrten gefunden werden.

5.4.3.3.3 Entwicklung eines neuen Ansatzes

Es bietet sich an, den Algorithmus für *alle Fahrten* (Kapitel 5.4.3.2) auf den *Freizeitverkehr* zu übertragen. Die gesuchte Größe sollte aus dem Unterschied zwischen dem *Freizeitverkehr* und *allen Wegen* bestimmt werden (vergleiche Kapitel 5.1).

Dieser Unterschied resultiert einerseits aus den Verteilungen der Wege über den Tag. Andererseits hängt der Unterschied vom Umfang des Zielverkehrs zum Zweck Freizeit und dem zu den anderen Reisezwecken ab, wie der Vergleich der genannten

Erhebungswerte für München-Schwabing und München-Haidhausen zeigt. Beide Einflüsse sind bei der Übertragung des Ansatzes auf den Freizeitverkehr zu berücksichtigen.

Der Einfluss des *Umfangs des reisezweckspezifischen Zielverkehrs* fließt über eine grobe Abschätzung der Pkw-Fahrten je Zweck und Tag mit Ziel Innenstadt ein. Aus den Pkw-Fahrten je Zweck und den reisezweckspezifischen Belegungsganglinien ergeben sich Anhaltswerte für die tageszeitabhängige Belegung der Parkstände.

Der Einfluss der *unterschiedlichen Verteilungen der Fahrten über den Tag* wird über die Gewichtung der tageszeitabhängigen Belegung mit der reisezweckspezifischen Zuflussganglinie berücksichtigt. So lässt sich die mittlere angetroffene Belegung sowohl für die *Freizeitfahrten* als auch für *alle Fahrten* berechnen. Das Verhältnis dieser beiden Belegungen multipliziert mit der Belegungsdauer nach Kapitel 5.4.3.2 dient als Eingangsgröße zur Berechnung der Parkstandssuchzeit für den Freizeitverkehr anhand der Gleichung (5.10).

5.4.3.3.4 Eingangsgrößen

Die Berechnung der Pkw-Fahrten in die Innenstadt wird nach den Zwecken Wohnen, Arbeit / geschäftlich, Einkauf und Freizeit unterschieden.

Welche Aktivitäten für die Abschätzung des Freizeitverkehrs Bedeutung haben, lässt sich anhand von Abbildung 2.4 feststellen. Berücksichtigung finden im Weiteren die Aktivitäten, die üblicherweise in Innenstädten ausgeübt werden und deren Pkw-Fahrtenaufkommen nicht vergleichsweise gering ist. Folglich stellen sich die Aktivitäten „Besuch“, „Essen / Trinken“ und „kulturelle Veranstaltungen“ als relevant heraus.

Die Pkw-Fahrten je Reisezweck sind für verschiedene Städte in Anlage 2 enthalten, für alle anderen Städte lassen sie sich anhand der folgenden Gleichung grob abschätzen:

$$\text{Pkw - Fahrten} = \frac{\text{Strukturgröße} \cdot \text{Erzeugungsrate} \cdot \text{MIV - Anteil}}{\text{Wegekettensfaktor} \cdot \text{Besetzungsgrad}} \quad (5.11)$$

Werte für die jeweiligen, in Tabelle 5.16 genannten Strukturgrößen können in der Regel die Verwaltungen der Kommunen zur Verfügung stellen. Anhaltswerte für Erzeugungsraten, Wegekettensfaktoren und Besetzungsgrade enthält Tabelle 5.16.

Der MIV-Anteil lässt sich nur sehr grob anhand von [103], [153], [154], [158], [160], [161], [162] und [169] abschätzen.

Zweck	Strukturgröße	Erzeugungsrate	Wegekettenfaktor	Besetzungsgrad	
Wohnen	Einwohner	0,31 Pkw/EW · 0,5 Fahrten/(EW·d) ³⁾			
Arbeit / geschäftlich	Beschäftigte	1,2	1,3	1,3	
Einkauf	B III ¹⁾	1,34	3,5	1,4	
Freizeit	Besuch	Einwohner	0,22 ⁴⁾	1,35 ⁷⁾	1,8 ⁷⁾
	Essen / Trinken	Lokalitäten ²⁾	31,3 ⁵⁾	1,2	1,8
	Theater etc.	Lokalitäten ²⁾	195,6 ⁶⁾	1,5	2,0
	Museen	Lokalitäten ²⁾	175,3 ⁶⁾	1,5	1,8
Quelle		[92]	[76]	[76]	
¹⁾ Beschäftigte im tertiären Sektor ²⁾ Anzahl Lokalitäten nicht erforderlich, falls Anzahl Besucher bekannt ³⁾ Pkw/EW siehe Gleichung (5.9); Fahrten aus [76] ⁴⁾ Plausibilitätsprüfung siehe Anhang 4 ⁵⁾ Ermittlung siehe Anhang 4 ⁶⁾ Mittelwert aus circa 75 Einrichtungen ⁷⁾ Wert entsprechend den Werten für „Essen / Trinken“ und „Museen“ angesetzt					

Tabelle 5.16: Parameter zur reisezweckspezifischen Abschätzung von Pkw-Zielverkehr

5.4.3.3.5 Zusammenfassung und Beispiel

Für eine stadtspezifische Bestimmung der Parkstandssuchzeit bei Straßenrandparken im Freizeitverkehr stehen weder Erhebungen in ausreichendem Umfang noch geeignete Modelle zur Verfügung. Deshalb war ein Verfahren zur Berechnung dieser Größe zu finden.

Als Grundlage wurde der Ansatz für *alle Wege* (vergleiche Kapitel 5.4.3.2) gewählt. Die stadtspezifische Eingangsgröße nach Kapitel 5.4.3.2.3 ist dabei jedoch unter Einbeziehung der Tagesganglinien der Reisezwecke und entsprechend der Bedeutung der einzelnen Zwecke für die Parkraumnachfrage zu modifizieren.

Es bleibt darauf hinzuweisen, dass das Verfahren nur so lange Anwendung finden sollte, bis sich auf einer umfangreicheren Datengrundlage ein genauerer Algorithmus bestimmen lässt.

Die Berechnung der Parkstandssuchzeit bei Straßenrandparken im Freizeitverkehr enthält Tabelle 5.17 für das Beispiel der Innenstadt von Düsseldorf.

Zeile	Kenngröße	Quelle bzw. Berechnung	Werte für Düsseldorf '90
⟨1⟩	Einwohner Innenstadt	stat. Jahrbücher	13250
⟨2⟩	Beschäftigte	kommunale Verwaltung	84000
⟨3⟩	Beschäftigte tertiärer Sektor		80000
⟨4⟩	Lokale Essen / Trinken		216
⟨5⟩	Besucher Theater etc.		2250
⟨6⟩	Besucher Museen		900
⟨7⟩	RZ Arbeit: MIV-Anteil		abschätzen, z. B. anhand von [153] oder Anlage 2
⟨8⟩	RZ Einkauf: MIV-Anteil	40 %	
⟨9⟩	RZ Freizeit: MIV-Anteil	34 %	
⟨10⟩	Pkw-Fahrten, RZ Wohnen	Anlage 2 oder Gleichung (5.11)	3000
⟨11⟩	Pkw-Fahrten, RZ Arbeit		28000
⟨12⟩	Pkw-Fahrten, RZ Einkauf		37000
⟨13⟩	Pkw-Fahrten, RZ Freizeit		8000
⟨14⟩	Verhältnis Belegungsdauern	siehe Text	0,93
⟨15⟩	Belegungsdauer - alle Wege	Kapitel 5.4.3.2	9,80 h
⟨16⟩	Parksuchzeit Straßenrand Freizeitverkehr	Gleichung (5.10) mit ⟨14⟩, ⟨15⟩	3,0 min
RZ: Reisezweck			

Tabelle 5.17: Formeln und Beispiel zur Berechnung der Auslastung und der Parkstandssuchzeit für Straßenrandparken – Freizeitwege

5.4.3.4 Parkstände in Parkbauten

Für die Bestimmung der Parkstandszeit bei Stellplätzen in Parkhäusern und Tiefgaragen sind dem Verfasser keine Berechnungsverfahren bekannt, auf die sich zurückgreifen ließe. Für die vorliegende Arbeit muss deshalb ein eigener Ansatz entwickelt werden.

5.4.3.4.1 Entwicklung eines neuen Ansatzes

Verlustzeiten, die im Zusammenhang mit dem Parken entstehen, treten einerseits vor und andererseits in Parkbauten für den Weg bis zum Parkstand auf.

Erhebungen von Topp et al. [129] zeigen, dass Warteschlangen vor Parkbauten nur an einem geringen Teil aller Parkbauten einer Stadt auftreten. Wenn sich nennenswerte Warteschlangenlängen von mehr als zehn Fahrzeugen überhaupt beobachten lassen, dann nur in wenigen Stunden im Monat und zwar an Samstagen mit verlängerten Ladenöffnungszeiten und ganz selten auch an langen Donnerstagen. Verlustzeiten vor Parkbauten sind also vernachlässigbar.

Die Erhebungen von Topp et al. lassen ferner den Schluss zu, der sich auch aus Ganglinien unterschiedlicher Parkbauten ergibt, dass die Auslastung nur selten 100 Prozent erreicht. Die Parkstandssuchzeit in Parkbauten entsteht im Gegensatz zum Straßenrand also nicht dadurch, dass keine freien Stellplätze zur Verfügung stehen, sondern durch den Weg bis zum freien Stellplatz. Ziel muss deshalb sein, die Länge dieses Parksuchwegs zu berechnen.

Bei der Parkstandssuche in Parkbauten handelt es sich nicht um einen reinen Bedienungsprozess, bei dem Wartezeiten infolge der Belegung aller Bedienungskanäle entstehen. In der Regel ist mindestens ein Bedienungskanal in Form eines Parkstands frei. Ein analytisches Verfahren auf der Basis der Warteschlangentheorie erscheint für die zu beantwortende Frage deshalb weniger adäquat. Da die Bedienungskanäle bei konventionellen Parkbauten an unterschiedlichen Stellen liegen, treten trotz freier Parkstände durch relativ lange Zufahrtswege zu den Bedienungskanälen Verlustzeiten auf.

Bei automatischen Parkbauten hingegen entsteht der Zeitbedarf für einen Parkvorgang sowohl im Parkbau selbst als auch im Ein- und Ausfahrbereich. Dieser meist ein- oder zweikanalige Bereich begrenzt die Anzahl der Parkvorgänge pro Zeiteinheit, so dass ein klassisches Warteschlangenproblem vorliegt.

Die Länge des Zufahrtswegs zu dem gewünschten Stellplatz hängt bei konventionellen Parkbauten vom Akzeptanzgebiet und der Parkstandssuchstrategie im Sinne der Definition nach Kapitel 5.4.3.1 ab. Das Akzeptanzgebiet entspricht dem gesamten Parkbau, in dem der Verkehrsteilnehmer prinzipiell den ersten freien Stellplatz wählt. Leichte Abweichungen von dieser Parkstandssuchstrategie können sich durch eine geringe Verlängerung des Parkstandssuchwegs ergeben, die der Verkürzung des Abgangswegs im Parkbau oder des Zeitaufwands für das Einparken dient. Da angenommen werden kann, dass die Verkehrsteilnehmer eine Minimierung des gesamten Widerstands anstreben, führt eine bewusste Verlängerung des Parkstandssuchwegs zu einer Reduzierung anderer Widerstandsparameter und ist auch deshalb vernachlässigbar.

Die Länge des Parkstandssuchwegs ergibt sich somit als der zwischen der Einfahrt eines Parkbaus und dem ersten freien Stellplatz zurückgelegte Weg. Die Lage des ersten freien Stellplatzes hängt vom Auslastungsgrad der Parkstände sowie von der Stärke der Zu- und Abflussströme ab. In Parkbauten hat der Auslastungsgrad – da er in der Regel deutlich unter 100 Prozent liegt – einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Parkstandssuchzeit als beim Parken am Straßenrand. Der Parkstandssuchweg im Parkbau wächst höchstens linear mit dem Auslastungsgrad. Kleinere Fehler beim Auslastungsgrad wirken sich kaum auf die Parkstandssuchzeit aus. Zudem liegen für viele Parkbauten Zufluss- und Belegungsganglinien aus Messungen vor.

Während sich die Neubelegung der Parkstände durch einfahrende Kraftfahrzeuge aufgrund der genannten Parkstandssuchstrategie ergibt, stellt die Leerung der Stellplätze im Wesentlichen einen Zufallsprozess dar. Letzterer ließe sich bei entsprechender Datenverfügbarkeit auch in Abhängigkeit vom Einfahrzeitpunkt und Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Parkdauern beschreiben.

Zur Bestimmung des Parkstandssuchwegs wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Simulationstool entwickelt, das die Parkstandsbelegung in Parkbauten auf der Grundlage dieser Überlegungen modelliert.

Aus der Parkstandsbelegung lässt sich für jeden Parkvorgang der Ein- beziehungsweise Ausfahrweg berechnen. Maßgebend für die Längen dieser Wege sind die Anordnung und die Breiten der Parkstände sowie die Längen der zu befahrenden Rampen. Über die Parkstandssuchgeschwindigkeit ergibt sich der Zeitbedarf für diese Wege. Hinzu kommen Verlustzeiten an den Schranken.

Unterschiede bei der Parkstandssuchzeit für *Freizeitfahrten* gegenüber der Berechnung für *alle Fahrten* entstehen durch Unterschiede im Hinblick auf die zeitliche Verteilung des Eintreffens im Parkbau. Die auf der Basis *aller Wege* berechneten

Parkstandssuchzeiten je Zeitintervall werden über reisezweckspezifische Tages- und Wochenganglinien gewichtet gemittelt.

5.4.3.4.2 Eingangsgrößen

Im vorletzten Absatz sind die für die Anwendung des neuen Simulationstools benötigten Daten grob erwähnt. Im Folgenden werden alle Eingangsgrößen aufgelistet und mögliche Quellen für die Daten angegeben.

Für den Zufluss und die Belegung eines Parkbaus sind Tagesganglinien je Wochentag und eine Wochenganglinie erforderlich. „In vielen Städten kann der stündliche Zu- und Abfluss sowie die stündliche Belegung (...) abgerufen werden.“ [35, Seite 13f] Darüber hinaus existieren zahlreiche Veröffentlichungen mit anlagen-spezifischen Angaben. Standardisierte Ganglinien enthält zum Beispiel [35].

Die Anzahl der Parkstände eines Parkbaus kennen in der Regel die Verwaltungen der Kommunen oder die Parkbaubetreiber.

Falls sich die Breite der Stellplätze nicht über den Betreiber ermitteln lässt, stehen mit den „Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs“ [30] Richtwerte zur Verfügung. Bei Senkrechtaufstellung soll die Parkstandsweite beispielsweise 2,50 Meter [30, Seite 19] betragen.

Als weitere Eingangsgröße ist die Anzahl der Parkstände je Fahrgasse zwischen zwei Zufahrten erforderlich. Sie dient – zusammen mit der Angabe, ob sich ein- oder beidseitig der Fahrgasse Stellplätze befinden – der Berechnung der Längen der Fahrgassen und der Anzahl der Rampen, die bis zum Parkstand befahren werden müssen. Falls der Parkbaubetreiber hierzu keine Angaben machen kann, ist wegen enger Vorgaben beim Bau von Parkbauten und des geringen Einflusses dieser Größe auf das Ergebnis eine Abschätzung recht einfach möglich: Einseitiges Parken kommt aufgrund des damit verbundenen hohen Flächenbedarfs je Parkstand selten vor. Stock / Bschorr [83, Seite 18] geben an, dass Brandabschnitte in oberirdischen Anlagen 5000 m² und in unterirdischen Anlagen 2500 m² nicht überschreiten dürfen. Bei beidseitiger Queraufstellung ergibt sich aus dem Platzbedarf pro Parkstand einschließlich Fahrgassen und Rampen eine mögliche Anzahl von 240 beziehungsweise 120 Stellplätzen je Brandabschnitt. Aus wirtschaftlichen Überlegungen sollte die Anzahl der Parkstände pro Ebene 80 - 120 [20] betragen. Bei mehr Stellplätzen je Ebene sind weitere Zufahrten sinnvoll, so dass die Anzahl der Parkstände je Fahrgasse üblicherweise 120 nicht überschreitet.

Die Länge einer Rampe ergibt sich bei den gängigen geraden Rampen zu der Summe aus der doppelten Parkstandstiefe ($2 \cdot 5,0$ Meter [30, Seite 19] bei Senkrechtaufstellung) und der Wandstärke.

Die Länge der Strecke von der Einfahrt des Parkbaus bis zum ersten Stellplatz kann nur beim Betreiber erfragt oder vor Ort bestimmt werden. Nach eigenen Erhebungen liegt der Zeitbedarf für diese Strecke zwischen 10 und 30 Sekunden.

Zur Umrechnung des Parkstandssuchwegs in eine Parkstandssuchzeit ist die mittlere Geschwindigkeit erforderlich. Sie liegt nach eigenen Messungen bei 11 km/h und damit sehr dicht an der Parkstandssuchgeschwindigkeit am Straßenrand von 10 km/h (Kapitel 5.4.3.2.3).

Für die gesamte Parkstandssuchzeit ist zusätzlich die Verlustzeit an der Schrankenanlage, die nach eigenen Erhebungen circa fünf Sekunden beträgt, zu addieren.

5.4.3.4.3 Zusammenfassung

Wartezeiten vor Parkbauten stellen sich als vernachlässigbar heraus. Für die Ermittlung der Parkstandssuchzeit in Parkbauten konnte ein Simulationstool neu entwickelt werden, das in der Lage ist, die Parkstandsbelegung zu modellieren. Aus der Parkstandsbelegung berechnet das Tool für jeden Parkvorgang den Parkstandssuchweg und die Parkstandssuchzeit.

Aus der Parkstandssuchzeit pro Zeitintervall wird anhand der jeweiligen Nachfrageganglinie die mittlere Parkstandssuchzeit in einem Parkbau sowohl für *alle Wege* als auch für reisezweckspezifische Betrachtungen ermittelt.

Die Eingangsgrößen der Simulation lassen sich für jede Anwendung aus den im Text genannten Quellen ohne eigene Erhebungen vor Ort zuverlässig bestimmen.

5.4.3.5 Nicht-öffentliche Parkstände

Zu den nicht-öffentlichen Stellplätzen zählen Parkstände auf privaten Grundstücken, zum Beispiel in Vorgärten und Garagen oder auf Parkplätzen von Firmen, Freizeiteinrichtungen und Geschäften.

Kipke [45, Seite 110] setzt ohne Angabe einer Definition für private Parkstände eine Parkstandssuchzeit von Null an. Eine Befragung der Beschäftigten ausgewählter

Betriebe und Behörden in der Frankfurter Innenstadt [122] aus dem Jahr 1982 ergibt eine Parkstandssuchzeit auf Firmenparkplätzen von 0,25 Minuten.

Abhängig von der Art des Parkstands treten Zeitverluste auf, die nicht der Parkstandssuche dienen. Dazu zählen das Öffnen des Garagentors (≥ 20 Sekunden) oder die Strecke auf einem Parkplatz (=Akzeptanzgebiet) bis zum Erreichen des Bereichs, in dem überhaupt Parkstände belegt sind. Da anzunehmen ist, dass die Verkehrsteilnehmer diese Zeiten als unangenehmer als die Beförderungszeit empfinden, werden sie analog der Einfahrzeit bei Parkbauten der Parkstandssuchzeit zugerechnet.

Daher erscheint es sinnvoll, für die Parkstandssuchzeit bei nicht-öffentlichen Stellplätzen 0,5 Minuten sowohl für die Betrachtung *aller Wege* als auch der *Freizeitwege* anzusetzen.

5.4.3.6 Gebiete ohne Parkdruck

In Gebieten ohne Parkdruck (Wohnviertel, Industriegebiete, Dörfer etc.) existieren in der Regel nur nicht-öffentliche Parkstände und Stellplätze am Straßenrand. Die Parkstandssuchzeit am Straßenrand ist gering, so dass analog zum vorigen Unterkapitel die Parkstandssuchzeit sowohl für die Betrachtung *aller Wege* als auch der *Freizeitwege* zu 0,5 Minute angesetzt wird.

5.4.4 Abgangszeit

5.4.4.1 Gebiete ohne Parkdruck, nicht-öffentliche Parkstände und Haltevorgänge

Gebiete ohne Parkdruck sind beispielsweise die Außenbezirke von Städten. „In Außenbezirken der Städte, wo die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, daß der Pkw in unmittelbarer Wohnungsnähe steht, kann mit einer Fußwegzugangszeit von ca. 1 min gerechnet werden.“ [87, Seite 14]. Hautzinger / Tassaux geben für Pkw-Fahrer einen Wert von 90 Metern für den Weg vom Pkw zur Wohnung an [115, Seite 197]. Darin enthalten sind auch die vermutlich längeren Wege von Innenstadtbewohnern zu öffentlichen Stellplätzen. Der Wert passt also gut zu der Angabe von Walther / Klinkenberg [87].

Die beiden Kategorien „**nicht-öffentliche Parkstände**“ und „Gebiete ohne Parkdruck“ umfassen Parkstände, die sich auf privatem Grund in unmittelbarer Nähe zur Wohnung befinden, wie Garagen und Carports. Sie unterscheiden sich jedoch dadurch, dass zu den nicht-öffentlichen Parkständen zusätzlich Firmenparkplätze und ähnliche „halböffentliche“ Parkstände gehören und in Gebieten ohne Parkdruck zusätzlich Straßenrandparken üblich ist. Damit nimmt die Parkstandssuchzeit für nicht-öffentliche Parkstände und Gebiete ohne Parkdruck jeweils Werte an, die die erforderliche Zeit für das Parken bei Garagen und Carports leicht übersteigt, und kann deshalb als in etwa gleich groß angesetzt werden.

Wegen der, wie gerade erwähnt, nicht vernachlässigbaren Abgangszeiten für das Straßenrandparken ohne Parkdruck wird für **Haltevorgänge** ebenfalls mit dem Wert von einer Minute gerechnet.

Die angegebenen Werte gelten sowohl bei Betrachtung *aller Wege* als auch für den *Freizeitverkehr*.

5.4.4.2 Parkstände am Straßenrand

5.4.4.2.1 Erhebungen

Die Abgangszeit für Straßenrandparken hängt stark vom Parkdruck ab, der mit der Höhe der Parkstandssuchzeit korrespondiert. Die Abgangs- und die Parkstandssuchzeit sind die beiden Kenngrößen, die ein Verkehrsteilnehmer bei der Parkstandssuche durch die Wahl seiner Parkstandssuchstrategie beeinflussen kann. Bei gegebenem Parkdruck führt eine kurze Parkstandssuchzeit zu einer höheren Abgangszeit, mit einer längeren Parkstandssuchzeit lässt sich die Abgangszeit verkürzen.

Erhebungen von Macoun [121] für unterschiedliche Untersuchungsgebiete in Wien zeigen, dass ab einem gewissen Parkdruck längeren Parkstandssuchzeiten gegenüber längeren Abgangszeiten der Vorzug gegeben wird. Dies erscheint plausibel, da langsam im Pkw zu fahren angenehmer ist, als zu Fuß beispielsweise mit Gepäck durch den Regen zu gehen.

Macoun gibt für vier Gebiete der Wiener Innenstadt Abgangs- und Parkstandssuchzeiten an. Weitere Erhebungen liegen nicht vor, so dass die stadtspezifische Bestimmung der Abgangszeit nur anhand eines Berechnungsansatzes erfolgen kann.

5.4.4.2 Verfahren

Die Parkstandssuchzeit und die Abgangszeit hängen, wie beschrieben, eng miteinander zusammen. In den Gebieten „Am Hof“ und „Beethovenplatz“ erhebt Macoun [121] für beide Größen stundenbezogene Werte jeweils für einen Zeitraum von acht Stunden. Durch diese in beiden Fällen acht Wertepaare, die zudem für das Gebiet „Am Hof“ stark streuen, legt Macoun jeweils verschiedene Regressionskurven. Die hohe Streuung der Wertepaare für das Gebiet „Am Hof“ resultiert aus der schwachen Datenbasis von insgesamt nur 60 Befragten. Deshalb stimmen die Regressionskurven für die beiden Gebiete nicht überein.

5.4.4.3 Entwicklung eines neuen Ansatzes und Beispiel

Der eigene Ansatz soll ebenfalls den Zusammenhang zwischen der Abgangszeit und der Parkstandssuchzeit beschreiben. Um mit einer deutlich umfangreicheren Datenbasis als Macoun arbeiten zu können, werden unter anderem die Ergebnisse aller Erhebungsgebiete (nicht nur „Am Hof“ und „Beethovenplatz“) zu Straßenrandparken aus der Arbeit von Macoun, der die einzige Erhebung mit ausreichendem Umfang durchführt, aggregiert verwendet.

Für die Bestimmung des gesuchten Zusammenhangs erfolgt eine Unterscheidung in Fahrten, bei denen auf Anhieb ein freier Parkstand im Akzeptanzgebiet angetroffen wird, und Fahrten mit längerer Parkstandssuchzeit.

Wenn es gelingt, auf Anhieb einen freien Parkstand zu finden, hängen die Abgangszeit und die Parkstandssuchzeit von der Größe des Akzeptanzgebiets ab. Für die Außenbezirke von Städten ergibt sich aus den Kapiteln 5.4.3.6 und 5.4.4.1 für Straßenrandparken das Wertepaar $(t_{PS,SR}; t_{F,SR}) = (0,5; 1)$.

Weitere Wertepaare für den gesuchten Zusammenhang lassen sich unter Einschluss der Fahrten, bei denen nicht auf Anhieb ein freier Parkstand angetroffen wird, ermitteln. In diesem Fall verfolgt der Verkehrsteilnehmer wie eingangs formuliert eine Parkstandssuchstrategie, die auf das dem herrschenden Parkdruck entsprechende Gesamtoptimum hinsichtlich Parkstandssuche und Abgang zielt

Unter der plausiblen Annahme, dass mit wachsendem Parkdruck sowohl die mittlere Parkstandssuchzeit als auch die mittlere Abgangszeit wachsen, weisen die Fahrten mit der größten Parkstandssuchzeit auch die größte Abgangszeit auf. Für die Kurve der parkdruckabhängigen Optima lassen sich folglich Wertepaare aus den Summenlinien für die Parkstandssuchzeit und die Abgangszeit, die Macoun über alle insgesamt 290 Interviews zum Straßenrandparken angibt, bestimmen. Diese

Wertepaare enthält Abbildung 5.8 zusammen mit dem oben angegebenen Wertepaar (0,5;1) als ausgefüllte Quadrate. Ergänzt werden diese Wertepaare mit den als gefüllte Kreise dargestellten Angaben von Macoun für das Gebiet „Beethovenplatz“.

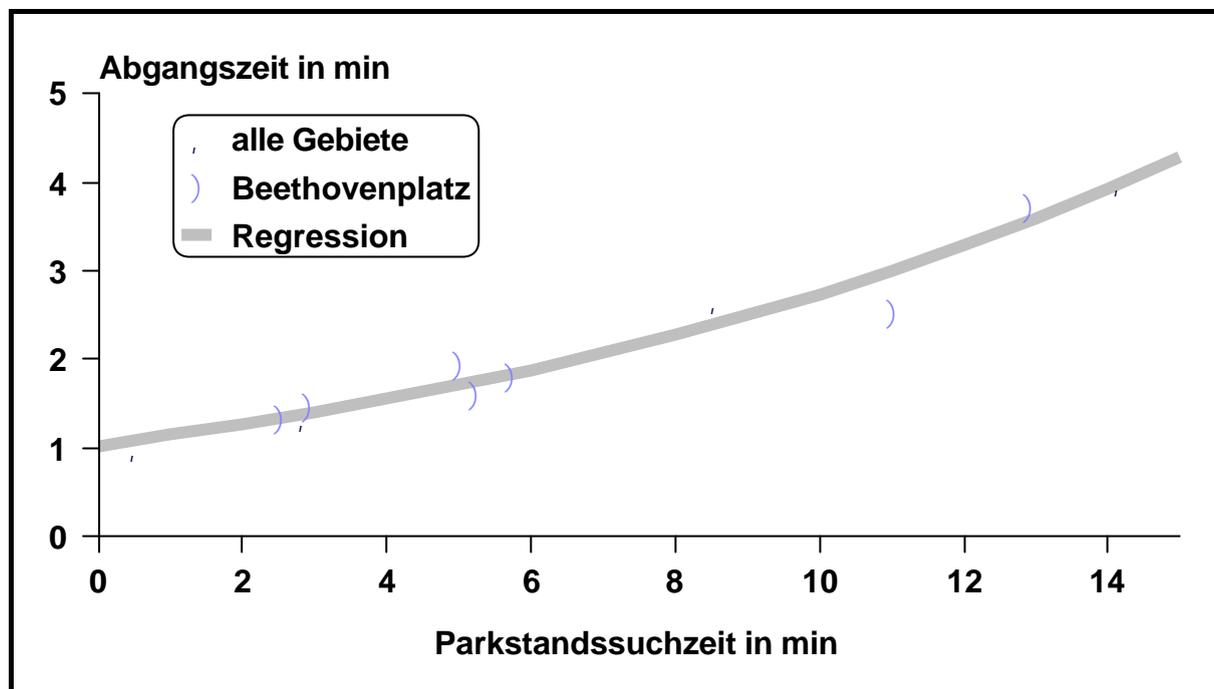


Abbildung 5.8: Zusammenhang zwischen Parkstandssuch- und Abgangszeit für Straßenrandparken (nach [121])

Eine exponentielle Regression durch die elf Punkte liefert für den gesuchten Zusammenhang die Gleichung

$$t_{F,SR} = -0,34 + 1,36 \cdot e^{0,0814 \cdot t_{PS,SR}} \quad (5.12)$$

bei einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,96$. Die Eingangsgröße dieser Gleichung ergibt sich aus dem in Kapitel 5.4.3.2 beschriebenen neuen Modell für *alle Wege*, beziehungsweise für reisezweckspezifische Untersuchungen gemäß Kapitel 5.4.3.3.

Für Düsseldorf hat die Fußwegzeit für Straßenrandparken für *alle Wege* somit bei einer Parkstandssuchzeit von 3,85 Minuten (Kapitel 5.4.3.2.4) den Wert

$$\begin{aligned} t_{F,SR} &= -0,34 + 1,36 \cdot e^{0,0814 \cdot 3,25} \\ &= 1,4 \text{ min} \end{aligned}$$

5.4.4.3 Parkstände in Parkbauten

5.4.4.3.1 Erhebungen und Verfahren

Aus Angaben der am Parkstand befragten Autofahrer ergibt sich für vier Parkbauten in der unmittelbaren Innenstadt von Berlin nach [127, Seite 189] eine mittlere Abgangszeit von 2,8 Minuten und für fünf über die gesamte Innenstadt von Wien verstreute Parkbauten nach [121, Seite 35] eine Abgangszeit von 4,0 Minuten. Weitere Erhebungen oder Modelle zur Berechnung der Abgangszeit liegen dem Verfasser nicht vor. Stadtspezifische Werte für die Abgangszeit bei Parkbauten lassen sich also nicht aus der Literatur entnehmen, sondern müssen ebenfalls berechenbar gemacht werden.

5.4.4.3.2 Entwicklung eines neuen Ansatzes

Der Abgangsweg beim Parken in Parkbauten umfasst sowohl Strecken im Parkbau als auch einen Abschnitt außerhalb.

Die Länge des **Abgangswegs im Parkbau** hängt von zahlreichen Parametern wie der Größe, der Auslastung und der baulichen Ausbildung des Parkbaus ab. Das neu entwickelte Simulationstool für Parkvorgänge in Parkbauten (vergleiche Kapitel 5.4.3.4) berücksichtigt alle genannten Charakteristika und ist in der Lage, auf dieser Grundlage auch den Abgangsweg zu berechnen.

Aus den zurückgelegten Wegen und der Geschwindigkeit ergibt sich die Fußwegzeit im Parkbau. Für Treppensteigen gilt nach [116, Seite 37] unabhängig von der Richtung (treppauf, treppab) eine mittlere Geschwindigkeit von 90 Stufen pro Minute.

Die Länge des **Abgangswegs außerhalb von Parkbauten** hängt von der Parkbautendichte ab. Je enger die Parkbauten beieinander liegen, desto kürzer ist der Weg außerhalb der Parkbauten bis zum Ziel. Für eine ähnliche Fragestellung im ÖPNV, der Bestimmung der Zugangszeit aus der Haltestellendichte, geben Walther / Klinkenberg [87] eine Berechnungsmethode an. Sie wird in Kapitel 5.5.1 beschrieben. Als Eingangsgrößen dieser Berechnungsmethode fungieren, übertragen auf die Abgangszeit bei Parkbauten, die Anzahl N der Parkbauten in der Innenstadt sowie

deren Einzugsgebiet A, das sich aufgrund der Lage der Parkbauten und der Verteilung der Nutzungen im Raum ergibt:

$$t_{F, \text{Luftlinie}} = 5,015 \cdot \sqrt{\frac{A}{N}} \quad [A] = \text{km}^2 \quad [t_{F, \text{ab}}] = \text{min} \quad (5.13)$$

mit

A: Einzugsgebiet
N: Anzahl der Parkbauten

Kleinere Fehler bei der Bestimmung des Einzugsgebiets wirken sich wegen der Wurzelfunktion nur bedingt auf die Abgangszeit aus.

Bei der anhand von Gleichung (5.13) berechneten Abgangszeit handelt es sich um die für die Luftlinienentfernung erforderliche Zeit. Unter der plausiblen Annahme, dass der Umwegfaktor U_F für Abgangswege in Abhängigkeit von der Luftlinienentfernung zu Haltestellen des ÖPNV wiederum auch für Parkbauten gilt, lässt sich die von Walther [86, Seite 54] ermittelte Formel verwenden:

$$U_F = 1 + 5,841 \cdot e^{-1,95 \cdot I_H^{0,1}} \quad [I_H] = \text{m} \quad (5.14)$$

mit

I_H : Luftlinienentfernung zwischen Parkbau und Ziel
 $I_H = v_F \cdot t_{F, \text{Luftlinie}}$

wobei

v_F : Fußgängergeschwindigkeit

Für die Städte Berlin und Wen, für die Erhebungen zur Abgangszeit vorliegen, enthält Tabelle 5.18 die Berechnung der Abgangszeit für Parkbauten.

	Berechnung							Erhebung
	außerhalb der Parkbauten					innerhalb	Summe	
	N	A	$t_{F, \text{Luftlinie}}$	U_F	t_{F1}	t_{F2}	t_F	
⟨1⟩	⟨2⟩	⟨3⟩	⟨4⟩	⟨5⟩	⟨6⟩	⟨7⟩	⟨8⟩	⟨9⟩
Quelle	Stadtplan		(5.13)	(5.14)	⟨4⟩ · ⟨5⟩	Tool	⟨6⟩ + ⟨7⟩	[127], [121]
Berlin	9	0,8 km ²	1,5 min	1,26	1,9 min	0,9 min	2,8 min	2,8 min
Wien	19	4,9 km ²	2,5 min	1,22	3,1 min	0,7 min	3,8 min	4,0 min
t_{F1} : Abgangszeit außerhalb der Parkbauten $t_{F, \text{Luftlinie}}$: Abgangszeit vom Parkbau für die Luftlinienentfernung t_{F2} : Abgangszeit innerhalb der Parkbauten								

Tabelle 5.18: Formeln und Beispiele zur Berechnung der Abgangszeit für Parkbauten und Vergleich mit erhobenen Werten

Da sich die Erhebungen in Berlin ausschließlich auf die Parkbauten in unmittelbarer Innenstadtlage beziehen, ist deren Einzugsgebiet vergleichsweise klein.

Unter Berücksichtigung des Umwegfaktors für den Teil des Abgangswegs außerhalb des Parkbaus und der Abgangszeit im Parkbau ergibt sich die **gesamte Abgangszeit beim Parken in Parkbauten**. Sie ist in Tabelle 5.18 den erhobenen Werten gegenübergestellt.

5.4.4.3 Zusammenfassung und Beispiel

Die Abgangszeit beim Parken in Parkbauten setzt sich zusammen aus der Abgangszeit im Parkbau und der Abgangszeit außerhalb.

Die Abgangszeit im Parkbau liefert das in Kapitel 5.4.3.4 vorgestellte Simulationstool anhand der geometrischen Ausbildung des Parkbaus in Abhängigkeit von dessen Auslastung und seiner Größe. Zur Bestimmung der Abgangszeit außerhalb von Parkbauten in Abhängigkeit von der Parkbautendichte wurde das Verfahren von Walther / Klinkenberg zur Berechnung von Zugangszeiten zu Haltestellen des ÖPNV auf die vorliegende Fragestellung übertragen.

Auf diese Weise berechnete Werte für Parkbauten in Berlin und Wien stimmen mit den erhobenen Werten sehr gut überein.

Bei einer reisezweckspezifischen Untersuchung ändert sich die Methode nicht.

Beispiele zur Berechnung der Abgangszeit bei Parkbauten enthält Tabelle 5.18.

5.4.5 Zugangszeit

Da der Weg vom Parkstand zum Ziel genauso lang ist wie der Weg vom Ziel zurück zum Parkstand bei der anschließenden Fahrt, gelten *innerhalb eines Gebiets* für die Zugangszeit die gleichen parkstandstypspezifischen Werte wie für die Abgangszeit. Unterschiede zwischen den beiden Zeiten bei mehr als zwei Etappen zu Fuß im Gebiet heben sich im Mittel wieder auf.

Bei der Berechnung der Zu- und Abgangszeiten *für eine Fahrt* bleibt zu berücksichtigen, dass an der eigenen Wohnung Haltevorgänge zu vernachlässigen sind.

5.4.6 Parkkosten

5.4.6.1 Ziel und Methode

Das vorliegende Kapitel zielt auf die stadtspezifische Ermittlung der Parkkosten für jedes Blatt des Baums nach Abbildung 5.4 sowohl bezogen auf *alle Wege* als auch für die *Freizeitwege* ab. Die Bedeutung einer verlässlichen Bestimmung der Parkkosten zeigt die Sensitivitätsanalyse in Kapitel 5.2.

Parkgebühren stellen häufig ein Instrument zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage in Innenstädten dar, so dass ihre Höhe nicht nur von ökonomischen Randbedingungen zum Beispiel von Investoren abhängt. Parkgebühren werden deshalb stärker von der Politik als von physikalisch messbaren Größen (zum Beispiel Einwohnerzahl, Zentralität) beeinflusst. Grundlage für die Ermittlung der Parkkosten müssen deshalb neben parkstandstypspezifischen mittleren Parkdauern insbesondere stadtspezifische Erhebungen zu den jeweiligen Parkgebühren sein.

5.4.6.2 Außenbezirke, nicht-öffentliche Parkstände und Haltevorgänge

Für das Parken in Außenbezirken von Städten, auf nicht-öffentlichen Parkständen und beim Halten fallen für den einzelnen Park- beziehungsweise Haltevorgang in der Regel keine Parkgebühren an. Ausgaben für das Parken können dennoch zum Beispiel für Garagenmieten oder Parkvignetten entstehen. Da sie eher mit dem Pkw-

Besitz als mit einer einzelnen Fahrt zusammenhängen, steht zu vermuten, dass der Verkehrsteilnehmer diese Ausgaben bei seiner Entscheidung für eine MIV-Fahrt nicht berücksichtigt. Die Parkkosten in Außenbezirken, auf nicht-öffentlichen Parkständen und für Haltevorgänge werden deshalb zu Null angesetzt.

5.4.6.3 Weitere Differenzierung des Parkraumangebots

Für die Ermittlung der Parkkosten in **Parkbauten** ist gegenüber Abbildung 5.4 weiter zu unterscheiden in Parkvorgänge mit Dauerkarte und Kurzparker mit Einzelparkausweis. Als maßgebende Art der Dauerparkkarte identifiziert Dreier die Monatsparkkarte [26, Seite 12]; für manche Städte existieren Erhebungen zur Anzahl der Dauerparkkarten. Daraus lässt sich anhand der mittleren Umschlaghäufigkeit, die Dreier für Dauerparker zu 1,3 Parkvorgängen pro Parkstand und Tag [26, Seite 27] ermittelt, der Anteil der Parkvorgänge mit Dauerparkkarten an allen Einfahrten in Parkbauten ermitteln.

Für Städte, für die keine entsprechenden Erhebungen vorliegen, kann als Näherungslösung auf Mittelwerte zurückgegriffen werden. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass bei einer zehnpromtigen Veränderung des Anteils der Dauerparker die mittleren Parkkosten um nur ein Prozent variieren.

Den mittleren Anteil der Parkvorgänge mit Dauerparkkarten an allen Einfahrten in Parkbauten bestimmt Dreier anhand von Angaben für Aachen, Bonn und Düsseldorf zu 22,5 Prozent [26, Seite 27]. Erhebungen zu den Städten Dortmund [132, Seite 79], Freiburg (Freiburger Kommunalbauten GmbH, 2000) und Aachen [114] ergeben einen mittleren Anteil der Parkvorgänge mit Dauerkarte von 22,6 Prozent.

Das bedeutet, dass Dauerparkkarten bezogen auf alle Parkvorgänge auf öffentlich zugänglichen Stellplätzen eine geringere Bedeutung haben. Für die Angabe der Parkkosten wird deshalb die Einheit DM/Fahrt und nicht DM/Zeiteinheit (zum Beispiel Monat) gewählt. Folglich sind die Kosten einer Monatsparkkarte als der maßgebenden Dauerparkkarte über die Nutzungshäufigkeit auf eine einzelne Fahrt umzurechnen. Für die Nutzungshäufigkeit setzt Walther „die Hälfte der Fahrten je ÖPNV-Monatskarte“ [88, Seite 62] an (vergleiche Kapitel 5.5.5.1).

Die Parkstände am **Straßenrand** lassen sich gegenüber Abbildung 5.4 weiter in bewirtschaftete und unbewirtschaftete Stellplätze unterscheiden. Aus einer Erhebung zu 67 Städten in der Bundesrepublik Deutschland [124] ergibt sich ein mittlerer Anteil der unbewirtschafteten Parkstände von etwa 30 Prozent an allen Straßenrand-

parkständen in Innenstädten. Wegen dieses nicht vernachlässigbaren Anteils und des großen Einflusses auf die Parkkosten erscheint diese Unterscheidung sinnvoll.

Der Anteil unbewirtschafteter Parkstände an allen Straßenrandparkständen in den einzelnen Städten schwankt nach [124] zwischen 0 und 88,5 Prozent. Er korreliert nur schwach mit der Stadtgröße oder der Zentralität, so dass für diesen Anteil keine stadttypischen anstelle von stadtspezifischen Werten zur Anwendung kommen dürfen. Für eine Vielzahl von Städten in der Bundesrepublik Deutschland enthält Anlage 1 stadtspezifische Werte.

5.4.6.4 Mittlere Parkdauern

Die mittlere Parkdauer dient der Berechnung der Parkkosten je Parkvorgang aus der Parkgebühr pro Zeiteinheit. Für Parkstandstypen, für die gar keine Parkgebühren oder keine parkdauerabhängigen Kosten anfallen, besteht deshalb nicht die Notwendigkeit, die mittlere Parkdauer zu ermitteln.

Insbesondere bei Parkbauten weichen die Preise für das erste Zeitintervall teilweise von den Gebühren für die weiteren Zeitintervalle ab. Da die Parkkosten, selbst wenn solche Gebührenstaffelungen bestehen, meist linear mit der Parkdauer wachsen, eignet sich die mittlere Parkdauer zur Bestimmung der Parkkosten.

Die mittlere Parkdauer an Werktagen tagsüber ermittelt Dreier für bewirtschaftete Parkstände am Straßenrand zu einer Stunde und für Kurzparker in Parkbauten zu 2,5 Stunden [26, Seite 34 und Seite 30]. Die Parkdauern im Freizeitverkehr liegen durchschnittlich um 20 Prozent niedriger [26, Seite 38].

5.4.6.5 Erhebungen zu Parkgebühren

Aufgrund der vorgenommenen weiteren Differenzierung des Parkraumangebots werden stadtspezifische Werte für die Parkgebühren getrennt für Kurzparken und Dauerparken in Parkbauten sowie für Straßenrandparken benötigt. Die Höhe der Parkgebühren hängt von der Tageszeit ab. Zunächst werden die parkstandstyp-spezifischen Parkentgelte für Werktage tagsüber bestimmt.

Zu **Parkbauten** stehen entsprechende Erhebungen aus den Jahren 1989 [101], 1993 [104] und 1998 [107] zur Verfügung. Sie liefern für zahlreiche Städte in der Bundes-

republik Deutschland die Kurzparkentgelte mit ihren zahlreichen Staffeln sowie die Entgelte für Dauerparken. Anlage 3 enthält die Zusammenstellung der Erhebungen unter Angabe der Gebühren für 2,5 Stunden Kurzparken an Werktagen tagsüber und die Monatsparkentgelte.

Für Untersuchungsjahre, die nicht den Erhebungsjahren entsprechen, lassen sich die Parkentgelte bei der Verwaltung der untersuchten Kommune oder bei den Parkbaubetreibern erfragen, sofern diese Daten archiviert werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, sie auf der Grundlage der genannten Erhebungen näherungsweise zu berechnen. Hilfreich dafür könnte ein bundesweiter Preisindex für Parkgebühren sein, den das Statistische Bundesamt wegen des geringen Anteils der Parkkosten an den Gesamtausgaben der Haushalte allerdings nicht ermittelt. Eine Abschätzung über die Steigerung der mittleren Lebenshaltungskosten ist ebenfalls nicht möglich, da sich die oft politisch motivierten Parkgebühren völlig anders entwickeln als die Lebenshaltungskosten.

Es besteht jedoch die Möglichkeit zur Interpolation zwischen zwei Erhebungsjahren anhand eines stadtspezifischen Index $1+i$ für die Parkgebühren:

$$1+i = \sqrt[n_2-n_0]{\frac{\text{Parkgebühren im Erhebungsjahr } n_2}{\text{Parkgebühren im Erhebungsjahr } n_0}}$$

Damit ergeben sich die Parkgebühren für ein Untersuchungsjahr n_1 , das zwischen den Erhebungsjahren n_0 und n_2 liegt zu:

$$\begin{aligned} &\text{Parkgebühren im Untersuchungsjahr } n_1 \\ &= \text{Parkgebühren im Erhebungsjahr } n_0 \cdot (1+i)^{n_1-n_0} \end{aligned}$$

Für den Fall, dass in einer Stadt nur eine Erhebung durchgeführt wurde, so dass keine Interpolation möglich ist, enthält Anlage 3 mittlere Gebührenindizes. Sie geben jeweils den Mittelwert über die Städte an, für die in allen drei genannten Erhebungen Angaben vorliegen, und können zur Abschätzung der Veränderung der Parkgebühren anhand der angegebenen Formeln dienen.

Die Gebühren für **Straßenrandparken** an Werktagen tagsüber liegen aus Erhebungen in den Jahren 1995 [105], 1996 [106] und 1998 [108] vor. Sie sind in der Anlage 4 für eine Parkdauer von einer Stunde zusammengestellt.

Falls diese Erhebungen die für eine Untersuchung erforderlichen Angaben nicht enthalten, kann ebenfalls eine Anfrage bei der Verwaltung der betreffenden Kommune die gewünschten Daten liefern.

Sofern eine Extrapolation anhand der Erhebungen vorgenommen werden soll, sind entsprechende Preisindizes erforderlich. Wegen der Konkurrenz zwischen den Parkstandstypen lässt sich bei Parkbauten und Straßenrandparken eine ähnliche Entwicklung der Entgelte annehmen. Unter dieser Voraussetzung können die Preisindizes für Parkbauten zur Berechnung der Veränderung der Parkgebühren für den Straßenrand dienen.

Für eine Berechnung der Parkkosten werden somit Werte für die Gebühren für Straßenrandparken sowie für Einzelparkkarten und Monatskarten für Parkbauten benötigt. Sind für eine Untersuchung Anfragen bei der Verwaltung der betreffenden Kommune oder bei den Parkbaubetreibern erforderlich, lassen sich oft lediglich eine oder zwei der erforderlichen drei Größen zu den Parkgebühren für das Untersuchungsjahr in Erfahrung bringen. In diesem Fall können die fehlenden Größen zusätzlich zu den beschriebenen Methoden über die mittleren Verhältnisse der drei Größen abgesichert werden. Anlage 5 gibt diese Verhältnisse wieder.

Wie eingangs erwähnt gelten die bisher genannten Erhebungen nur für Werktag tagsüber. Für die in Kapitel 5.4.2.4 mit **Schwachlastzeit** bezeichneten Zeiträume liegen keine Erhebungen vor.

Für diese Zeiten führte Dreier eigene Erhebungen für acht Städte zu den Parkgebühren durch. Er kommt zu dem Ergebnis, dass für Parkbauten „von Montag bis Samstag abends und sonntags ganztägig nur noch 61 Prozent der normalen Parkgebühren“ [26, Seite 39] anzusetzen sind. Am Straßenrand fallen zu diesen Zeiten keine Parkentgelte an. Die Zeit mit niedrigen Tarifen beginnt nach Dreier werktags gegen 18 Uhr.

5.4.6.6 Zusammenfassung

Wegen der Verwendung der Parkgebühren als Instrument der Verkehrspolitik besteht kein Zusammenhang zwischen der Höhe von Parkentgelten und physikalisch messbaren stadtspezifischen Kenngrößen wie der Einwohnerzahl oder der Zentralität. Für die Berechnung der Parkkosten pro Parkvorgang bedarf es deshalb neben Werten für die mittlere Parkdauer stadtspezifischer Erhebungen zu den Parkgebühren.

Parkstandstypspezifische und reisezweckspezifische mittlere Parkdauern bestimmt Dreier aus verschiedenen Erhebungen zu unterschiedlichen Städten. Für die Parkgebühren existieren zahlreiche stadt- und parkstandstypspezifische Daten, die die Anlagen 3 und 4 wiedergeben. Für den Fall, dass ein Teil der Daten oder alle Werte nicht für das gewünschte Untersuchungsjahr zur Verfügung stehen, werden in diesem Kapitel unterschiedliche Möglichkeiten zur Bestimmung der benötigten Größen aufgezeigt.

Die Zusammenfassung der parkstandstypspezifischen Parkkosten geschieht anhand der Anteile der einzelnen Parkstandstypen an allen Park- beziehungsweise Haltevorgängen anhand der Angaben in Kapitel 5.4.2, das auch ein Beispiel enthält.

5.4.7 Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffverbrauch für eine Fahrt hängt insbesondere von der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit (vergleiche Kapitel 5.4.1), der Beförderungsweite und dem geschwindigkeitsabhängigen Kraftstoffverbrauch je Kilometer ab. Für den Kraftstoffverbrauch wählt Walther [88] die Funktion aus [9]:

$$B_p = \left(\frac{41,96}{v_B^{0,271}} + 0,066 \cdot e^{0,039 \cdot v_B} - 5,019 \right) \cdot e^{\left(-14,55 - \frac{(v_B - 45,95)^2}{347,59} \right) \cdot 0,0098}$$

5.4.8 Kraftstoffkosten

Der mittlere Preis für Normalbenzin lässt sich je Kalenderjahr zum Beispiel [102] entnehmen.

5.4.9 Betriebskosten

Als weitere Kenngröße des Verkehrsangebots setzt Walther [88, Seite 60] bei der Widerstandsberechnung den entfernungsabhängigen Teil der Betriebskosten eines durchschnittlichen Pkws (ohne Kraftstoffkosten), zum Beispiel eines VW Golf, an. Entsprechende Werte enthält [63].

5.4.10 Besetzungsgrad

5.4.10.1 Dimension

Der Besetzungsgrad dient der Umrechnung der auf die einzelne Pkw-Fahrt bezogenen Kosten (Park-, Kraftstoff- und Betriebskosten) in Kosten je Personenfahrt im MIV. Er lässt sich als fahrtenbezogene Kenngröße

$$B_F = \frac{\text{Personenfahrten im MIV}}{\text{Pkw - Fahrten}}$$

oder als leistungsbezogene Größe berechnen

$$B_L = \frac{\text{Verkehrsleistung}}{\text{Betriebsleistung}} \quad [B_L] = \frac{\text{Personenkilometer}}{\text{Pkw - Kilometer}}$$

Da der Besetzungsgrad üblicherweise mit steigender Beförderungsweite wächst, nimmt der leistungsbezogene Besetzungsgrad in der Regel größere Werte als der fahrtenbezogene Besetzungsgrad an. Walther stellt fest, dass „die Verwendung von *fahrtenbezogenen* Werten in Personen je Pkw-Fahrt, wie sie in Mobilitätsuntersuchungen (...) häufig angegeben werden, zu keinen sinnvollen Ergebnissen führen kann, weil die Nutzungs*intensität* darin keine Berücksichtigung findet“ [89, Seite 720].

5.4.10.2 Besetzungsgrad – *alle MIV-Fahrten*

Der leistungsbezogene und der fahrtenbezogene Besetzungsgrad können sich nur dann voneinander unterscheiden, wenn ihre Berechnung auf der Basis von Wegen unterschiedlicher Längen erfolgt. Der Besetzungsgrad als Modellparameter lässt sich also auch als **entfernungsabhängiger** fahrtenbezogener Besetzungsgrad bestimmen.

Als Grundlage hierzu können Werte aus Erhebungen, zum Beispiel der KONTIV, dienen. Nach [117] ergibt sich beispielsweise für die gesamte Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1982 ein fahrtenbezogener Besetzungsgrad von 1,22 für Fahrten bis 0,5 Kilometer Beförderungsweite und ein Wert von 1,29 für Fahrten mit 5,1 bis 10 Kilometer Länge. Der leistungsbezogene Besetzungsgrad über alle Fahrten bis 10 Kilometer beträgt 1,26.

Offensichtlich besteht zwar die angeführte Entfernungsabhängigkeit des Besetzungsgrads; jedoch fällt sie für Entfernungen bis 10 Kilometer offensichtlich relativ schwach aus. Damit die Entfernungsabhängigkeit überhaupt erkennbar wird, muss der Besetzungsgrad mit zwei Nachkommastellen angegeben werden.

Die Berechnung von Besetzungsgraden je Entfernungsklasse auf zwei Nachkommastellen genau ist selbst bei Erhebungen großen Umfangs wegen der dem einzelnen Besetzungsgrad zugrunde liegenden Fallzahlen problematisch. Im obigen Beispiel, das auf der gesamten KONTIV '82 basiert, entspricht ein Unterschied im Besetzungsgrad von 0,01 in einer Entfernungsklasse circa 25 Fahrten als Pkw-Mitfahrer. Um überhaupt Fallzahlen in dieser Größenordnung erreichen zu können, bedarf es bei größeren Beförderungsweiten breiterer Entfernungsklassen von, wie im obigen Beispiel, fünf Kilometern Breite.

Eine stadtspezifische, entfernungsabhängige Bestimmung von Besetzungsgraden aus Erhebungen scheidet damit aus.

Es bleibt deshalb zu prüfen, wie stark sich die Nachfrage im Modell ändert, wenn statt der Berücksichtigung der vergleichsweise schwachen Entfernungsabhängigkeit des Besetzungsgrads ein entfernungsunabhängiger, leistungsbezogener Besetzungsgrad Verwendung findet. Die Sensitivitätsanalyse wird mit dem Programm PNV·SPLIT auf der Basis der genannten Werte aus der KONTIV '82 für die Städte Düsseldorf und Hannover durchgeführt. Eingabewerte für den Besetzungsgrad sind einerseits die entfernungsabhängigen Werte und andererseits – entfernungsunabhängig – der Wert 1,26 nach [117, Tabelle 1.4].

Der berechnete Modal-Split Anteil des MIV ändert sich durch den Ansatz des entfernungsunabhängigen Besetzungsgrads um 0,00 beziehungsweise 0,04 Prozentpunkte. Die Veränderungen bei der mittleren Wegeweite im MIV und der MIV-Reisezeit liegen unter 0,1 Kilometer beziehungsweise 0,1 Minuten.

Anstelle von entfernungsabhängigen Besetzungsgraden kann folglich problemlos mit einem konstanten leistungsbezogenen Besetzungsgrad gearbeitet werden.

Walther stellt ein **Modell** [89] zur Berechnung des entfernungsunabhängigen, leistungsbezogenen Besetzungsgrads als „Funktion ausgewählter Widerstandskomponenten [88] für den motorisierten Individualverkehr“ [89, Seite 721] vor. Für den leistungsbezogenen Besetzungsgrad im Jahr x für die alten Bundesländer gilt:

$$B_{L,x} = 1,3515 + 0,0284 \cdot e^{w_{x-2}} \quad (5.15)$$

mit

w_{x-2} : Nutzungswiderstand im Jahr $(x-2)$

Der Nutzungswiderstand als Eingangsgröße ergibt sich anhand der Teilwiderstände, „die aus den Pkw-Grundkosten und den Treibstoffkosten resultieren“ [89, Seite 721] pro Pkw-Kilometer zu:

$$w_x = \frac{K_{\text{Betr},x} + \frac{V_x \cdot P_x}{100}}{\alpha_B \cdot E_x} \quad [w_x] = \frac{\text{WE}}{\text{Pkw} - \text{km}} \quad (5.16)$$

mit

$K_{\text{Betr},x}$: Betriebskosten gemäß Kapitel 5.4.9 [$K_{\text{Betr},x}$] = DM / Pkw-km

V_x : Kraftstoffverbrauch [V_x] = l / 100 km

$$V_x = 0,85 + 9,1843 \cdot P_x^{-0,3954}$$

P_x : Kraftstoffpreis gemäß Kapitel 5.4.8 [P_x] = DM / l

α_B : Äquivalenzfaktor für Betriebskosten $\alpha_B = 0,43$

E_x : Einkommen gemäß Kapitel 5.3 [E_x] = DM / Minute

Im Stadtverkehr fallen Reaktionen des Besetzungsgrades auf Veränderungen des Nutzungswiderstands geringer aus als beim Gesamtverkehr:

$$B_{L, \text{Stadt}, x} = (0,8508 - 0,0062 \cdot w_{x-2}) \cdot B_{L,x} \quad (5.17)$$

5.4.10.3 Besetzungsgrad – Freizeitverkehr

Zum Freizeitverkehr liegt relativ wenig Datenmaterial vor. Verfahren zur Berechnung des leistungsbezogenen Besetzungsgrads im Freizeitverkehr sind dem Verfasser nicht bekannt.

Anhand von sechs Erhebungen ([154], [158], [160], [161], [162], [169]) aus den Jahren 1989 bis 1991 lassen sich stadspezifische Besetzungsgrade nicht nur über *alle MIV-Fahrten* sondern auch für die *Freizeitfahrten* leistungsbezogen bestimmen. Im Schnitt beträgt das Verhältnis der leistungsbezogenen Besetzungsgrade für die Fahrten der Stadtbewohner innerhalb ihrer Stadt

$$\frac{B_{L, \text{Freizeitfahrten}}}{B_{L, \text{alle Fahrten}}} = 1,2 \quad (5.18)$$

mit einer Standardabweichung von 0,047.

Da keine geeigneten Grundlagen zur stadtsspezifischen Bestimmung des leistungsbezogenen Besetzungsgrads im Freizeitverkehr zur Verfügung stehen, wird er aufgrund der geringen Standardabweichung anhand der Gleichung (5.18) aus dem leistungsbezogenen Besetzungsgrad für *alle MIV-Fahrten* berechnet. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass eine Abweichung beim Besetzungsgrad im Freizeitverkehr von 0,05 zu einer Änderung des Modal-Split Anteils des MIV von 0,25 Prozentpunkten führt. Die Sensitivität ist damit deutlich geringer als bei der Betrachtung *aller Wege* und vor dem Hintergrund der in den zugrunde liegenden Erhebungen erreichbaren Genauigkeit beim Modal-Split (vergleiche Kapitel 6.4.1) unkritisch.

5.4.10.4 Zusammenfassung und Beispiel

Der Besetzungsgrad im MIV nimmt in der Regel mit steigender Wegeweite zu. Der Besetzungsgrad als Modellparameter sollte deshalb möglichst wegeweitenabhängig und stadtsspezifisch zur Verfügung stehen.

Wegen des dazu erforderlichen Erhebungsumfangs sind solche Werte allerdings nicht verfügbar. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Verwendung eines konstanten leistungsbezogenen Besetzungsgrads anstelle von entfernungsabhängigen Besetzungsgraden kaum Einfluss auf die Modellergebnisse hat.

Entfernungsunabhängige, leistungsbezogene Besetzungsgrade für Städte können anhand eines Modells von Walther berechnet oder aus Erhebungen bestimmt werden.

Der leistungsbezogene Besetzungsgrad für den *Freizeitverkehr* lässt sich, sofern für eine Stadt keine Erhebungen vorliegen, aus dem stadtsspezifischen Wert für *alle MIV-Fahrten* und einem Umrechnungsfaktor abschätzen. Dabei eventuell auftretende Ungenauigkeiten haben kaum Einfluss auf den berechneten Modal-Split.

Als Beispiel wird in Tabelle 5.19 der leistungsbezogene Besetzungsgrad für Düsseldorf anhand des Modells nach Walther bestimmt und dem Wert aus der stadtbezogenen Erhebung gegenübergestellt.

Zeile	Kenngröße	Quelle bzw. Berechnung	Werte für Düsseldorf '90
⟨1⟩	maßgebliches Jahr	Erhebungsjahr - 2	1988
⟨2⟩	Betriebskosten '88	[63]	0,155 DM/km
⟨3⟩	mittlerer Flottenverbrauch '88	[90]	10,2 l/100 km
⟨4⟩	Benzinpreis '88	[102]	0,92 DM/l
⟨5⟩	maßgebendes Einkommen '88	Kapitel 5.3	5095,95 DM/mon
⟨6⟩	Nutzungswiderstand '88	Gleichung (5.16)	1,136 WE
⟨7⟩	leistungsbezogener Besetzungsgrad '90	Gleichung (5.17)	1,21
⟨8⟩		[158]	1,23

Tabelle 5.19: Formeln und Beispiel zur Festlegung des leistungsbezogenen Besetzungsgrads – alle Wege

5.4.11 Komfort

Nach [91] fließt der Komfort über eine Note mit einer Skala von Eins bis Fünf in die Widerstandsberechnung ein (vergleiche Kapitel 2.3.2). Diese Note für den Komfort ist eine Teilnote der die Angebotsqualität vollständig beschreibenden Gesamtnote für den MIV.

Falls keine stadtsspezifischen Erhebungen zur Bewertung des Komforts vorliegen, lässt sich die Komfortnote analog zu [91, Seite 24] abschätzen. Für den MIV liegt sie üblicherweise zwischen 1,3 und 2,0. Wegen des geringen Gewichts der Komfortnote von nur 10 Prozent wirken sich kleinere Fehler bei der Einschätzung kaum auf die Gesamtnote aus.

5.5 Öffentlicher Personennahverkehr

5.5.1 Zu- und Abgangszeit

5.5.1.1 Berechnungsverfahren

Die Zu- und Abgangszeiten beschreiben die örtliche Verfügbarkeit des ÖPNV. Da der Weg von einer Haltestelle zu einem Ziel die gleiche Länge hat wie der Weg von diesem Ziel zurück zur gleichen Haltestelle, nehmen Zu- und Abgangszeit bezogen auf ein Gebiet, zum Beispiel die Innenstadt, gleiche Werte an. Kleinere Unterschiede zwischen den Zeiten für Hin- und Rückweg, zum Beispiel infolge einer zusätzlich erforderlichen Straßenüberquerung, heben sich im Mittel auf. Im Weiteren wird der Einfachheit halber nur der Begriff „Zugangszeit“ verwendet.

Walther / Klinkenberg [87] stellen ein Verfahren zur gebietsspezifischen Berechnung der Zugangszeit aus der Haltestellendichte vor. Unter der Annahme, dass der Einzugsbereich jeder Haltestelle im Gebiet die gleiche Größe hat, ergibt sich aus der bebauten Fläche des Gebiets und der Anzahl der Haltestellen der Einzugsbereich je Haltestelle. Daraus lässt sich der Radius r desjenigen Kreises bestimmen, der die gleiche Fläche wie das Einzugsgebiet aufweist. Unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Quellen beziehungsweise Ziele über das Einzugsgebiet, ergibt sich der mittlere Luftlinienabstand zwischen der Haltestelle und den Zielen zu $\frac{2}{3}r$. Bei einer Fußgängergeschwindigkeit von 75 Metern pro Minute (Kapitel 5.1) folgt daraus die Zugangszeit:

$$t_{F, \text{Luftlinie}} = \frac{2}{3 \cdot \sqrt{\pi} \cdot v_F} \sqrt{\frac{A}{N}}$$

$$= 5,015 \cdot \sqrt{\frac{A}{N}} \quad [A] = \text{km}^2 \quad [t_{F, \text{Luftlinie}}] = \text{min} \quad (5.19)$$

mit

- v_F : Fußgängergeschwindigkeit
- A : bebauter Fläche des Einzugsgebiets
- N : Anzahl der Haltestellen im Gebiet

Die tatsächlich erforderliche Zugangszeit ergibt sich anhand des Umwegfaktors für Fußwege zu Haltestellen des ÖPNV [86, Seite 54] zu:

$$t_F = t_{F, \text{Luftlinie}} \cdot U_F \quad (5.20)$$

mit

$$U_F = 1 + 5,841 \cdot e^{-1,95 \cdot l_H^{0,1}} \quad [l_H] = \text{m} \quad (5.21)$$

wobei

- l_H : Luftlinienentfernung zwischen Haltestelle und Ziel

Für die Berechnung sollte nur die bebaute Fläche angesetzt werden, da in der Regel nur sie nennenswertes Verkehrsaufkommen generiert. Für nicht auf Straßenniveau verkehrende Verkehrssysteme, zum Beispiel die U-Bahn, kommt zu der mit Gleichung (5.20) berechneten Zugangszeit ein Zuschlag für das Treppensteigen von circa einer halben Minute hinzu.

Sofern die reisezweckspezifischen Abweichungen von der so ermittelten Zugangszeit gering ausfallen, werden sie vernachlässigt.

5.5.1.2 Zusammenfassung und Beispiel

Das vorgestellte Verfahren nach Walther ermöglicht die Berechnung von Zu- und Abgangszeiten des ÖPNV. Eingangsgrößen sind die Haltestellendichte sowie ein Zeitzuschlag für den Zugang zu Haltestellen, die sich nicht auf Straßenniveau befinden.

Ein Beispiel zur Berechnung der Zu- beziehungsweise Abgangszeit für das Zentrum von Düsseldorf enthält Tabelle 5.20.

Zeile	Kenngröße	Quelle bzw. Berechnung	Werte für Düsseldorf '90
⟨1⟩	Fläche A des Gebiets	Stadtplan	1,13 km ²
⟨2⟩	Anteil bebauter Fläche	Stadtplan	83 %
⟨3⟩	Anzahl N der Haltestellen	Stadtplan	10
⟨4⟩	t_{Luftlinie}	Gleichung (5.19)	1,54 min
⟨5⟩	Umwegfaktor U_F	Gleichung (5.21)	1,254
⟨6⟩	Zuschlag Treppensteigen	0,5 min · Anteil niveaufrei	0,24 min
⟨7⟩	Zugangszeit t_{F,an}	⟨4⟩ · ⟨5⟩ + ⟨6⟩	2,2 min

Tabelle 5.20: Formeln und Beispiel zur Berechnung der Zu- und Abgangszeit im ÖPNV für die Innenstadt

5.5.2 Fahrzeugfolgezeit, Beförderungszeit und Umsteigezeit

Die Fahrzeugfolge-, Beförderungs- und Umsteigezeiten lassen sich den Fahrplänen der öffentlichen Verkehrsbetriebe entnehmen. Alle drei Reisezeitkomponenten bleiben meist nicht über den ganzen Tag und die gesamte Woche gleich. Aus den tageszeit- und wochentagsabhängigen Werten einer Reisezeitkomponente muss wie in Kapitel 5.1 beschrieben jeweils ein gegebenenfalls reisezweckspezifischer Wert pro Reisezeitkomponente als Angebotskenngröße ermittelt werden. Die Berechnungsmethode ist für alle drei Reisezeitkomponenten gleich, so dass es ausreicht, sie am Beispiel einer Komponente, hier der Fahrzeugfolgezeit, zu beschreiben.

Während die Zugangs- und Abgangszeiten die räumliche Verfügbarkeit des ÖPNV beschreiben, gibt die Fahrzeugfolgezeit die zeitliche Verfügbarkeit an. Zur Bestimmung der (reisezweckspezifischen) Fahrzeugfolgezeit lässt sich die gesamte Woche üblicherweise in mehrere – bezüglich der Fahrzeugfolgezeit homogene – Stunden- und Minuten-Gruppen einteilen.

Für jede Stunden- und Minuten-Gruppe dient der jeweilige Wartewiderstand zur Beschreibung der Angebotsqualität. Diese tageszeit- und wochentagsbezogenen Werte werden über die (reisezweckspezifische) Verteilung der Nachfrage auf die Stunden- und Minuten-Gruppen zu einem (reisezweckspezifischen) Wartewiderstand zusammengefasst.

Als Beispiel enthält Tabelle 5.21 diese Rechnung für eine Relation, auf der eine Buslinie verkehrt.

bezüglich t_{FF} homogene Stunden- und Minuten-Gruppen	t_{FF}	t_w	w_w	Anteile	
				alle Wege	Freizeit- wege
MF 9-15 h; Sa 6-15 ¹⁵ h	20 min	6,5 min	43,1 WE	35,0 %	14,5 %
MF 6-9 h, 15-20 h	15 min	5,7 min	28,9 WE	45,3 %	40,0 %
MF ab 20 h; Sa ab 15 ¹⁵ h; So	30 min	7,3 min	67,2 WE	19,6 %	45,5 %
gewichteter Mittelwert	alle Wege		41,5 WE		
	Freizeitwege		48,4 WE		
MF: montags - freitags; Sa: samstags; So: sonn- und feiertags					

Tabelle 5.21: Beispiel zur Berechnung der reisezweckspezifischen Fahrzeugfolgezeit als Angebotskenngröße

5.5.3 Komfort

Sofern keine stadtspezifischen Erhebungen zur Bewertung des Komforts vorliegen, ist – wie auch im MIV – analog zu [91] eine Komfortnote zwischen eins und fünf abzuschätzen. Für den ÖPNV liegt sie unabhängig vom Reisezweck üblicherweise zwischen 2,7 und 3,3.

5.5.4 Pünktlichkeit

5.5.4.1 Pünktlichkeit – *alle Fahrten*

Walther [88] hat unter anderem zu jeder Reisezeitkomponente im ÖPNV unterschiedliche Zeitbewertungsfunktionen für die verschiedenen ÖPNV-Mittel Bus/Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn hergeleitet (vergleiche Kapitel 2.3.2); „darin spiegeln sich die unterschiedlichen Qualitätsniveaus der genannten ÖPNV-Mittel wieder“ [88, Seite 19]. „Der unterschiedliche Verlauf der ZB_W -Funktionen für die einzelnen Verkehrsmittel ist durch die generellen Attraktivitätsniveau-Abstufungen der Verkehrssysteme erklärbar, nach einer eingehenden Analyse der Untersuchungen von Bowman/Turnquist [12] aber insbesondere durch die systemspezifischen Pünktlichkeitsniveaus.“ [88, Seite 24]

Die Pünktlichkeit spielt für die Zeitbewertung vor allem bei der Wartezeit eine große Rolle und findet über die Festlegung des Verkehrsmittels Berücksichtigung.

5.5.4.2 Pünktlichkeit – *Freizeitfahrten*

5.5.4.2.1 Ziel

Für die ausschließliche Betrachtung von Freizeitfahrten bleibt zu prüfen, ob vom Verkehrsteilnehmer ein pünktlicherer ÖPNV angetroffen wird. Bowman/Turnquist [12] beschreiben die Verspätung anhand der Standardabweichung gegenüber der Sollabfahrtszeit. Ziel ist also festzustellen, ob Unterschiede zwischen der mittleren Standardabweichung bezogen auf *alle Fahrten* und der Standardabweichung für *Freizeitfahrten* auftreten.

5.5.4.2.2 Erhebungen

Dafür müssen Daten zur Pünktlichkeit differenziert nach Tageszeit und Wochentag vorliegen. Solche Daten können rechnergestützte Betriebsleitsysteme liefern. Rechnergestützte Betriebsleitsysteme sind jedoch vorwiegend für die Betriebssteuerung und nicht für die strategische Analyse des Betriebs, zum Beispiel zur Betriebsplanung, konzipiert. Sofern überhaupt Auswerteprogramme für die riesigen Datenmen-

gen existieren, lassen sich mit den oft älteren Programmen nur bestimmte Kennwerte des Betriebsgeschehens ermitteln. Ferner fallen sowohl die Rohdaten als auch gegebenenfalls berechnete Kennwerte unter Umständen unter das Betriebsgeheimnis, so dass sie nicht grundsätzlich zugänglich sind.

Für die vorliegende Untersuchung gelang es, Auswertungen auf Halbstundenbasis in graphischer Form für vier wesentliche Strecken im Netz von Wiesbaden zu erhalten. Sie umfassen insgesamt 2248 Kurse und liefern den Mittelwert sowie eine „80 Prozent-Obergrenze“. Bei dieser Grenze handelt es sich um die Fahrplanabweichung, die die pünktlichsten 90 Prozent aller Kurse unterschreiten.

5.5.4.2.3 Verfahren zur Abschätzung der Standardabweichung

Sofern, wie auch bei diesen Daten, die Standardabweichung gegenüber dem Mittelwert oder der Soll-Fahrplanlage nicht vorliegt, muss sie aus den gegebenen Daten zur Verteilung der Ankünfte der Kurse berechnet werden. Unter Vernachlässigung eventueller Einflüsse durch Ampeln sind die Ankünfte negativ exponential verteilt.

Wie die Daten belegen (vergleiche auch Tabelle 5.22) kommen Fahrten vor Plan – im Gegensatz zum Personenverkehr bei der Eisenbahn – nicht selten vor. Damit ergibt sich die in Abbildung 5.9 dargestellte Verteilungsfunktion. Sie berücksichtigt, dass die Kurse mit einer Wahrscheinlichkeit von $(1-p_{v1}-p_{v2})$ pünktlich verkehren.

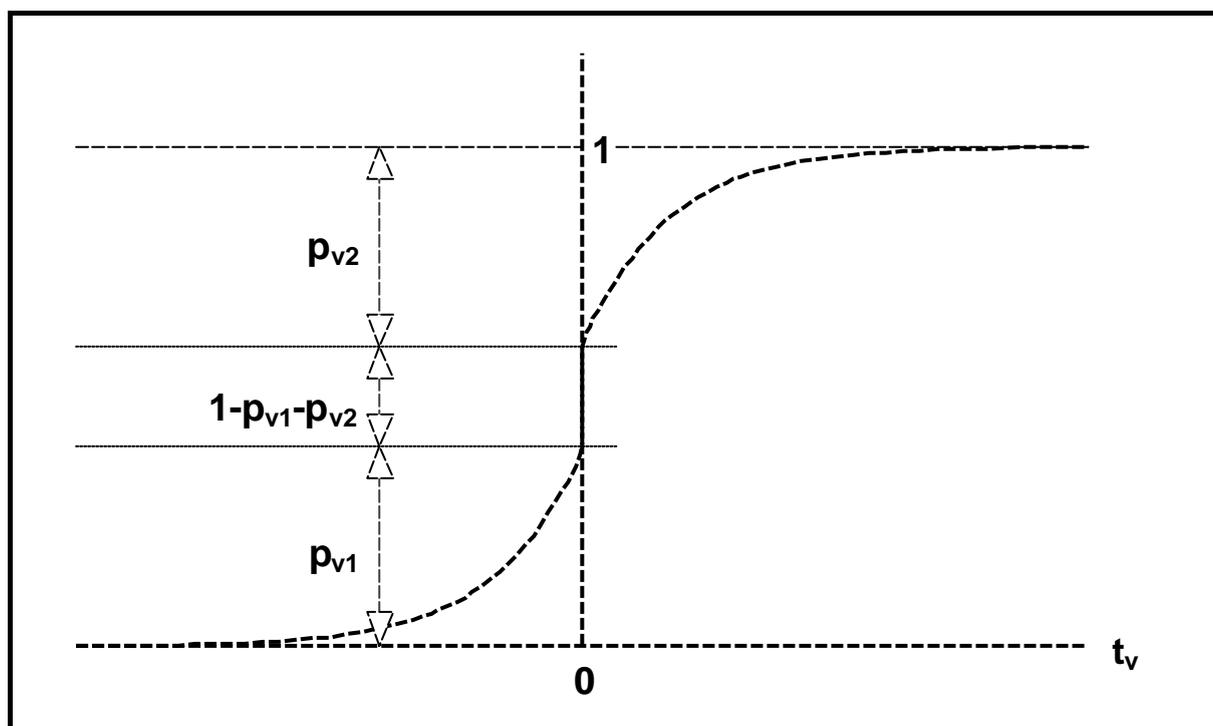


Abbildung 5.9: Verteilungsfunktion der Fahrzeugankünfte an einer Haltestelle

Die Verteilungsfunktion $F(t_v)$ lautet:

$$F(t_v) = \begin{cases} p_{v1} \cdot e^{\frac{t_v}{\bar{t}_{v1}}} & \text{für } t_v < 0 \\ 1 - p_{v2} \cdot e^{-\frac{t_v}{\bar{t}_{v2}}} & \text{für } t_v > 0 \end{cases}$$

mit

t_v : Fahrplanabweichung

p_{v1} : Wahrscheinlichkeit, dass ein Kurs vor Plan verkehrt

p_{v2} : Wahrscheinlichkeit, dass ein Kurs Verspätung hat

\bar{t}_{v1} : mittlere Verfrühung der verfrühten Kurse

\bar{t}_{v2} : mittlere Verspätung der verspäteten Kurse

Ferner gilt:

$$\bar{t}_v = p_{v1} \cdot \bar{t}_{v1} + p_{v2} \cdot \bar{t}_{v2}$$

mit

\bar{t}_v : mittlere Fahrplanabweichung aller Kurse

Das Quadrat der Standardabweichung gegenüber dem Mittelwert \bar{t}_v beträgt:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{t}_v)^2 \cdot f(x) \, dx \\ &= 2 \cdot (p_{v1} \cdot \bar{t}_{v1}^2 + p_{v2} \cdot \bar{t}_{v2}^2) - (2 - p_{v1} - p_{v2}) \cdot \bar{t}_v^2 \end{aligned}$$

Die Funktion $F(t_v)$ nimmt für sehr große Verfrühungen kleine positive Werte an. Da sehr große Verfrühungen in der Realität nicht auftreten, werden Verfrühungen mit der angegebenen Verteilung leicht überschätzt.

Allerdings bewerten die Verkehrsteilnehmer Verfrühungen wesentlich negativer als Verspätungen. Verspätungen führen zu einer um meist wenige Minuten verlängerten Wartezeit. Erreicht ein Verkehrsteilnehmer hingegen einen verfrühten Kurs nicht, bedeutet das für ihn eine zusätzliche Wartezeit ungefähr in Höhe der Fahrzeugfolgezeit. Die negative Bewertung von Verfrühungen durch die Verkehrsteilnehmer fällt

daher sehr hoch aus. Verfrühungen werden zwar mit der Verteilungsfunktion überschätzt, tatsächlich auftretende Verfrühungen aber auch vom Verkehrsteilnehmer negativer bewertet als Verspätungen. Die Verteilungsfunktion erscheint deshalb gerechtfertigt.

Die angegebene Verteilungsfunktion enthält vier Unbekannte. Die vorliegenden Daten liefern mit dem Mittelwert und der 80 Prozent-Obergrenze nur zwei Kenngrößen der Verteilungsfunktion. Die Verteilung nach Abbildung 5.9 lässt sich aus diesen Daten folglich nicht bestimmen, so dass auf die Gauß'sche Normalverteilung zurückgegriffen werden muss:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

mit

μ : Mittelwert

σ : Standardabweichung gegenüber dem Mittelwert

Diese Verteilung weist nur zwei Parameter auf, erreicht ihr Maximum bei $x = \mu$ und fällt – für im ÖPNV sinnvolle Werte – beidseitig des Maximums steil ab. Wie auch bei der Verteilung nach Abbildung 5.9 können größere Verfrühungen auftreten.

Zusätzlich zur erwähnten hohen negativen Bewertung von Verfrühungen stellt sich der Anteil der hohen Verfrühungen bei realistischen Werten als gering heraus. Bei einer nach Tabelle 5.22 und [12] vergleichsweise großen Standardabweichung von 2,0 Minuten und einer mittleren Fahrplanabweichung von +1 Minute haben gemäß der Normalverteilung nur 1,15 Prozent aller Fahrten mehr als drei Minuten Verfrühung. Die Existenz großer Verfrühungen aufgrund der Funktionsform erweist sich damit als unkritisch.

5.5.4.2.4 Berechnung der Standardabweichung gegenüber der Soll-Fahrplanlage

Die zur Auswertung vorgesehenen, bereits beschriebenen Daten zu Wiesbaden enthalten aufgrund der im Auswerteprogramm des rechnergestützten Betriebsleitungssystems vordefinierten Ausgabemasken Angaben über die Verteilung der beobachteten Beförderungszeiten und keine haltstellenbezogenen Größen zur Ankunftsverteilung. Um dennoch Aussagen zu der gesuchten Verteilung der Ankünfte treffen

zu können, werden nur Relationen, die an einer Endhaltestelle beginnen, betrachtet. Unter der Annahme, dass alle Kurse die Endhaltestelle pünktlich verlassen, entsprechen die Abweichungen von der Soll-Beförderungszeit den Abweichungen von der Soll-Abfahrtszeit.

Da das Auswerteprogramm die Daten in graphischer Form liefert, musste die Auswertung von Hand erfolgen, weshalb die Anzahl der untersuchten Korridore auf vier begrenzt ist. Aus den einzelnen Mittelwerten und den über die Normalverteilung bestimmten Standardabweichungen ergeben sich anhand von Tages- und Wochen-ganglinien die in Tabelle 5.22 angegebenen Werte für die Ist-Fahrzeit und die Standardabweichung jeweils für *alle Wege* und für die *Freizeitwege*.

		Strecke 1	Strecke 2	Strecke 3	Strecke 4
$t_{B,Ist}$	alle Wege	11,6	15,0	16,7	23,3
	Freizeitwege	11,4	15,0	16,1	22,4
$t_{B,Soll}$	alle Tage	11,0	14,0 ¹⁾	15,0	24,0
Standard- abweichung s bzgl. $t_{B,Ist}$	alle Wege	2,2	0,9	1,0	1,5
	Freizeitwege	2,5	0,6	0,9	1,5
Standard- abw. $s_{t_{B,Soll}}$ bzgl. $t_{B,Soll}$	alle Wege	2,2	1,4	2,0	1,6
	Freizeitwege	2,5	1,2	1,4	2,2
$s_{Freizeitwege} / s_{alle Wege}$		1,1	0,9	0,7	1,3
¹⁾ Soll-Fahrzeit sonntags: 13 min Angaben in Minuten $t_{B,Ist}$: Ist-Beförderungszeit $t_{B,Soll}$: Soll-Beförderungszeit					

Tabelle 5.22: Gegenüberstellung der Pünktlichkeit bei *allen Wegen* und den *Freizeitwegen*

Als Kenngröße zur Beschreibung der Pünktlichkeit verwendet Walther [88] unter Bezug auf [12], wie erwähnt, die Standardabweichung gegenüber der Soll-Abfahrtszeit, bei den vorliegenden Daten also gegenüber der Soll-Beförderungszeit.

Diese Standardabweichung lässt sich bestimmen aus:

$$\begin{aligned}\sigma_{t_{B, \text{Soll}}}^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - t_{B, \text{Soll}})^2 \cdot f(x) \, dx \\ &= \sigma^2 + (\mu - t_{B, \text{Soll}})^2\end{aligned}$$

mit

$\sigma_{t_{B, \text{Soll}}}$: Standardabweichung gegenüber der Soll-Beförderungszeit

σ : Standardabweichung gegenüber dem Mittelwert μ der Ist-Beförderungszeit

Auch die Kenngröße $\sigma_{t_{B, \text{Soll}}}$ ist in Tabelle 5.22 getrennt für *alle Wege* und die *Freizeitwege* ausgewiesen. Das Verhältnis der beiden Standardabweichungen je Korridor beschreibt den Unterschied zwischen *allen Wegen* und den *Freizeitwegen*. Es zeigt sich, dass sich diese Unterschiede im Mittel aufheben. Aus den vorliegenden Daten lassen sich folglich keine nennenswerten Unterschiede hinsichtlich der vom Verkehrsteilnehmer bei *allen Wegen* beziehungsweise bei *Freizeitwegen* wahrgenommenen Pünktlichkeit feststellen.

Falls aufgrund eines verbreiteteren Einsatzes und einer Weiterentwicklung der Auswerteprogramme längerfristig eine breitere Datenbasis für unterschiedliche Städte zur Verfügung steht, ist eine weitergehende Analyse anzustreben.

5.5.4.2.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde geprüft, ob sich die Pünktlichkeit im *Freizeitverkehr* nennenswert von der Pünktlichkeit bezogen auf *alle Wege* unterscheidet.

Als Kenngröße zur Quantifizierung der Pünktlichkeit dient die Standardabweichung gegenüber der Soll-Abfahrtszeit. Zur Berechnung der Standardabweichung aus erhobenen Daten zur Pünktlichkeit wurden zwei Verteilungsfunktionen für Fahrplanabweichungen vorgestellt, hinsichtlich der Datenverfügbarkeit analysiert und diskutiert.

Die Auswertung von Daten zu Wiesbaden anhand einer dieser Verteilungsfunktionen lässt keine nennenswerten Unterschiede hinsichtlich des vom Verkehrsteilnehmer angetroffenen Pünktlichkeitsniveaus zwischen den *Freizeitwegen* und *allen Wegen* erkennen.

5.5.5 Kosten

5.5.5.1 Kosten – alle Fahrten

Fahrtkosten können sowohl bezogen auf eine Fahrt als auch bezogen auf eine Zeiteinheit angegeben werden. Für den größten Teil aller Fahrten im ÖPNV werden Zeitkarten, insbesondere Monatskarten, als Fahrausweis gewählt (siehe zum Beispiel [131] oder [112, Seite 644]). Walther gibt die Kosten für ÖPNV-Fahrten deshalb in der Einheit „DM pro Monat“ an.

Es ist also die geeignete Kenngröße zur Bestimmung der mittleren Kosten für ÖPNV-Fahrten in der Einheit „DM pro Monat“ zu ermitteln. Dazu müssen für die wichtigsten Fahrausweisarten jeweils sowohl die Preise als auch die Anzahl der durchgeführten Fahrten bestimmt werden. Da die Kenngröße nicht nur für eine Stadt oder einen Stadttyp gelten soll, müssen Daten allgemeineren Charakters Verwendung finden.

Für die Preise je Fahrausweisart existiert eine Empfehlung des Deutschen Städtetags et al. [110, Seite 18]. Die darin enthaltenen Mittelwerte für die wichtigsten Fahrausweisarten gibt Tabelle 5.23 wieder. Es handelt sich dabei nicht um Angaben in DM oder Euro, sondern um auf den Preis einer Tageskarte normierte Werte.

Fahrausweisart	Preis pro Fahrkarte	Nutzungshäufigkeit	Preis pro Fahrt	Fahrten '98 in Mio.
Einzelkarten Erw.	0,55	1	0,55	1426,7
Monatskarten	16,5	64,1	0,26	2878,0
Monatskarten Azubi	12,5	76,0	0,16	2510,1
Schwerbehindertenausweis	0	-	0	552,2
Freifahrausweise	0	-	0	121,1
gewichtetes Mittel	0,26			
Quelle	[110, S. 18]	vgl. Text		[112]

Tabelle 5.23: Berechnung des mittleren Preises pro Fahrt im ÖPNV

Um die Preise von Zeitkarten und Einzelfahrausweisen vergleichen zu können, werden die Preise auf eine einzelne Fahrt bezogen bestimmt. Die dazu erforderliche mittlere Nutzungshäufigkeit ergibt sich für Monatskarten ohne Zielgruppenbeschränkung aus Abbildung 5.10 über die Gewichtung mit einer Wegweiten-Häufigkeitsverteilung. Die Nutzungshäufigkeit von Monatskarten für Auszubildende liegt nach Angaben aus einer Datensammlung des Verkehrswissenschaftlichen Instituts um 18,5 Prozent über der Nutzungshäufigkeit der Monatskarten ohne Zielgruppenbeschränkung. Für Schwerbehinderten- und Freifahrausweise bedarf es keiner Ermittlung der Nutzungshäufigkeit um den Preis pro Fahrt zu bestimmen.

Die mittleren Kosten über alle Fahrausweisarten für eine Fahrt mit dem ÖPNV ergeben sich als das mit den Fahrtenanzahlen gewichtete Mittel der Preise pro Fahrt zu 0,26. Dieser Wert entspricht genau dem Preis für eine Fahrt mit einer Monatskarte ohne Zielgruppenbeschränkung. Als Kenngröße zur Bestimmung der mittleren Kosten für ÖPNV-Fahrten eignet sich folglich der Preis der Monatskarte ohne Zielgruppenbeschränkung unter Ansatz der entsprechenden Nutzungshäufigkeit nach Abbildung 5.10.

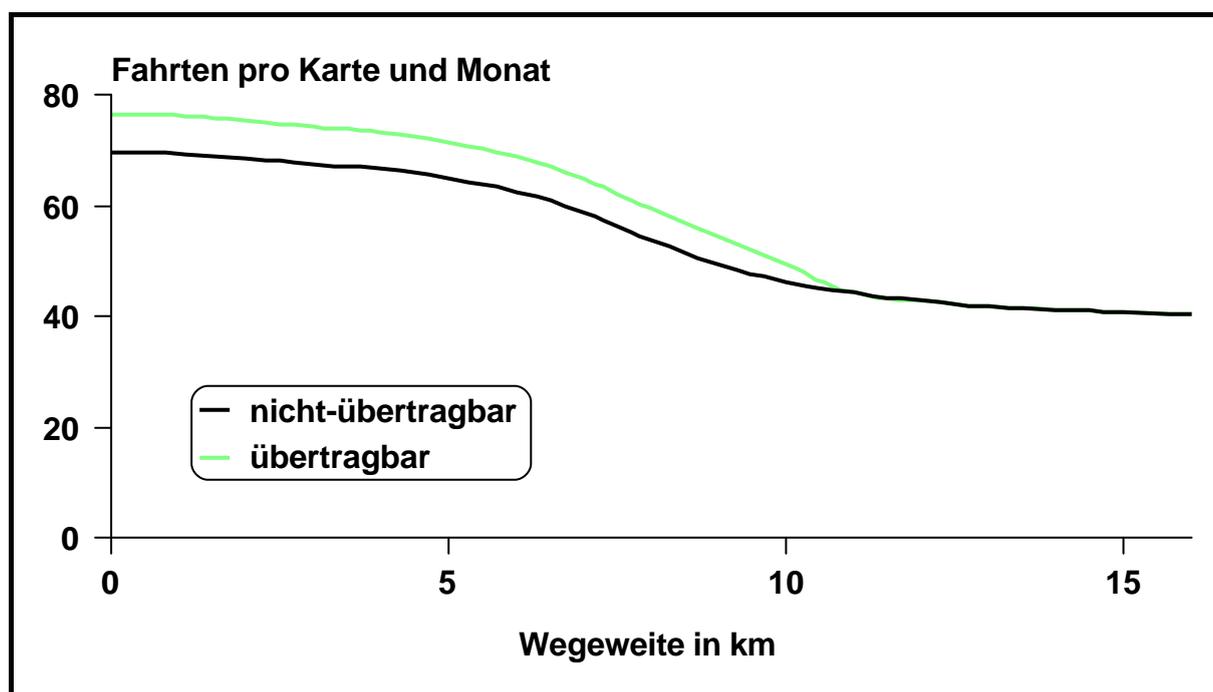


Abbildung 5.10: Nutzungshäufigkeit von ÖPNV-Monatskarten ohne Zielgruppenbeschränkung ([88, Abbildung 6.3])

5.5.5.2 Kosten – *Freizeitfahrten*

5.5.5.2.1 Berechnungsverfahren

Das Kapitel 5.5.5.2 zielt darauf ab festzustellen, ob sich die mittleren Kosten für eine *Freizeitfahrt* im ÖPNV von den Kosten ohne Differenzierung nach Reisezwecken unterscheiden.

Da die Kosten für eine ÖPNV-Fahrt in der Regel mit der Entfernung zunehmen, besteht die Möglichkeit, dass die Unterschiede ebenfalls entfernungsabhängig sind. Folglich müssen Daten zur Verfügung stehen, die den Fahrausweismix in Abhängigkeit von Reisezweck und Entfernung ausweisen. Eine solche Differenzierung erfordert eine große Grundgesamtheit und liegt in aggregierter Form nicht vor. Dank der Unterstützung eines bedeutenden deutschen Verkehrsverbundes stehen für diese Untersuchung disaggregierte Daten zur Verfügung. Sie umfassen etwa 820.000 ÖPNV-Fahrten mit Quelle und/oder Ziel in größeren Städten des Verbundgebiets.

Anhand dieser Daten lassen sich die mittleren Kosten pro Fahrt für jede Preisstufe nach Reisezweck unterschieden ermitteln. Den einzelnen Preisstufen können aus den Daten zudem mittlere Wegeweiten zugeordnet werden. Sowohl die mittleren Kosten als auch die Wegeweiten sind in Tabelle 5.24 zusammengestellt.

Preisstufe	durchschnittlicher Preis in DM			mittlere Wegeweite in km
	alle Wege	Freizeitwege	Verhältnis	
K	1,33	1,37	1,02	2,09
A	1,45	1,57	1,08	4,73
B	2,34	2,66	1,14	7,84
C	4,15	5,02	1,21	16,75

Tabelle 5.24: Mittlere ÖPNV-Kosten und Wegeweiten nach Preisstufen

Die Unterschiede zwischen den Werten für *alle Wege* und für die *Freizeitwege* resultieren aus der Abhängigkeit des Fahrausweismix vom Reisezweck. Abbildung 5.11 gibt das Verhältnis der mittleren Kosten in Abhängigkeit von der Entfernung wieder. Die gefüllten Quadrate stellen die Werte je Preisstufe aus der Erhebung dar.

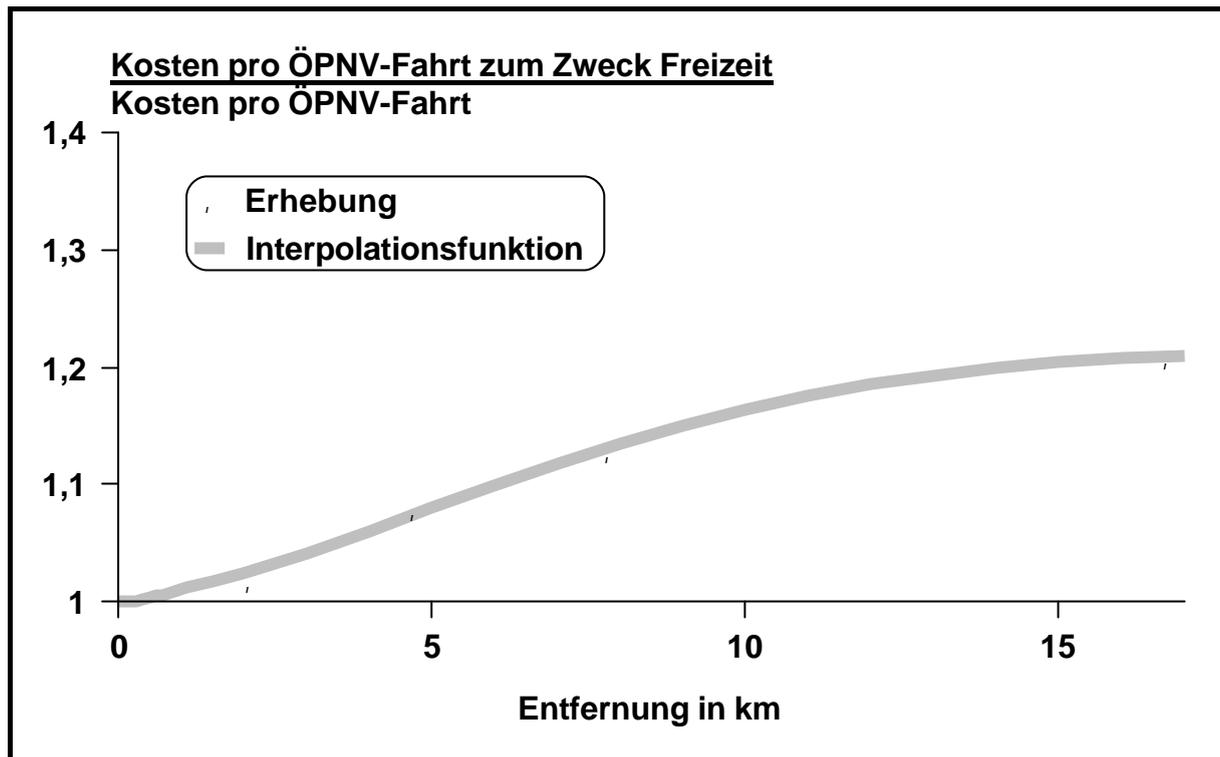


Abbildung 5.11: ÖPNV-Kosten für *Freizeitfahrten* im Verhältnis zu *allen Wegen* als Funktion der Entfernung

Wegen der sehr umfangreichen Grundgesamtheit sind die Punkte in Abbildung 5.11 hervorragend statistisch abgesichert. Um auch für Entfernungen zwischen den Punkten Werte bestimmen zu können, bedarf es einer Interpolationsfunktion.

Da die Unterschiede zwischen dem *Freizeitverkehr* und *allen Fahrten* im Wesentlichen durch die im Freizeitverkehr geringere Bedeutung von Zeitkarten entstehen, wären Kostenverhältnisse unter eins unrealistisch. Deshalb dient anstelle einer Extrapolation für Entfernungen unter zwei Kilometern das Wertepaar (0;1) als weiterer Punkt auf der gesuchten Funktion. Sie ergibt sich damit zu:

$$\frac{K_{\text{ÖPNV, Freizeitfahrten, l}}}{K_{\text{ÖPNV, alle Fahrten, l}}} = 0,947 + \frac{0,272}{1 + 4,417 \cdot e^{-0,287 \cdot l}} \quad (5.22)$$

mit

l: Wegeweite

5.5.5.2 Zusammenfassung und Beispiel

Trotz der hohen Anforderungen an die Datengrundlage ist es gelungen, geeignete Daten mit einer Grundgesamtheit von 820.000 ÖPNV-Fahrten in einem großen deutschen Verkehrsverbund zu beschaffen. Aus diesen Daten konnte in Abhängigkeit von der Entfernung das Verhältnis der mittleren Kosten für eine *Freizeitfahrt* mit dem ÖPNV und den mittleren Kosten pro Fahrt über *alle ÖPNV-Fahrten* bestimmt werden.

Tabelle 5.25 gibt für Düsseldorf die Berechnung der Kosten für eine ÖPNV-Freizeitfahrt anhand dieses Verhältnisses für das Jahr 1990 an.

Wegeweite	ÖPNV-Kosten alle Fahrten	Faktor	ÖPNV-Kosten Freizeitfahrten
⟨1⟩	⟨2⟩	⟨3⟩	⟨4⟩
Quelle bzw. Berechnung	Tarifinformation	(5.22)	⟨2⟩ · ⟨3⟩
0,5 km	55,00 DM/mon	1,0034	55,18 DM/mon
1,1 km	55,00 DM/mon	1,0114	55,63 DM/mon
2,0 km	55,00 DM/mon	1,0250	56,37 DM/mon
3,0 km	55,00 DM/mon	1,0419	57,30 DM/mon
4,0 km	55,00 DM/mon	1,0603	58,31 DM/mon
5,0 km	55,00 DM/mon	1,0796	59,38 DM/mon
6,0 km	55,00 DM/mon	1,0990	60,45 DM/mon
7,0 km	55,96 DM/mon	1,1178	62,55 DM/mon
8,0 km	58,99 DM/mon	1,1353	66,97 DM/mon
9,0 km	62,01 DM/mon	1,1509	71,37 DM/mon

Tabelle 5.25: Formeln und Beispiel zur entfernungsabhängigen Berechnung der Kosten für eine Freizeitfahrt mit dem ÖPNV (Düsseldorf '90)

5.6 Fußgängerverkehr und Fahrradverkehr

5.6.1 Ziele und Vorgehen

Auch für den Fußgänger- und Fahrradverkehr sind Ansätze zur Berechnung von Kenngrößen des Verkehrsangebots zu entwickeln. Ferner wird angestrebt, die Widerstandsformulierung für die nicht-motorisierten Verkehrsmittel zugunsten einer Formulierung zu erweitern, die der Widerstandsgrundform nach Walther

$$w_t = t[\text{min}] \cdot ZB_t \quad [88, \text{Gleichung (3.1)}]$$

entspricht und die zu den Zeitbewertungsfunktionen für den ÖPNV und den MIV passt. Wegen der Ähnlichkeit der Widerstandsformulierungen für die beiden nicht-motorisierten Verkehrsmittel lassen sich Fußgänger- und Fahrradverkehr gemeinsam behandeln.

Aus der Formulierung des Widerstands (Kapitel 5.6.2) ergeben sich die zur Verkehrsangebotsbeschreibung erforderlichen Kenngrößen. Neue Ansätze zur Berechnung dieser Kenngrößen enthalten die Kapitel 5.6.3 und 5.6.4.

5.6.2 Ansatz für die Widerstandsformulierung

Walther [88] sowie Walther et al. [92] geben die Widerstände für den Fußgänger- und Fahrradverkehr in Abhängigkeit von der Wegeweite als Wertepaare (Wegeweite; Widerstand) oder als Polynom zweiten Grades an.

Wie auch bei den Widerständen für den ÖPNV und den MIV wird im Folgenden nach Kosten- und Reisezeitkomponenten unterschieden.

Für den nicht-motorisierten Individualverkehr haben *Kostenkomponenten* kaum eine Bedeutung. Lediglich im Fahrradverkehr ließe sich entsprechend dem MIV (vergleiche Kapitel 5.4.9) der entfernungsabhängige Teil der Betriebskosten ansetzen. Er ist jedoch vernachlässigbar klein.

Eine *Reisezeitkomponente* stellt die Zeit für den Weg selbst dar. Der Widerstand für diese Zeit muss unter Berücksichtigung der subjektiven Zeitbewertung lauten:

$$t \cdot ZB(t)$$

Die Ermittlung der Zeitbewertungsfunktionen für den Fußgänger- und für den Fahrradverkehr erfolgt in Kapitel 5.6.3.

Die von Walther [88, Seite 39f] als stadtypische Werte eingeführten Faktoren γ , die nur von der Zentralität abhängen, werden zur Modellierung der *stadtspezifischen Eigenschaften des Verkehrsangebots* verwendet und im Weiteren mit „Qualitätsfaktor“ bezeichnet:

$$t \cdot ZB(t) \cdot \gamma$$

Die Entwicklung des neuen Ansatzes zur stadtspezifischen Berechnung der Qualitätsfaktoren γ enthält Kapitel 5.6.4. Die Qualitätsfaktoren sollen ferner zur Berücksichtigung reisezweckspezifischer Unterschiede dienen. Die Unterschiede zwischen dem *Freizeitverkehr* und *allen Wegen* werden in Kapitel 6.5 quantifiziert.

Als weitere Reisezeitkomponenten können verkehrsmittelspezifische *Vor- und Nachbereitungszeiten* auftreten. Dazu zählt im Fahrradverkehr zum Beispiel die Zeit für das Auf- oder Abschließen des Fahrrads. Die Widerstände für diese Nebenzeiten werden für den Fahrradverkehr für Quelle und Ziel zusammen pauschal mit zwei Widerstandseinheiten berücksichtigt. Im Fußgängerverkehr existieren solche Zeitkomponenten nicht.

Da die Nebenzeiten nicht vom stadtspezifischen Verkehrsangebot abhängen, ergibt sich die neue Widerstandsformulierung für den nicht-motorisierten Individualverkehr zu:

$$w = w_0 + t \cdot ZB(t) \cdot \gamma \quad (5.23)$$

mit

$$w_{0,F} = 0 \quad \text{WE für den Fußgängerverkehr}$$

$$w_{0,R} = 2,0 \text{ WE für den Fahrradverkehr}$$

5.6.3 Zeitbewertungsfunktionen

Sowohl für den Fußgängerverkehr als auch für den Fahrradverkehr muss jeweils die Zeitbewertungsfunktion in Gleichung (5.23) bestimmt werden. Sie soll die entfernungsabhängige Verkehrsangebotsbewertung unabhängig von der stadtspezifischen Angebotsqualität quantifizieren.

Als Grundlage für die Ermittlung der Zeitbewertungsfunktionen dienen in sechs Städten der Bundesrepublik Deutschland durchgeführte Erhebungen ([154], [158], [160], [161], [162], [169]), deren Auswertungen den Modal-Split und verkehrsmittelspezifische Wegweiten-Häufigkeitsverteilungen enthalten. Einerseits ergibt sich aus

diesen Größen der Anteil der in einer Entfernungsstufe mit einem Verkehrsmittel zurückgelegten Wege an allen Wegen. Andererseits ermöglichen die in den Kapiteln 5.3 bis 5.5 vorgestellten Ansätze eine zuverlässige Bestimmung der Kenngrößen des Verkehrsangebots für den MIV und den ÖPNV. Aus den Anteilen und diesen Widerständen lassen sich die Widerstände für den Fußgänger- und Fahrradverkehr ermitteln.

Für jede Entfernungsstufe und jede Stadt ergibt sich also pro Verkehrsmittel eine Gleichung. Die Anzahl der verfügbaren Gleichungen beträgt demnach je Verkehrsmittel:

$$\text{Anzahl Gleichungen} = \text{Anzahl Städte} \cdot \text{Anzahl Entfernungsstufen}$$

Jede Gleichung enthält als Unbekannte den Widerstand, der sich aus einem stadtunabhängigen Wert $t\text{-ZB}(t)$ je Entfernungsstufe, dem stadtspezifischen Qualitätsfaktor und dem Widerstand w_0 zusammensetzt. Die Anzahl der Unbekannten beläuft sich folglich auf:

$$\text{Anzahl Unbekannte} = \text{Anzahl Entfernungsstufen} + \text{Anzahl Städte} + 1$$

Bei sechs Städten und sechs Entfernungsstufen in den Erhebungen stehen je Verkehrsmittel 36 Gleichungen nur 13 Unbekannten gegenüber. Das zu lösende Gleichungssystem ist also überbestimmt.

Für die Ermittlung der Zeitbewertungsfaktoren je Verkehrsmittel und Entfernungsstufe wurden fünf unterschiedliche Berechnungsansätze geprüft, von denen drei wegen zu großer Fehleranfälligkeit ausschieden. Die beiden gewählten Berechnungsansätze basieren auf einer iterativen Bestimmung der stadtunabhängigen Anteile des Widerstands mit Anpassung der Qualitätsfaktoren, bei der je Entfernungsstufe alle Städte gleichzeitig betrachtet werden. Der entfernungsabhängige Teil des Widerstands ergibt sich bei dem einen Berechnungsansatz als Mittel über die stadtbezogenen Werte, bei dem anderen Berechnungsansatz als Abschätzung aufgrund von Widerstandsmargen je Stadt.

Da der Anteil von Wegen geringer Weite an allen Wegen hoch ist, liegt ein besonderes Augenmerk auf einer hohen Genauigkeit bei den Widerständen für geringere Entfernungen.

Aus den so bestimmten entfernungsabhängigen Widerstandsanteilen lassen sich – über die Zuordnung der Beförderungszeiten zu den Entfernungsstufen anhand der Geschwindigkeiten gemäß Kapitel 5.1 – die Zeitbewertungsfaktoren für jede Entfer-

nungsstufe ermitteln. Regressionen für die Zeitbewertungsfunktionen beider Verkehrsmittel durch die Werte für die Zeitbewertungsfaktoren mit verschiedenen Funktionsformen zeigen, dass sich die exponentielle Regression am besten zur Beschreibung des Funktionsverlaufs eignet.

Die Zeitbewertungsfunktionen ergeben sich zu:

$$ZB_{Fu\beta} = -0,5647 + 0,5037 \cdot e^{0,0435 \cdot t_{B,F}} \quad (5.24)$$

$$ZB_{Rad} = -0,3885 + 1,7882 \cdot e^{0,0490 \cdot t_{B,R}}$$

mit

$t_{B,F}$: Unterwegszeit im Fußgängerverkehr

$t_{B,R}$: Unterwegszeit im Fahrradverkehr

Die Bestimmtheitsmaße betragen $\hat{r}^2 = 1,00$. Exponentielle Regressionen für den Widerstand selbst erreichen nicht diese hohe Genauigkeit.

Da sich die Zeitbewertungsfunktionen unter anderem aufgrund der Widerstände für den ÖPNV und den MIV ergeben, sind sie mit den Zeitbewertungsfunktionen für die motorisierten Verkehrsmittel nach [88] kompatibel.

5.6.4 Stadtspezifische Qualitätsfaktoren

In diesem Unterkapitel wird eine Methode zur Bestimmung der Qualitätsfaktoren γ , die die stadtspezifische Ausprägung der Qualität des Verkehrsangebots und reisezweckspezifische Merkmale quantifizieren, entwickelt.

[88] und [92] liefern wegen des Fehlens einer weitergehenden Datengrundlage nur Anhaltswerte für die Qualitätsfaktoren in Abhängigkeit von der Zentralität oder der Topographie.

Bracher et al. stellen fest, dass „einerseits ‚harte‘, objektive Faktoren des Verkehrsangebots bzw. der Verkehrsinfrastruktur (*Hardware*) (...) etwa die Hälfte der Radverkehrsnachfrage statistisch zu erklären“ [13, Seite 143] scheinen. „Die übrige Hälfte wird durch unbestimmte Parameter erklärt, die beispielsweise unter dem Stichwort ‚Fahrradklima‘ zusammengefasst (...) wurden.“ [13, Seite 143] Im Fußgängerverkehr dürften unbestimmte Parameter ebenfalls eine Rolle spielen. Der neu zu schaffende Ansatz zur Widerstandsermittlung beim nicht-motorisierten Individualverkehr sollte

deshalb zusätzlich zur Unterwegszeit sowie ihrer subjektiven Bewertung auch weiteren Qualitätseigenschaften Rechnung tragen (vergleiche Kapitel 5.6.3).

Die Stiftung Warentest hat im Jahr 1997 eine Umfrage zum „Gesamteindruck von der Radfahrerfreundlichkeit des Wohnortes“ [82, Seite 95] durchgeführt. Für 60 Städte in der Bundesrepublik Deutschland gibt [82] Noten als arithmetische Mittelwerte auf der Basis von insgesamt 4548 Befragten an.

Die Noten lassen sich nur als erste Näherung einstufen, da vermutlich überproportional viele „Viel-Radler“ geantwortet haben (vergleiche [82, Seite 91]) und im Schnitt lediglich 73 Befragte (mindestens jedoch 25) auf eine Stadt entfallen.

Die Noten aus der Umfrage enthält die Anlage 6 für alle 60 Städte. Ferner gibt die Anlage die Ergebnisse einer Umfrage zur Bedeutung der wichtigsten Qualitätskriterien im Fahrradverkehr wieder.

Für den Fußgängerverkehr stellt Monheim [123] Befragungsergebnisse vor. Sie umfassen die „Bewertung des Weges zu Fuß in der Innenstadt“ [123, Seite 19] an verschiedenen Wochentagen für Aachen, Lübeck und Nürnberg.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Umfrage in Form des ungewichteten arithmetischen Mittels der Werte für die Wochentage enthält Tabelle 5.26.

Um eine mittlere Note je Stadt aus den Angaben der Befragten berechnen zu können, müssen den möglichen Antworten Noten zugeordnet werden (die in der Tabelle angegebenen Notenstufen sind das Ergebnis einer Umfrage im Kollegenkreis). Daraus ergeben sich die angegebenen stadtsspezifischen Noten. Wie diese Noten zeigen, existieren zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den Städten hinsichtlich der Bewertung der Verkehrsangebotsqualität.

Bewertung	Note	Aachen	Lübeck	Nürnberg
sehr angenehm	1	26,7 %	22,5 %	30,5 %
eher angenehm	2,3	64,5 %	51,5 %	53,5 %
eher unangenehm	3,7	7,4 %	22,5 %	13,0 %
sehr unangenehm	5	1,4 %	3,5 %	3,0 %
mittlere Note		2,09	2,42	2,17

Tabelle 5.26: Bewertung der Angebotsqualität im Fußgängerverkehr (nach [123])

Im Folgenden soll diese Einschätzung gegenüber dem Verkehrsangebot in Widerstände umgesetzt werden.

Der Gegenstand der beiden Befragungen für den Fußgänger- und Fahrradverkehr ist der Gesamteindruck. Die Bewertung bezieht sich folglich nicht auf die Qualität einzelner Merkmale sondern des gesamten Verkehrsangebots des jeweiligen Verkehrsmittels.

Die Qualität ist „die Beschaffenheit eines Angebots nach seinen Unterscheidungsmerkmalen gegenüber anderen Angeboten“ [59]. Die Bewertung hängt also nicht nur von dem Verkehrsangebot des benoteten Verkehrsmittels sondern auch von dem der Konkurrenzverkehrsmittel ab.

Zur stadtspezifischen Beschreibung des Verkehrsangebots des benoteten Verkehrsmittels dienen gemäß Kapitel 5.6.2 die Qualitätsfaktoren. Die Bewertung des Verkehrsangebots der konkurrierenden Verkehrsmittel lässt sich über deren Widerstand erfassen. Der die Konkurrenz insgesamt in einer Größe beschreibende Widerstand beträgt somit in Analogie zum Gesamtsystem-Widerstand (Gleichung (4.1)):

$$W_{GS, ohne n} = \frac{\sum_{i \neq n} (A_i \cdot w_i)}{\sum_{i \neq n} A_i} \quad (5.25)$$

mit

n: zu benotendes Verkehrsmittel

Für die Note N_n , die den Gesamteindruck vom Verkehrsmittel n wiedergibt, müsste folglich gelten:

$$N_n = f\left(\frac{\gamma_n}{W_{GS, ohne n}}\right) \quad (5.26)$$

Zur Bestimmung des funktionalen Zusammenhangs werden zahlreiche Werte für das Tripel $(N_n; \gamma_n; W_{GS, ohne n})$ benötigt.

Für den **Fahrradverkehr** beziehen sich die Noten nach [82] jeweils auf die Stadt insgesamt, so dass auch die Größen γ_R und $w_{GS, ohne Rad}$ für die Stadt insgesamt zu bestimmen sind.

Der Widerstand $w_{GS, ohne Rad}$ ergibt sich aus dem Verkehrsangebot der konkurrierenden Verkehrsmittel. Der Parameter γ_R lässt sich – da er die einzige verbleibende Unbekannte in Gleichung (5.23) ist – berechnen, wenn der Modal-Split Anteil des Fahrradverkehrs aus Erhebungen vorliegt.

Die beiden Größen $w_{GS, ohne Rad}$ und γ_R werden in Kapitel 6.3 zur Validierung des Verkehrserzeugungsmodells nach Kapitel 4 ohnehin für zahlreiche Städte, für die auch der Modal-Split zur Verfügung steht, berechnet. Die Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs in Gleichung (5.26) erfolgt deshalb in Kapitel 6.5 anhand dieser Stadtuntersuchungen.

Für den **Fußgängerverkehr** liegen Noten nur zu den in Tabelle 5.26 aufgeführten drei Städten vor. Eine Bestimmung des Ansatzes zur Berechnung des Qualitätsfaktors aus Noten ist daraus nicht möglich. Da jedoch die in diesem Kapitel vorgestellte Methode auch für den Fußgängerverkehr gilt, lässt sich der gesuchte Zusammenhang problemlos bestimmen, sobald geeignete Erhebungen zur Verfügung stehen.

Ist der funktionale Zusammenhang in Gleichung (5.26) bekannt, können für jede Stadt, für die Anlage 6 beziehungsweise die Erhebungen zum Fußgängerverkehr eine Note enthalten, die Qualitätsfaktoren stadtspezifisch berechnet werden.

5.6.5 Zusammenfassung

Für den Fußgänger- und den Fahrradverkehr konnten Zeitbewertungsfunktionen mit großer Genauigkeit hergeleitet werden, die kompatibel mit den Zeitbewertungsfunktionen für den ÖPNV und MIV [88] sind und die gleiche Funktionsform aufweisen. Einen qualitativen Sprung bei der Widerstandsermittlung liefert auch der neue Ansatz zur Umsetzung der Bewertung der Qualität des Verkehrsangebots in Widerstände.

5.7 Fazit

Ein Schwerpunkt der gesamten Arbeit liegt auf der Entwicklung von Ansätzen, die zur Bestimmung der Kenngrößen des Verkehrsangebots als Eingangsgrößen für Verkehrsnachfrageberechnungen dienen. Entsprechend den Anforderungen (vergleiche Kapitel 3.3.6) an die Modellierung der Verkehrsnachfrage werden diese Ansätze nicht nur für den gesamten städtischen Personenverkehr sondern auch reisezweckspezifisch am Beispiel des Freizeitverkehrs entwickelt.

Für einen Teil der Angebotskenngrößen sind in der Literatur auch hier nutzbare Berechnungsverfahren für *alle Wege* veröffentlicht (vergleiche [87]). Die in dieser Arbeit geschaffenen Ansätze konzentrieren sich auf alle anderen Kenngrößen und die reisezweckspezifischen Unterschiede am Beispiel des Freizeitverkehrs.

Die zuverlässige Bestimmung möglichst aller Eingangsgrößen ist für Verkehrsnachfrageberechnungen von großer Bedeutung, da die Qualität ihrer Ergebnisse davon abhängt. Diejenigen Kenngrößen des Verkehrsangebots, insbesondere im MIV, für deren Bestimmung neue Ansätze geschaffen wurden, haben – wie die Sensitivitätsanalyse (Kapitel 5.2) zeigt – großen Einfluss sowohl auf den berechneten Modal-Split als auch auf den Gesamtsystem-Widerstand. Insofern sind die hier entstandenen Ansätze von großer Bedeutung auch für Verkehrsnachfrageberechnungen.

Unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten ist das Kapitel in dreierlei Hinsicht von Bedeutung.

- Es ist gelungen, mit der Entwicklung der neuen Ansätze (neben verschiedenen ingenieurmäßigen Verfahren) funktionale Zusammenhänge zwischen Größen, die ohne eigene Erhebungen vor Ort vergleichsweise einfach untersuchungsgebietspezifisch bestimmbar sind, und den Merkmalen des Verkehrsangebots herzustellen.
- Da sich zusammen mit den bereits existierenden Berechnungsansätzen jetzt alle Widerstandsparameter stadtspezifisch ermitteln lassen, können ferner die Widerstandsparameter nicht mehr als Stellschrauben (Kalibrierung) für Verkehrsnachfrageberechnung eingestuft werden.
- Die geschaffenen Ansätze ermöglichen erst die zuverlässige Validierung des Verkehrserzeugungsmodells nach Kapitel 4. Ohne diese Ansätze lassen sich bei falscher Einschätzung der Widerstandsparameter auch falsche Modelle vermeintlich validieren (vergleiche Kapitel 2.1.4 und [85]).

Zur Validierung des neuen Verkehrserzeugungsmodells werden folglich für jedes Untersuchungsgebiet alle Widerstandsparameter einheitlich anhand der in diesem Kapitel dargestellten bestehenden oder neu entwickelten Berechnungsansätze bestimmt.

Der Handbuchcharakter des Kapitels ermöglicht die zusammenhängende Darstellung der Berechnungsmethoden für die Kenngrößen des Verkehrsangebots sowohl für die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells als auch als Leitfaden für Verkehrsnachfrageuntersuchungen außerhalb der vorliegenden Arbeit.

6 Modellvalidierung

- 6.1 Ziel und Methode
- 6.2 Vorgehensweise
- 6.3 Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für alle Wege
- 6.4 Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für den Freizeitverkehr
- 6.5 Validierung des Ansatzes zur Berechnung der Qualität im Fahrradverkehr
- 6.6 Abbildungsgenauigkeit
- 6.7 Wesentliche Ergebnisse

6.1 Ziel und Methode

Das Ziel des Kapitel besteht in der Validierung und der nur ein Mal erforderlichen Kalibrierung der Entscheidungsalgorithmen des Verkehrserzeugungsmodells nach Kapitel 4 unter Anwendung der Ansätze zur Berechnung der Widerstandsparameter aus Kapitel 5. Dazu werden für 20 Untersuchungsgebiete die Widerstände berechnet, auf Plausibilität geprüft und Regressionsanalysen zur Modellspezifikation durchgeführt.

Für die Untersuchungsgebiete müssen aus Verkehrserhebungen Werte für die beiden Kenngrößen der Verkehrserzeugung, die Mobilitätsrate der Mobilien M_M und die Verkehrsbeteiligungsquote VB , zur Verfügung stehen. Außerdem ist der korrespondierende Gesamtsystem-Widerstand w_{GS} zu berechnen, so dass je Untersuchungsgebiet ein Wertepaar $(w_{GS}; M_M)$ und ein Wertepaar $(w_{GS}; VB)$ vorliegen. Das bedeutet, dass als Datengrundlage für die Validierung eine größere Anzahl von Gebieten untersucht werden muss. Da die Wertepaare bei deduktivem Vorgehen nicht zum „Raten“ des Modellzusammenhangs dienen, kann die Anzahl der untersuchten Gebiete deutlich geringer ausfallen als bei rein induktivem Vorgehen. Anhand der Wertepaare für die verschiedenen Untersuchungsgebieten lassen sich Regressionen für die Entscheidungsalgorithmen mit den Funktionsformen nach Kapitel 4 durchführen.

Die für die Validierung erforderlichen Daten und benötigten Verfahren werden in Kapitel 6.2 vorgestellt. Hierauf basierend erfolgt die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells getrennt nach *allen Wegen* und den *Freizeitwegen* in den Kapiteln 6.3 und 6.4. Die Widerstände für *alle Wege* (Kapitel 6.3) dienen ferner der induktiven Bestimmung und der Validierung des Zusammenhangs zwischen der Beschreibung des Verkehrsangebots im Fahrradverkehr anhand von Widerständen und der

erhobenen Bewertung der Qualität in Kapitel 6.5. Der im Zusammenhang mit der Validierung durchgeführte Vergleich zwischen erhobenen und berechneten Werten für verschiedene Kenngrößen der Verkehrsnachfrage ermöglicht es, eine Aussage zur Abbildungsgenauigkeit des VIA-Widerstandsmodells zu treffen (Kapitel 6.6).

6.2 Vorgehensweise

6.2.1 Arbeitsschritte

In diesem Kapitel sollen die noch fehlenden Grundlagen für die Validierung unabhängig von der späteren Unterscheidung nach *allen Wegen* und *Freizeitwegen* bereitgestellt werden.

Zuerst sind dazu geeignete Erhebungen zur Verkehrsnachfrage auszuwählen (Kapitel 6.2.2). Zur Berechnung des untersuchungsgebietsspezifischen Gesamtsystem-Widerstands als Eingangsgröße des Verkehrserzeugungsmodells anhand der Ansätze nach Kapitel 5 erfolgt anschließend die Festlegung der Größe der Untersuchungsgebiete und der Art der Abbildung der Raumstruktur (Kapitel 6.2.3). Schließlich werden Möglichkeiten zur Kontrolle der in den Gesamtsystem-Widerstand einfließenden Einzelwiderstände auf Plausibilität aufgezeigt (Kapitel 6.2.4).

6.2.2 Auswahl der Erhebungsdaten

Da die Validierung anhand einer größeren Anzahl von Städten in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt werden soll, müssen stadtspezifische Erhebungen in entsprechendem Umfang vorliegen. Das Jahr der Untersuchungen spielt für die Modellvalidierung keine Rolle, da das Modell für beliebige Zeitpunkte gelten soll und jahresspezifische Angaben zum Verkehrsangebot, der Einkommenssituation etc. über den Gesamtsystem-Widerstand in die Berechnung einfließen.

Es ist jedoch erforderlich, dass für alle Städte die gleiche Methode für Erhebung, Auswertung und Hochrechnung der Angaben in den Fragebögen Verwendung findet. Unterschiede in der Methode können, wie in Kapitel 4.1.2 an Beispielen für die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote erläutert, zu stark unterschiedlichen Werten für die gleiche Kenngröße führen. Erhebungen eignen sich ferner nur dann, wenn sie über die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote hinaus weitere Angaben zur Verkehrsnachfrage, wie Wegweiten-Häufigkeitsverteilungen enthalten.

Diesen Anforderungen entsprechen sowohl das „System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV)“ als auch nach dem sogenannten KONTIV-Design in einer Vielzahl von deutschen Städten durchgeführte Erhebungen.

Das System repräsentativer Verkehrsbefragungen umfasst Erhebungen in zahlreichen Städten in der (ehemaligen) Deutschen Demokratischen Republik mit einem Stichprobenumfang von 1000 Personentagen pro Stadt [5, Seite 26]. Die Erhebungen fanden in den Jahren 1972, 1977, 1982, 1987, 1991, 1994 und 1998 statt. Da die Verkehrssituation in der Deutschen Demokratischen Republik heute keine Relevanz mehr besitzt, wäre eine Validierung des Modells für diese Jahre zwar interessant. Wichtiger ist jedoch eine Validierung anhand der neueren Untersuchungen für die Jahre ab 1991, die 16 bis 26 Städte pro Jahrgang umfassen.

In der Regel eignen sich Verkehrsnachfragemodelle, wie auch das hier entwickelte beziehungsweise angewendete, besonders zur Abbildung von weitgehend konsolidierten Zuständen. Es muss also vor einer Verwendung der SrV-Daten geprüft werden, ob diese Voraussetzung erfüllt ist. Dafür nutzbare, stadtbezogene Zeitreihen liegen für die Beförderungsfälle im ÖPNV aus VÖV-/VDV-Statistiken vor. Abbildung 6.1 gibt diese Zeitreihen am Beispiel der Leipziger Verkehrsbetriebe wieder.

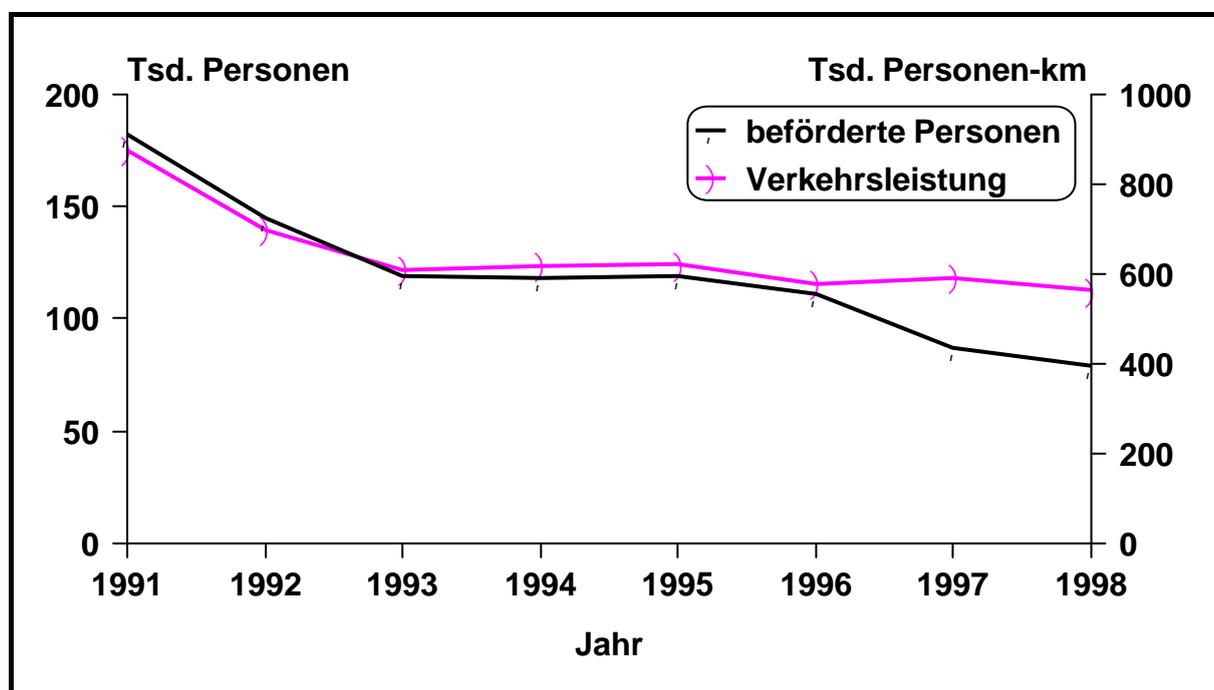


Abbildung 6.1: Zeitreihen für die Beförderungsfälle und die Verkehrsleistung der Leipziger Verkehrsbetriebe (nach [131])

Die Abbildung zeigt, dass auch noch Ende der neunziger Jahre in der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik starke Veränderungen der Verkehrsnachfrage

stattfinden, so dass noch kein konsolidierter Zustand vorliegt. Für eine Verwendung in der vorliegenden Arbeit kommen deshalb nur die Erhebungen nach dem KONTIV-Design für Westdeutschland in Frage.

Stadt	Erhebungsjahr	Quelle	Anzahl Antwortter	Ausschöpfung
Aachen	1990	[152]	3880	64 % ¹⁾
Bochum, Essen	1990	[153]	2132	63 %
Bonn	1991	[154]	1567	87 %
Bonn	1999	[155]	1178	84 %
Bremen	1991	[156]	1283	69 %
Dortmund	1998	[157]	798	83 %
Düsseldorf	1990	[158]	1274	71 %
Freiburg	1989	[159]	3904	74 %
Hamburg	1991	[160]	6153	70 %
Hannover	1990	[161]	1601	65 %
Nürnberg	1989	[162]	1922	67 %
Recklinghausen	1990	[163]	973	63 %
Saarbrücken	1996	[164]	3711	80 %
Troisdorf	1988	[165]	3215	75 %
Ulm, Neu-Ulm	1992	[166]	3426	84 %
Wiesbaden	1990	[167]	2578	86 %
Witten	1992	[168]	1647	80 %
Wuppertal	1990	[169]	2121	63 %
¹⁾ Angabe bezogen auf Stadt Aachen und Aachener Nordraum Die Anzahl der Antwortter bezieht sich auf die Netto-Stichprobe.				

Tabelle 6.1: Verkehrserhebungen nach dem KONTIV-Design als Grundlage für die Modellvalidierung

Solche Erhebungen liegen von der Firma Socialdata unter anderen für die in Tabelle 6.1 angegebenen Städte vor.

Die 20 ausgewählten und in der Tabelle genannten Städte zeichnen sich durch unterschiedliche Strukturen und Größen aus. Dass das Erhebungsjahr für die Modellentwicklung nicht von Bedeutung ist, verdeutlichen die Ergebnisse der Anwendung des Modells auf drei Städte, für die Erhebungen jüngerer Datums vorliegen, in den Kapiteln 6.3 und 6.4. Zu den Untersuchungen zählen zwei Verkehrserhebungen zu Bonn aus den Jahren 1991 und 1999. Sie geben die Möglichkeit, anhand eines konkreten Beispiels die Maßnahmenreagibilität des Modells darzustellen.

In allen Erhebungen stellt die Bevölkerung der jeweiligen Stadt die Grundgesamtheit dar. Die Auswertungen liefern für diese Grundgesamtheit diverse Kenngrößen der Verkehrsnachfrage, wie die Mobilitätsrate, den Modal-Split, die Verteilung der Wegeweiten und den Besetzungsgrad im MIV. Zum Teil wird bei diesen Größen nach Wegen innerhalb der Stadt und anderen Wegen sowie nach Reisezwecken unterschieden.

Die Anzahl der Antworter liegt je nach Stadt zwischen etwa 800 und gut 6000 Personen, bei Antwortquoten von 63 bis 87 Prozent. Die Stichproben umfassen zwischen 0,1 und 6,7 Prozent der Bevölkerung. In die Auswertungen fließen alle Wege der Einwohner der Stadt bis zu einer Länge von 100 Kilometern ein. Dieser Umfang der Erhebungen erlaubt die gemäß Problemstellung vorgesehene Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für rund 98 Prozent aller Ortsveränderungen von Personen, unter Verzicht auf den Fernverkehr über 100 Kilometer.

6.2.3 Vorgehensweise bei der Bestimmung der verkehrsmittelspezifischen Widerstände

Zur Bestimmung der verkehrsmittelspezifischen Widerstände und der Gesamtsystem-Widerstände bieten sich zwei unterschiedliche, gängige Möglichkeiten zur **Abbildung der Raumstruktur** an.

Ein Ansatz besteht darin, das Untersuchungsgebiet in zahlreiche Teilgebiete, sogenannte Zellen, zu untergliedern. Jeder Zelle werden verkehrsrelevante Merkmale (Strukturparameter wie die Einwohnerzahl, Verkehrsangebotsmerkmale) zugeordnet. Zur Abbildung des Verkehrsangebots und der Verkehrsnachfrage zwischen den Zellen dient die Modellierung der Netze der einzelnen Verkehrsmittel.

Ein anderer Ansatz besteht darin, das Untersuchungsgebiet in konzentrische Kreisringe aufzuteilen. Diese Kreisringe werden so gelegt, dass der Mittelpunkt aller konzentrischen Ringe die Lage des Hauptzielgebiets angibt. Für jeden Kreisring lassen sich die Merkmale des Verkehrsangebots für Wege in das Hauptzielgebiet bestimmen. Zur Gewichtung der Werte der Kreisringe untereinander dient die Abstraktion der Raumstruktur über die Häufigkeitsverteilung der Wegeweiten.

Der zweite Ansatz ist etwas unpräziser aber in wesentlich kürzerer Zeit anwendbar. Walther schreibt: „Bei der Entwicklung des Rechenmodells PNV-SPLIT hat es sich als zulässige Abstraktion der Nachfrage erwiesen, die Häufigkeitsverteilung der Wegeweiten aller Ortsveränderungen für vorwiegend monozentrisch strukturierte Gebiete als Nachfragehäufigkeiten für innenstadtorientierte Wege zu unterstellen; diese aber charakterisieren das Verkehrsgeschehen einer Stadt“ [88, Seite 52]. Die Berechnung des Gesamtsystem-Widerstands anhand des ersten Ansatzes erfordert für eine Stadt einen Aufwand von circa sechs Mann-Monaten, die Anwendung des zweiten Ansatzes lediglich von etwa drei Mann-Wochen. Im Hinblick auf eine möglichst hohe Anzahl von Wertepaaren erscheint der zweite Ansatz zur Validierung des Verkehrserzeugungsmodells als geeigneter.

Die Anteile der verschiedenen Personen- oder Lebensstilgruppen an den Einwohnern haben, wie in Kapitel 2.1.2 erwähnt, ebenfalls Einfluss auf die Mobilitätsrate. Zur Bestimmung des Einflusses des Verkehrsangebots auf die Mobilitätsrate ist es hilfreich, zunächst andere Einflüsse, zum Beispiel den der Personen- beziehungsweise Lebensstilgruppen, zu eliminieren. Hierfür ist der zweite Ansatz geeigneter, da sich dieser Einfluss durch die Betrachtung der gesamten Bevölkerung eines Kreisringes weitgehend aufhebt. Das auf diese Weise einmal validierte Verkehrserzeugungsmodell lässt sich dann ebenfalls bei Einteilung des Untersuchungsgebiets in Zellen verwenden (vergleiche Kapitel 7.2).

Für die Berechnung des Gesamtsystem-Widerstands ist des Weiteren anzugeben, auf welches „Gesamtsystem“ sich dieser Widerstand bezieht. Da die Validierung gemäß Kapitel 3.1 für den städtischen Verkehr erfolgen soll, erscheint es sinnvoll, die zu untersuchenden Wege nach der **Wegeweite zu begrenzen**.

Dazu bieten sich zwei Möglichkeiten an. Entweder lässt sich für alle Untersuchungsgebiete einheitlich die selbe konstante maximale Wegeweite verwenden, oder es kann ein Anteil der in eine Untersuchung einbezogenen Wege an allen Wegen der Bewohner einheitlich festgelegt und anhand dessen die maximale Wegeweite variabel ermittelt werden.

Zur Abwägung zwischen diesen beiden Möglichkeiten dient die Gegenüberstellung zweier unterschiedlicher Untersuchungsgebiete, eines Zentrums mit allen wichtigen Funktionen und eines Dorfs im ländlichen Raum mit wenigen Arbeitsplätzen und ohne Einkaufsmöglichkeit. Die Qualität des Verkehrsangebots in Abhängigkeit von der Wegeweite, die über die Widerstände Berücksichtigung findet, sei für beide Untersuchungsgebiete gleich. Die Bewohner des Dorfs müssen zur Ausübung von Aktivitäten weitere, aufwändigere Wege zurücklegen, so dass die Mobilitätsrate kleiner ist. Der höhere Anteil langer Wege verbunden mit größeren Gesamtsystem-Widerständen lässt sich nur über die zweite Möglichkeit berücksichtigen, die deshalb die Grundlage für die weiteren Berechnungen bildet.

Die Höhe des Anteils an allen Wegen, der der Berechnung des Gesamtsystem-Widerstands zugrunde liegt, bestimmt die Ausdehnung des „Systems“. Das Gebiet ist so weit zu begrenzen, dass sich das Verkehrsangebot im System zuverlässig und stadtspezifisch sowohl für den ÖPNV als auch für den MIV bestimmen lässt.

Liegen die äußeren Kreisringe weit außerhalb der Stadtgrenze, fällt in diesen Ringen einerseits das Verkehrsangebot im ÖPNV oft sehr inhomogen aus. Beispielsweise bietet in Wiesbaden die S-Bahn eine hohe Qualität für Fahrten in Richtung Frankfurt (Main) und Mainz, in Richtung Wildsachsen verkehrt hingegen nur an Werktagen tagsüber ein Bus im Stundentakt. Andererseits können sich bei großen Untersuchungsgebieten in den äußeren Kreisringen gleichzeitig Zentren benachbarter Städte – wie im dichtbesiedelten Ruhrgebiet oder die Innenstadt von Mainz bei der Untersuchung von Wiesbaden – und Dörfer in ländlich geprägtem Raum befinden. Solche Situationen führen zu einem inhomogenen Verkehrsangebot nicht nur beim ÖPNV sondern auch beim MIV, zum Beispiel hinsichtlich der Beförderungsgeschwindigkeit. Aus diesen Gründen sollten die Untersuchungsgebiete für die Abbildung im Modell nicht zu groß gewählt werden.

Als Anhaltswert kann die Ausdehnung der untersuchten Oberzentren (Großzentren) dienen. Die Flächen liegen zwischen 119 und 327 km² (204 und 755 km²) und entsprechen Halbmessern von 6,1 bis 10,2 (8,1 bis 15,5) Kilometern mit Mittelwerten von 7,7 (10,6) Kilometern Luftlinie. Dieser Entfernung entspricht bei einem anhand der Angaben in Anlage 7 bestimmten mittleren Umwegfaktor von 1,26 eine Wegeweite vom Hauptzielgebiet bis zur Grenze des Untersuchungsgebiets von 9,7 (13,4) Kilometern.

Der der Abgrenzung des Systems zugrunde liegende Anteil an allen Wegen sollte bei dieser Entfernung erreicht sein. Tabelle 6.2 gibt für verschiedene Gebietstypen die

maximale Wegeweite in Abhängigkeit vom Anteil der berücksichtigten Wege an allen Wegen an.

Anteil aller Wege bis 100 km	maximale Wegeweite		
	Großzentren	Oberzentren	Mittelzentren
80 %	9,6	8,3	7,6
85 %	12,3	10,5	10,5
90 %	15,7	14,7	16,2
95 %	21,2	23,7	24,2

Tabelle 6.2: Maximale Wegeweite in Abhängigkeit vom Stadttyp und dem Anteil der zugrunde liegenden Wege an allen Wegen in km (nach [117])

Die aus der Größe der Stadtgebiete oben zu 9,7 (13.4) Kilometern berechneten Wegeweiten unterscheiden sich am wenigstens von der maximalen Wegeweite bei Betrachtung von 85 Prozent aller Wege. Dabei wird der Wert nach Tabelle 6.2 für Oberzentren in ähnlichem Maße unterschritten wie der Wert aus der Tabelle für Großzentren überschritten wird. Die Definition der Größe des „Systems“ erfolgt deshalb anhand der Wegeweite, die 85 Prozent aller Wege unterschreiten.

Für jede Stadt lässt sich die maximale Wegelänge aus dem Anteil von 85 Prozent anhand der stadtspezifischen Verteilung der Wegeweiten bestimmen. Diese Begrenzung des Systems wird für den Freizeitverkehr übernommen, da stadtspezifisch keine reisezweckspezifischen Verteilungen der Wegeweiten aus Erhebungen zur Verfügung stehen.

Um die Widerstände für die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells zu ermitteln, ist jeder **Widerstandsparameter** für jede Stadt in jeder Entfernungsstufe bis zur maximalen Wegeweite reisezweckspezifisch zu bestimmen.

Zur Einteilung der Wege entsprechend ihrer Länge dienen die Entfernungsklassen nach Walther [88, Seite 55] mit einer Breite von einem Kilometer und ganzzahligen Mittelwerten. Ausnahmen bilden nach Walther lediglich die beiden untersten Klassen, deren gemeinsame Grenze bei 0,666 Kilometer liegt. Beim Einzeichnen der den Entfernungsklassen entsprechenden Kreise in maßstäbliche Stadtpläne muss der mittlere gebietspezifische Umwegfaktor Berücksichtigung finden.

Nach Walther sind die Widerstandsparameter für diejenigen Wege zu bestimmen, die an der Wohnung beginnen, da etwa 85 Prozent aller Wege an der Wohnung beginnen oder enden und dem Verkehrsteilnehmer das Verkehrsangebot in seinem Wohnumfeld bekannt ist. Die Ermittlung dieser Parameter erfolgt mit den in Kapitel 5 vorgestellten Verfahren. Die Anwendung der Verfahren weist bei Abstrahierung der Raumstruktur über die Häufigkeitsverteilung der Wegeweiten einige Besonderheiten auf, die im Folgenden sukzessive beschrieben werden.

Die *Abgangszeit im MIV* hängt vom Parkdruck ab. Anhand von Kapitel 5 ergeben sich Werte für Innenstädte sowie für Außenbezirke ohne Parkdruck. Zwischen dem Innenstadtrand und den Bereichen ohne Parkdruck wird im Hinblick auf die insgesamt schwache Datenlage eine lineare Abnahme der Abgangszeit unterstellt.

Die Berechnung der *Beförderungszeit im MIV* erfolgt anhand von Routen in fünf, hinsichtlich der Struktur des stadtspezifischen Straßennetzes repräsentativen Korridoren je Stadt. Zwecks Zuordnung der so bestimmten Zeiten zu den Entfernungstufen müssen die Luftlinienentfernungen der Grenzen der Abschnitte vom Mittelpunkt des Hauptzielgebiets sowie der gebietsspezifische mittlere Umwegfaktor zur Verfügung stehen. Die Beförderungszeiten je Korridor werden ungewichtet gemittelt.

Die *Fahrzeugfolgezeit*, die *Beförderungszeit* und – für Haltestellen, von denen aus ein Umsteigen bei Fahrten ins Hauptzielgebiet zwingend erforderlich ist – auch die *Umsteigezeit im ÖPNV* ändern sich mit jeder Entfernungstufe. Weil es mit großem Aufwand verbunden ist, diese Zeiten für jede Haltestelle in jeder Entfernungstufe des Untersuchungsgebiets unterschieden nach Stundengruppen zu bestimmen, werden in jedem Untersuchungsgebiet für unter Berücksichtigung der Wegeweiten-Häufigkeitsverteilung ausgewählte Entfernungstufen haltestellenbezogene Werte der drei genannten Zeiten bestimmt. Für eine umfassende Beschreibung des Verkehrsangebots haben sich im Laufe der Untersuchung vier Entfernungstufen als sinnvoll herausgestellt. Diese Werte sind je Stundengruppe und Kenngröße über die Haltestellen einer Entfernungstufe zu mitteln. Dabei erweist sich eine Mittelbildung ohne Gewichtungsfaktoren als problematisch, da sie zum Beispiel zu einer Überbewertung des Verkehrsangebots in kleineren Ansiedlungen führt, in denen nur wenige Personen die oft schlechte Qualität wahrnehmen. Als Gewichtungsfaktoren müssen deshalb Größen dienen, die – entsprechend den Strukturgrößen bei einer Zelleinteilung des Untersuchungsgebiets – den Umfang des Verkehrsnachfragepotentials ansatzweise beschreiben. Da für die einzelnen Haltestellen keine Strukturgrößen zur Verfügung stehen, kommen dafür nur Kenngrößen des Verkehrsangebots in Frage. Unter der Voraussetzung, dass das Verkehrsangebot im ÖPNV an die Nachfrage angepasst ist, lassen sich näherungsweise Angebotskenngrößen wie die

Bedienungshäufigkeit und die Fahrzeuggrößen einschließlich deren Auslastung Gewichtungsfaktoren verwenden:

$$\bar{t}_k = \frac{\sum_i (n_i \cdot g_i \cdot t_{k,i})}{\sum_i (n_i \cdot g_i)}$$

mit

- \bar{t}_k : Mittelwert der Reisezeitkomponente k
- i: Index für die Haltestellen in einer Entfernungsstufe
- k: Index für die untersuchte Reisezeitkomponente
- n_i : Anzahl der Kurse pro Zeiteinheit
- g_i : nahverkehrssystembezogenes Gewicht zur Berücksichtigung von Fahrzeuggröße und Auslastung

Anstelle der Mittelung der Fahrzeugfolgezeiten sollten bei weiteren Untersuchungen aus logischen Gründen die Wartewiderstände gemittelt werden. Für die Anwendungen fällt der Unterschied auch in Anbetracht der vorgenommenen Mittelung der Wartewiderstände der einzelnen Stundengruppen gering aus (vergleiche Kapitel 5.1).

Die Werte für die zwischen den vier untersuchten Entfernungsstufen liegenden Klassen lassen sich durch Interpolation ermitteln. Auf diese Weise ergeben sich für jede einzelne Entfernungsstufe je Reisezeitkomponente Werte für die unterschiedlichen Stundengruppen. Diese Werte für die einzelnen Stundengruppen werden wie in Kapitel 5.1 beschrieben über die zugehörige Widerstandskomponente und die reisezweckspezifischen Anteile der Stundengruppen zusammengefasst.

Umsteigevorgänge lassen sich – anders als bei einer Netzmodellierung – nicht vollständig identifizieren. Für einen Teil der Umsteigevorgänge kann die Umsteigezeit leicht aus Fahrplänen zusammen mit anderen Reisezeitkomponenten bestimmt werden. Der Anteil der auf diese Weise nicht abbildbaren Umsteigevorgänge ergibt sich als Differenz aus dem Umsteigeranteil insgesamt (aus Erhebungen der Verkehrsbetriebe) und dem Anteil der bereits abgebildeten Umsteigevorgänge. Zur Aufteilung dieser Differenz auf die Entfernungsstufen dient die Umsteigewahrscheinlichkeit nach Walther [88, Seite 58]. Zur Bestimmung der Umsteigezeit für diese Umsteigevorgänge trifft Walther die Annahme, „daß ein Umsteigevorgang nach Zurücklegen von ca. $\frac{2}{3}$ der Gesamtreiseweite anzusetzen ist und dann als Umsteigezeit die Hälfte der Fahrzeugfolgezeit der Anschlußlinie maßgebend ist“ [88, Seite 58].

Wie in Kapitel 5.6 erwähnt stehen für den *Fußgängerverkehr* keine Daten zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Angebotsqualität und dem Qualitätsfaktor zur Verfügung. Für die vorliegende Arbeit besteht die Möglichkeit, den Fußfaktor anhand der beschriebenen Erhebungen (Kapitel 6.2.2) stadtspezifisch vorübergehend so zu wählen, dass der erhobene Modal-Split Anteil erreicht wird. Tabelle 6.4 in Kapitel 6.3.1.1 zeigt, dass die Schwankungsbreite der sich auf diese Weise ergebenden Qualitätsfaktoren für den Fußgängerverkehr vergleichsweise niedrig ausfällt. Die Standardabweichung des Faktor im Fahrradverkehr liegt – selbst unter Ausschluss der Städte Wuppertal und Witten, in denen der Modal-Split Anteil des Fahrradverkehrs weniger als fünf Prozent beträgt – deutlich höher. Für den Fahrradverkehr erweist sich die Existenz von Erhebungsdaten deshalb als wesentlich bedeutender als für den Fußgängerverkehr.

Die Widerstandsparameter für *Freizeitwege zu Fuß oder per Fahrrad* wurden nicht in Kapitel 5.6 ermittelt. Es lässt sich jedoch davon ausgehen (vergleiche Kapitel 5.6.2), dass die Widerstandskomponente w_0 bei beiden Verkehrsmitteln unverändert auch für den Freizeitverkehr gilt. Insgesamt dürften die Widerstände im Freizeitverkehr niedriger ausfallen, da der Gesamtverkehr zu circa $\frac{1}{3}$ aus Einkaufswegen besteht; Einkaufswegen sind aber meist mit umfangreichem Gepäcktransport verbunden, der den Fahrradverkehr (vergleiche [3, Seite 43ff]) und den Fußgängerverkehr unattraktiver macht.

Die Qualitätsfaktoren für den Fußgänger- und den Fahrradverkehr konnten anhand von Erhebungen zu acht Städten, für die der Modal-Split im Freizeitverkehr vorliegt, bestimmt werden. Die Werte für diese Faktoren liegen bei 72 Prozent der Werte für den Gesamtverkehr; die Standardabweichung beträgt für den Fußgängerverkehr 0,16 und für den Fahrradverkehr 0,11 sowie für den nicht-motorisierten Individualverkehr insgesamt 0,06.

Damit stehen Verfahren zur stadtspezifischen Bestimmung der verkehrsmittelspezifischen Widerstandsparameter je Entfernungsstufe zur Verfügung. Für die 20 zu untersuchenden Städte ergeben sich daraus über 5000 Einzelwerte.

Die gewichtete Mittelung der Widerstände über die Entfernungsstufen wird wie erwähnt anhand der **Verteilung der Wegeweiten** vorgenommen. Für den Gesamtverkehr enthalten die zur Verfügung stehenden Auswertungen der Erhebungen stadtspezifische Verteilungen.

In den Auswertungen fehlt jedoch eine Unterscheidung nach Reisezwecken. Da somit keine stadtspezifischen Verteilungen für den *Freizeitverkehr* vorliegen, werden

anhand von stadttypischen Angaben eventuelle Unterschiede zwischen den Verteilungen für *alle Wege* und für den *Freizeitverkehr* festgestellt und analysiert.

Stadttypische Angaben mit Unterscheidung nach Reisezwecken enthält [117]. Abbildung 6.2 stellt die Summenhäufigkeit der Wegeweiten für Oberzentren und für Mittelzentren gegenüber. Die maximale Wegeweite liegt entsprechend der obigen Überlegungen bei rund zehn Kilometern.

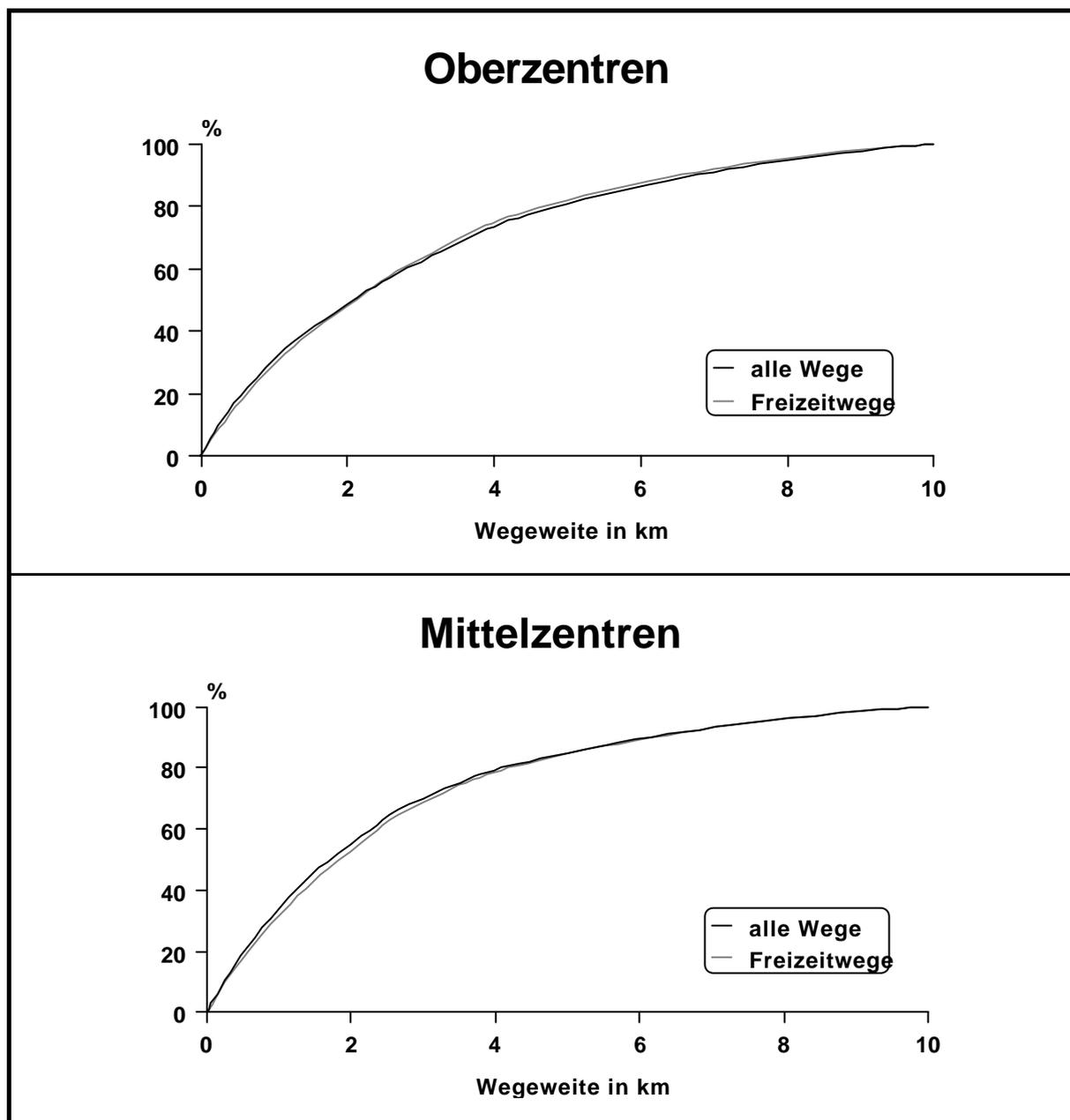


Abbildung 6.2: Gegenüberstellung von Summenlinien der Wegeweiten nach Stadttypen (nach [117])

Angrund der geringen Unterschiede zwischen den Kurven für *alle Wege* und die *Freizeitwege* in Abbildung 6.2 lassen sich die Verteilungen der Wegeweiten für *alle Wege*, die die vorgestellten Erhebungen (Kapitel 6.2.2) stadtspezifisch enthalten, auch für den *Freizeitverkehr* ansetzen.

Anhand der Verteilung der Wegeweiten für alle Verkehrsmittel und anhand des Modal-Split je Entfernungsstufe können verschiedene verkehrsmittelspezifische **Kenngrößen** bestimmt werden. Alle im Folgenden wiedergegebenen Formeln sind in dem Modal-Split-/Elastizitätsmodell PNV-SPLIT [87] des VIA implementiert. In der vorliegenden Arbeit findet PNV-SPLIT unter anderem bei der Validierung des Verkehrserzeugungsmodells Anwendung.

- Der Anteil $a_{i,m}$ der Wege, die in einer Entfernungsstufe i mit einem Verkehrsmittel m zurückgelegt werden, an den Wegen im Untersuchungsgebiet beträgt:

$$a_{i,m} = A_{i,m} \cdot \lambda_i$$

mit

$A_{i,m}$: Modal-Split Anteil des Verkehrsmittels m an den Wegen in der Entfernungsstufe i

$$A_{i,m} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_{i,m}}} \quad \text{nach Gleichung (2.2)}$$

λ_i : Anteil der Wege, die auf die Entfernungsstufe i entfallen

- Der Modal-Split Anteil A_m des Verkehrsmittels m im Untersuchungsgebiet ergibt sich zu:

$$A_m = \sum_i a_{i,m}$$

- Für die mittlere verkehrsmittelspezifische Wegelänge \bar{l}_m gilt:

$$\bar{l}_m = \frac{\sum_i (a_{i,m} \cdot l_i)}{A_m}$$

- Analog lassen sich die Widerstände je Entfernungsstufe und Verkehrsmittel zu verkehrsmittelspezifischen Widerständen w_m für das Untersuchungsgebiet zusammenfassen:

$$w_m = \frac{\sum (a_{l,m} \cdot w_{l,m})}{A_m} \quad (6.1)$$

mit

$w_{l,m}$: Widerstand für einen Weg mit dem Verkehrsmittel m in der Entfernungsstufe l

Aus den Anteilen A_m und den Widerständen w_m für alle Verkehrsmittel im Untersuchungsgebiet ergibt sich anhand von Gleichung (4.1) der Gesamtsystem-Widerstand.

6.2.4 Plausibilitätsprüfungen der verkehrsmittelspezifischen Widerstände

6.2.4.1 Methode

Nachdem im Hinblick auf die umfassende Absicherung des zu schaffenden Verkehrserzeugungsmodells zunächst die Herleitung der Funktionsformen (Kapitel 4) und die Entwicklung von Ansätzen für die Widerstandsparameter (Kapitel 5) erfolgten, wird nun dieses Ziel mit Methoden zur Kontrolle der aus den Widerständen je Verkehrsmittel und Entfernungsstufe berechenbaren Kenngrößen der Nachfrage weiterverfolgt.

Ausgehend von den in Kapitel 5 entwickelten und den in Kapitel 6.2.3 ergänzten Ansätzen lassen sich für jede Entfernungsstufe die Widerstände für jedes Verkehrsmittel ermitteln. Aus diesen Widerständen ergibt sich die Aufteilung der Verkehrsnachfrage sowohl auf die einzelnen Verkehrsmittel als auch je Verkehrsmittel auf die Entfernungsstufen.

Zur Kontrolle der berechneten Aufteilung der Wege auf die Entfernungsstufen stehen Angaben zu den verkehrsmittelspezifischen mittleren Wegeweiten aus den ausge-

wählten Erhebungen zur Verfügung. Der Modal-Split lässt sich ebenfalls anhand der Erhebungen und weiterer Statistiken kontrollieren.

Die Auswertungen der Erhebungen berücksichtigen alle Wege bis einschließlich 100 Kilometer Länge. Die Verkehrsnachfrageberechnungen erfolgen aufgrund der Überlegungen zur Größe der Untersuchungsgebiete (Kapitel 6.2.3) für Gebiete mit niedrigeren maximalen Wegeweiten. Für den Vergleich der Werte aus den Erhebungen und den Berechnungen sind die Angaben aus der Erhebung daher auf die Größe des Untersuchungsgebiets umzurechnen.

Im Weiteren werden die Plausibilitätsprüfungen getrennt für den Modal-Split und die mittleren Wegeweiten je Verkehrsmittel vorgestellt.

6.2.4.2 Modal-Split

Zur Kontrolle des berechneten Modal-Split stehen mehrere Vergleichsmöglichkeiten zur Verfügung.

Socialdata weist in den Auswertungen der Erhebungen jeweils den Modal-Split über alle Wege bis 100 Kilometer aus. Bei einer niedrigeren maximalen Wegeweite fallen demgegenüber vor allem Fahrten mit dem MIV und dem ÖPNV weg. Dies führt zu einer deutlichen Veränderung des Modal-Split, so dass hierfür eine Umrechnung auf die Größe des Untersuchungsgebiets erforderlich ist. Die Anzahl $TM_{A,m,l_{max}}$ der Wege mit dem Verkehrsmittel m pro Person und Tag, deren Länge die maximale Wegeweite l_{max} nicht übersteigt, beträgt:

$$TM_{A,m,l_{max}} = TM_{A,m,\infty} \cdot L_m(l_{max})$$

mit

$TM_{A,m,l_{max}}$: Teilmobilitätsrate Aller für Wege mit Längen bis zur maximalen Wegeweite l_{max}

l_{max} : maximale Wegeweite

$TM_{A,m,\infty} := TM_{A,m}$

$L_m(l)$: Verteilungsfunktion der Längen der Wege mit dem Verkehrsmittel m

Damit ergibt sich der Modal-Split für ein Untersuchungsgebiet zu:

$$A_{m, l_{\max}} = \frac{TM_{A, m, l_{\max}}}{\sum_{i=1}^{\mu} TM_{A, i, l_{\max}}}$$

Durch Einsetzen der obigen Gleichung folgt:

$$A_{m, l_{\max}} = \frac{TM_{A, m} \cdot L_m(l_{\max})}{\sum_{i=1}^{\mu} [TM_{A, i} \cdot L_i(l_{\max})]}$$

Mit Gleichung (4.5) wird daraus:

$$A_{m, l_{\max}} = \frac{M_A \cdot A_m \cdot L_m(l_{\max})}{\sum_{i=1}^{\mu} [M_A \cdot A_i \cdot L_i(l_{\max})]}$$

Kürzen mit M_A liefert:

$$A_{m, l_{\max}} = \frac{A_m \cdot L_m(l_{\max})}{\sum_{i=1}^{\mu} [A_i \cdot L_i(l_{\max})]}$$

mit

A_i : Modal-Split Anteil des Verkehrsmittels i an allen Wegen bis 100 Kilometer

Für die Mehrzahl der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Städte liegen die verkehrsmittelspezifischen Verteilungen $L_m(l)$ der Wegeweiten nicht vor. Ersatzweise lässt sich mit stadttypischen Werten zum Beispiel nach [117] arbeiten. Der Einfluss eventueller Unterschiede zwischen stadttypischen und stadtspezifischen Verteilungen auf das Ergebnis ist gering.

Als weitere Angabe enthalten zahlreiche Auswertungen der Socialdata-Erhebungen den Modal-Split für diejenigen Wege, bei denen sowohl die Quelle als auch das Ziel innerhalb der Stadtgrenzen liegen (Binnenverkehr). Diese Modal-Split Werte eignen

sich vorwiegend dann zur Plausibilitätsprüfung, wenn das Untersuchungs- und das Stadtgebiet räumlich in etwa zusammenfallen.

Der Anteil des ÖPNV an allen Wegen kann außerdem aus der Anzahl der Fahrgäste des ÖPNV pro Jahr im Untersuchungsgebiet bestimmt werden. Diese Größe enthalten zum Beispiel die oben angeführten VÖV-/VDV-Statistiken für die einzelnen Verkehrsbetriebe.

Es gilt:

$$F_{\text{ÖPNV}} = \frac{365 \cdot M_A \cdot A_{\text{ÖPNV}} \cdot EW}{a_{EW}}$$

mit

$F_{\text{ÖPNV}}$: Anzahl der ÖPNV-Fahrten pro Jahr

a_{EW} : Anteil der ÖPNV-Fahrten der Einwohner an allen ÖPNV-Fahrten

Nach dem Modal-Split Anteil des ÖPNV umgeformt ergibt sich:

$$A_{\text{ÖPNV}} = \frac{F_{\text{ÖPNV}} \cdot a_{EW}}{365 \cdot M_A \cdot EW}$$

Werte für die Mobilitätsrate Aller weisen die Auswertungen der Erhebungen von Socialdata aus. Der Anteil a_{EW} lässt sich anhand der VÖV-/VDV-Statistiken abschätzen, die die Anzahl der Einwohner im Einzugsgebiet des Verkehrsbetriebs wiedergeben.

Da die ÖPNV-Fahrten nicht nur mit dem ortsansässigen Verkehrsbetrieb durchgeführt werden, sind je Stadt auch gegebenenfalls Fahrten mit S-Bahnen, sonstigem schienengebundenem Nahverkehr der DB, Bahnbussen und anderen Anbietern anzusetzen. Insgesamt steigt der Anteil des ÖPNV durch Berücksichtigung weiterer Anbieter zusätzlich zum ortsansässigen Verkehrsbetrieb um bis zu 30 Prozent. Im Rahmen dieser Arbeit konnten die erforderlichen Daten zu dem Fahrtenaufkommen der weiteren Anbieter der VIA-Datensammlung entnommen werden.

Der Anteil des MIV an allen Wegen lässt sich nach Walther et al. [92] auch aus den Pkw-Fahrten pro Pkw und Tag und der stadtspezifischen Pkw-Dichte berechnen.

Für die Pkw-Fahrten G pro Pkw und Tag gilt:

$$G = \frac{M_A \cdot A_{MIV}}{B_F} \cdot \frac{1}{\text{Pkw-Dichte} \cdot (1-p)}$$

mit

p : Anteil der zeitweise abgemeldeten Pkw

Nach dem Modal-Split Anteil des MIV umgeformt entspricht diese Gleichung:

$$A_{MIV} = \frac{G \cdot B_F \cdot \text{Pkw-Dichte} \cdot (1-p)}{M_A} \quad (6.2)$$

Die Mobilitätsrate M_A , den fahrtenbezogenen Besetzungsgrad B_F und die Pkw-Fahrten pro Pkw und Tag weisen die Auswertungen von Socialdata aus. Die Pkw-Dichte und den Anteil p liefern [102] beziehungsweise [111].

Im Hinblick auf die Genauigkeit des Ergebnisses der Gleichung (6.2) ist zu beachten, dass die Eingangsgrößen nur gerundet vorliegen, die Pkw-Dichte auch Firmenkraftwagen und Dienstfahrzeuge umfasst und die Fahrten pro Pkw und Tag vermutlich nicht aus Pkw-Fahrtenbüchern sondern aus den Personenfragebögen der Erhebungen abgeleitet sind.

6.2.4.3 Verkehrsmittelspezifische mittlere Wegeweiten

Nachdem mit dem aus Erhebungen bestimmten Modal-Split die Möglichkeit zur Kontrolle der berechneten Aufteilung der Wege auf die Verkehrsmittel besteht, werden ferner Plausibilitätsprüfungen für die Aufteilung der Wege je Verkehrsmittel auf die Entfernungsstufen durchgeführt. Die Auswertungen nahezu aller Erhebungen enthalten Werte für die mittleren Wegeweiten getrennt für alle vier Verkehrsmittel, jedoch ohne eine Unterscheidung nach Reisezwecken.

Zur Umrechnung dieser Werte auf die Ausdehnung des Untersuchungsgebiets müssten verkehrsmittelspezifische Verteilungen der Wegeweiten vorliegen. Hierbei wäre auch für die hohen Entfernungen eine Einteilung in relativ schmale Klassen erforder-

lich. Solche Daten sind jedoch weder verfügbar noch aufgrund des dafür erforderlichen Stichprobenumfangs zuverlässig bestimmbar. Eine Umrechnung erweist sich daher für die mittleren Wegeweiten als nicht machbar.

Für den Fußgänger- und den Fahrradverkehr, die jeweils kurze Wegeweiten aufweisen, besteht nur ein geringer Unterschied zwischen den erhobenen Werten und den auf das Untersuchungsgebiet bezogenen Angaben. Für diese Verkehrsmittel ist ein Vergleich für alle Städte möglich. Da mit der Verringerung der maximalen Wegeweite die mittlere Wegeweite sinkt, müssten die berechneten Werte unter den Angaben aus der Erhebung liegen.

Für den ÖPNV und den MIV könnte ein solcher Vergleich höchstens eine sehr grobe Abschätzung liefern. Plausibilitätsprüfungen erfolgen deshalb für die sieben Städte, für die verkehrsmittelspezifische Verteilungen der Wegeweiten vorliegen. Aus diesen lassen sich mittlere Wegeweiten bezogen auf die Ausdehnung der Untersuchungsgebiete berechnen. Dabei ist die Randbedingung

$$\bar{I} = \sum_{m=1}^{\mu} (A_m \cdot \bar{I}_m)$$

mit

\bar{I} : mittlere Wegelänge

A_m : Modal-Split Anteil des Verkehrsmittels m

\bar{I}_m : mittlere Wegelänge beim Verkehrsmittel m

zu erfüllen. Der Anteil A_m ergibt sich durch die in Kapitel 6.2.4.2 beschriebene Umrechnung des erhobenen Modal-Split auf die Größe des Untersuchungsgebiets.

Bei der Bewertung der Unterschiede zwischen erhobenen und berechneten Werten ist unter anderem der mit Erhebungen erzielbaren Genauigkeit Rechnung zu tragen. Bei den vorliegenden Angaben zur Wegeweite handelt es sich um erfragte Werte. Sie unterliegen deshalb der Einschätzung der Befragten und dem Empfinden. Dieses Empfinden kann zu einer Über- oder Unterschätzung der Wegeweite führen. Ferner zeigen Befragte in der Regel eine Vorliebe für ganzzahlige und „runde“ Werte, zum Beispiel fünf Kilometer. Unterschiede zwischen erhobenen und berechneten Werten von zehn Prozent liegen auch aus diesem Grund im Toleranzbereich.

6.2.4.4 Zusammenfassung

Im Hinblick auf die möglichst weitgehende Absicherung des Verkehrserzeugungsmodells werden vor seiner Validierung zusätzlich die stadtspezifischen Widerstände auf Plausibilität geprüft.

Dazu lassen sich aus der Aufteilung der Wege je Verkehrsmittel auf die Entfernungsstufen die mittleren verkehrsmittelspezifischen Wegeweiten berechnen und mit erhobenen Werten vergleichen. Zudem bestehen Möglichkeiten, den berechneten Modal-Split zu kontrollieren. Damit ist der Gesamtsystem-Widerstand als wichtige Größe für die Validierung auf mehreren, voneinander unabhängigen Wegen abgesichert.

Die Anwendung der vorgestellten Methoden zur Plausibilitätsprüfung geschieht getrennt nach *allen Wegen* und den *Freizeitwegen* in den Kapiteln 6.3.1 und 6.4.1.

6.2.5 Fazit

In diesem Kapitel wurden die Grundlagen für die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells, die Gegenstand der Kapitel 6.3 und 6.4 ist, vervollständigt.

Für diese Aufgabe eignen sich die Verkehrserhebungen, die die Firma Socialdata nach dem KONTIV-Design in einer Vielzahl deutscher Städte durchgeführt wurden. Den stadtbezogenen, aggregierten Verkehrsnachfragedaten aus den Erhebungen sind stadtbezogene Werte für den Gesamtsystem-Widerstand als Eingangsgröße des Verkehrserzeugungsmodells gegenüberzustellen. Somit liefert jede Untersuchung einer Stadt ein Wertepaar, so dass sich die Validierung auf eine größere Anzahl von Stadtuntersuchungen abstützen sollte.

Im Hinblick darauf liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen nicht auf der Abbildung räumlicher Details von Verkehrsangebot und -nachfrage anhand von Netzmodellen für wenige Städte, sondern auf der Verwendung einer größeren Anzahl von Städten bei Abbildung der Raumstruktur anhand der Häufigkeitsverteilung der Wegeweiten. Die Grenze des Untersuchungsgebiets wird im Hinblick auf übliche Stadtgrößen und die erforderliche Homogenität des Verkehrsangebots bei der Wegeweite, die 85 Prozent aller Wege nicht überschreiten, gezogen.

Anhand der Ansätze für die Berechnung der Widerstandsparameter nach Kapitel 5 ergeben sich für ein so festgelegtes Untersuchungsgebiet die Widerstände je Entfernungsstufe und Verkehrsmittel. Daraus lassen sich mit Hilfe des Modal-Split-Modells nach Walther (vergleiche Kapitel 2.3.2) und der Häufigkeitsverteilung der Wegeweiten über alle Verkehrsmittel sowohl die Aufteilung der Wege auf die Verkehrsmittel und je Verkehrsmittel auf die Entfernungsstufen bestimmen als auch der Gesamtsystem-Widerstand errechnen.

Zur Kontrolle dieser Aufteilung der Wege erweisen sich mehrere Kenngrößen der Verkehrsnachfrage und eine Reihe von Verfahren als geeignet. Nachdem im Hinblick auf die umfassende Absicherung des neuen Verkehrserzeugungsmodells zunächst die Herleitung der Funktionsformen (Kapitel 4) und die Entwicklung von Ansätzen zur Berechnung der Widerstandsparameter (Kapitel 5) erfolgten, stellen die Kontrollen in Kapitel 6 die konsequente Weiterverfolgung dieses Ziels bei der Validierung dar.

6.3 Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für alle Wege

6.3.1 Plausibilitätsprüfungen – alle Wege

Zur Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für *alle Wege* muss der Gesamtsystem-Widerstand als Eingangsgröße des Modells berechnet werden.

Als ersten Schritt sind alle Widerstandsparameter der einzelnen Verkehrsmittel unterschieden nach Entfernungsstufen für jedes Untersuchungsgebiet gemäß der Kapitel 5 und 6.2.3 zu bestimmen. Eine Zusammenstellung der Widerstandsparameter der untersuchten 20 Städte enthalten die Anlagen 7 und 8.

Aus diesen Werten lassen sich die Widerstände je Verkehrsmittel und Entfernungsstufe anhand der Widerstandsformulierung nach Walther (vergleiche Kapitel 2.3.2) stadtspezifisch berechnen. Dadurch entsteht für jedes Untersuchungsgebiet eine zweidimensionale Widerstandsmatrix. Aus dieser Matrix ergibt sich anhand des Modal-Split-Modells nach Walther und der Gleichung (4.1) der Gesamtsystem-Widerstand.

Zuvor soll die Widerstandsmatrix mit Hilfe der vorgestellten Verfahren (vergleiche Kapitel 6.2.4) in beiden Dimensionen auf Plausibilität geprüft werden.

6.3.1.1 Modal-Split

Für den Modal-Split existieren mehrere Möglichkeiten, für jede Stadt – sofern die Datenlage dies erlaubt – aus erhobenen Daten Vergleichswerte zu berechnen (vergleiche Kapitel 6.2.4.2). Aufgrund dieser Vergleichswerte lässt sich der Modal-Split je Stadt als empirische Grundlage einer Plausibilitätsprüfung bestimmen.

Zwischen den einzelnen Vergleichswerten einerseits sowie zwischen dem Vergleichssplit und dem anhand der Widerstände berechneten Modal-Split andererseits können Unterschiede auftreten. Um die Bedeutung dieser Unterschiede einschätzen zu können, ist festzulegen, welche Toleranzen vor dem Hintergrund der Genauigkeit der Vergleichswerte sinnvoll erscheinen.

Ein Teil der Vergleichswerte lässt sich – wie oben beschrieben – den Auswertungen der Erhebungen von Socialdata entnehmen. Sie umfassen gemäß Tabelle 6.1 je nach Stadt die Angaben von etwa 800 bis 6000 Antworten. Der Mittelwert über alle Städte liegt bei 2500 Antwortern pro Erhebung. Eine Toleranz beim Modal-Split von zum Beispiel 0,3 Prozentpunkten entspricht – bei Berücksichtigung von 85 Prozent aller Wege, einer mittleren Mobilitätsrate aller von etwa 2,9 Wegen pro Person und Tag sowie 800 (6000 / 2500) Antwortern – ungefähr 6 (44 / 19) Wegen. Bei der Bewertung der Höhe dieser Werte ist von Bedeutung, dass der Hin- und der Rückweg eines Ausgangs oft mit dem gleichen Verkehrsmittel erfolgen und dass die Auswahl der Befragten hinsichtlich ihrer ÖPNV-Verfügbarkeit Einfluss auf den Modal-Split hat (vergleiche [95]). Folglich lässt sich eine Genauigkeit von 0,3 Prozentpunkten oder weniger kaum erreichen.

Bei der Festlegung des Vergleichssplits anhand der einzelnen Vergleichswerte ist die erzielbare Genauigkeit zu berücksichtigen. Die Vergleichswerte wie auch die daraus bestimmten Vergleichssplits für alle untersuchten Städte enthält Anlage 9.

Die Gegenüberstellung des Vergleichssplits und des anhand der verkehrsmittelspezifischen und entfernungsabhängigen Widerstände berechneten Modal-Split enthält Tabelle 6.3.

Stadt		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
Aachen	erhoben ¹⁾	34,99	12,46	12,58	39,98
	berechnet	34,99	12,45	12,71	39,85
Bochum	erhoben ¹⁾	31,4	6,0	12,2	50,4
	berechnet	31,39	6,00	12,40	50,20
Bonn (1991)	erhoben ¹⁾	31,7	15,0	14,3	39,0
	berechnet	31,69	15,02	14,42	38,86
Bonn (1999)	erhoben ¹⁾	28,70	19,01	17,01	35,28
	berechnet	28,70	19,02	16,77	35,51
Bremen	erhoben ¹⁾	24,37	25,53	16,91	33,19
	berechnet	24,37	25,52	16,75	33,35
Dortmund	erhoben ¹⁾	27,91	5,80	17,03	49,26
	berechnet	27,91	5,79	17,08	49,21
Düsseldorf	erhoben ¹⁾	34,5	10,3	19,7	35,5
	berechnet	34,51	10,31	19,56	35,61
Essen	erhoben ¹⁾	32,6	6,0	16,3	45,1
	berechnet	32,60	6,00	16,32	45,07
Freiburg	erhoben ¹⁾	25,69	20,99	15,96	37,36
	berechnet	25,70	20,98	16,13	37,18
Hamburg	erhoben ¹⁾	24,0	13,0	20,4	42,6
	berechnet	24,02	13,00	20,72	42,27
Hannover	erhoben ¹⁾	24,87	16,43	21,40	37,30
	berechnet	24,86	16,43	21,17	37,53

Tabelle 6.3: Gegenüberstellung von Vergleichssplit und berechnetem Modal-Split in % – *alle Wege*

Stadt		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
Nürnberg	erhoben ¹⁾	29,95	13,58	18,76	37,71
	berechnet	29,94	13,57	18,69	37,8
Recklinghausen	erhoben ¹⁾	31,7	10,6	11,0	46,7
	berechnet	31,70	10,59	10,73	46,97
Saarbrücken	erhoben ¹⁾	28,93	2,41	17,93	50,73
	berechnet	28,92	2,41	18,15	50,52
Troisdorf	erhoben ¹⁾	24,24	19,39	7,22	49,15
	berechnet	24,24	19,39	6,87	49,51
Ulm	erhoben ¹⁾	33,4	10,7	13,6	42,3
	berechnet	33,40	10,69	13,55	42,36
Neu-Ulm	erhoben ¹⁾	28,1	13,9	10,3	47,7
	berechnet	28,11	13,89	10,25	47,76
Wiesbaden	erhoben ¹⁾	33,17	4,74	17,83	44,26
	berechnet	33,17	4,74	17,63	44,46
Witten	erhoben ¹⁾	33	3	10	54
	berechnet	32,98	3,00	9,87	54,15
Wuppertal	erhoben ¹⁾	32,87	0,89	17,49	48,74
	berechnet	32,86	0,89	17,12	49,12
1) Vergleichssplit nach Anlage 9					

Tabelle 6.3: Gegenüberstellung von Vergleichssplit und berechnetem Modal-Split in Prozent – alle Wege (Fortsetzung)

Für den ÖPNV und den MIV zeigt Tabelle 6.3 – insbesondere vor dem Hintergrund der erreichbaren Genauigkeit – eine sehr gute Übereinstimmung. Eine weitere sta-

tistische Auswertung der Güte der Übereinstimmung geschieht in Kapitel 6.6.

Für den Fußgänger- und den Fahrradverkehr erfolgen die Plausibilitätsprüfungen anhand der Qualitätsfaktoren. Dazu waren nach Kapitel 6.2.3 die Qualitätsfaktoren zunächst so zu wählen, dass der berechnete Modal-Split Anteil mit dem Modal-Split Anteil aus den Erhebungen übereinstimmt.

Für den Fahrradverkehr kann daraufhin die Prüfung auf Plausibilität auf andere Weise durchgeführt werden. Sie erfolgt in Kapitel 6.5 anhand der Gegenüberstellung der Qualitätsfaktoren und der Ergebnisse der Erhebungen zur stadtspezifischen Bewertung der Qualität des Verkehrsangebots im Fahrradverkehr (vergleiche Kapitel 5.6.4).

Die Schwankungsbreite der Qualitätsfaktoren γ_F für den Fußgängerverkehr fällt, wie Tabelle 6.4 zeigt, im Vergleich zu den Faktoren γ_R für den Fahrradverkehr gering aus.

	Qualitätsfaktor g_F für den Fuß- gängerverkehr	Qualitätsfaktor g_R für den Fahrradverkehr	
		alle Städte	17 Städte ¹⁾
Mittelwert	1,14	2,66	1,37
Standardabweichung	0,26	4,49	0,76
Variationskoeffizient	0,23	0,59	0,55
¹⁾ alle Städte außer Saarbrücken, Wuppertal und Witten (Modal-Split Anteil des Fahrradverkehrs deutlich unter fünf Prozent)			

Tabelle 6.4: Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Qualitätsfaktoren für Fußgänger- und den Fahrradverkehr

Der Einfluss stadtspezifischer Angebotsmerkmale, zum Beispiel der Topographie, wirkt sich nach Kapitel 5.2.2 im Fußgängerverkehr meist geringer auf die Nachfrage aus als für den Fahrradverkehr. Die geringere Standardabweichung des Qualitätsfaktors für den Fußgängerverkehr erscheint deshalb plausibel.

Um trotz fehlender Erhebungen zur Qualität des Verkehrsangebots im Fußgängerverkehr dennoch bei der Wahl des Qualitätsfaktors gebietstypische Unterschiede berücksichtigen zu können, wird die bereits in [8] vorgenommene Differenzierung nach der Zentralität beibehalten. Damit ergeben sich für die Widerstände nach Kapitel 5.6 die in Tabelle 6.5 genannten Faktoren.

Großzentren	Oberzentren	Städte geringer Bedeutung
1,14	1,07	1,18

Tabelle 6.5: Qualitätsfaktor g_F für den Fußgängerverkehr in Abhängigkeit von der Zentralität

Die vorgenommene Plausibilitätsprüfung der Widerstände anhand des Modal-Split ist die zuverlässigste Kontrollmöglichkeit, da oft sogar mehrere Vergleichswerte zur Verfügung stehen, die sich zudem auf die Größe des Untersuchungsgebiets umrechnen lassen. Die Prüfung dieser Dimension der Widerstandsmatrizen auf Plausibilität erweist sich als erfolgreich.

6.3.1.2 Verkehrsmittelspezifische mittlere Wegeweiten

Die nächste Prüfung auf Plausibilität anhand der Verteilung der Wege je Verkehrsmittel auf die Entfernungsstufen bezieht sich auf die zweite Dimension der Matrizen der Widerstände.

Für sieben der untersuchten Städte stehen aus den Auswertungen der Erhebungen verkehrsmittelspezifische Wegeweiten-Häufigkeitsverteilungen zur Verfügung, aus denen sich für jede Stadt die mittlere Wegeweite je Verkehrsmittel – bezogen auf die Ausdehnung des Untersuchungsgebiets – berechnen lässt. Tabelle 6.6 gibt für diese Städte sowohl die aus den Erhebungen bestimmten als auch die modellierten Werte wieder.

Stadt		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
Bonn (1991)	erhoben	1,1	2,2	4,4	3,8
	berechnet	1,0	2,3	3,8	4,0
	Unterschied	9 %	5 %	14 %	5 %
Dortmund	erhoben	1,1	3,2 ²⁾	4,2	4,2
	berechnet	1,0	2,3	4,3	4,3
	Unterschied	9 %	28 %	2 %	2 %
Düsseldorf	erhoben	1,0	2,0	4,3	4,0
	berechnet	1,0	2,2	4,0	4,1
	Unterschied	0 %	10 %	7 %	2 %
Hamburg	erhoben	1,0	2,7	5,8	5,1
	berechnet	0,9	2,5	5,4	5,4
	Unterschied	10 %	7 %	7 %	6 %
Hannover	erhoben	1,0	2,5	4,9	4,8
	berechnet	0,9	2,4	4,7	4,9
	Unterschied	10 %	4 %	4 %	2 %
Nürnberg	erhoben	1,0	2,9	4,4	4,5
	berechnet	1,0	2,4	4,3	4,8
	Unterschied	0 %	17 %	2 %	7 %
Wuppertal	erhoben	0,9	1)	4,3	4,5
	berechnet	1,1	-	4,4	4,6
	Unterschied	22 %	-	2 %	2 %
1) Anteil des Fahrradverkehrs zu gering, um Aussagen treffen zu können					
2) Berechnungsgrundlage: weniger als 150 Wege					

Tabelle 6.6: Gegenüberstellung von erhobenen und berechneten Wegeweiten in km (1)

Tabelle 6.6 zeigt, dass die erhobenen und die berechneten Wegeweiten gut übereinstimmen und eventuelle Unterschiede für nahezu alle Städte und Verkehrsmittel innerhalb des Toleranzbereichs von zehn Prozent nach Kapitel 6.2.4.3 liegen.

Für alle anderen untersuchten Städte ist die Plausibilitätsprüfung hinsichtlich der verkehrsmittelspezifischen mittleren Wegeweiten für den Fußgänger- und Fahrradverkehr möglich. Die Modellergebnisse sollten dabei, wie in Kapitel 6.2.4.3 ausgeführt, unter den Angaben aus der Erhebung liegen.

Stadt	berechnet		erhoben ¹⁾	
	zu Fuß	Fahrrad	zu Fuß	Fahrrad
Aachen	1,0	2,3	1,1	2,6
Bochum	1,0	2,4	1,1	2,9 ²⁾
Bonn (1999)	0,9	2,4	0,9	2,6
Bremen	0,9	2,2	1,0	3,1
Essen	1,0	2,4	1,3	3,8 ²⁾
Freiburg	1,0	2,2	1,3	2,5
Recklinghausen	1,0	2,2	1,2	2,4
Saarbrücken	0,9	2,1	1,1	2,9
Troisdorf	0,9	2,2	1,1	2,4
Ulm	0,9	2,1	1,0	2,6
Neu-Ulm	0,9	2,0		
Wiesbaden	0,9	2,3	1,0	5,1
Witten	1,1	2,5	1,2	4,2 ²⁾
¹⁾ Werte beziehen sich auf alle Wege bis 100 km ²⁾ Berechnungsgrundlage: weniger als 150 Wege				

Tabelle 6.7: Gegenüberstellung von erhobenen und berechneten Wegeweiten in km (2)

Tabelle 6.7 bestätigt ebenfalls die aus den Widerständen bestimmten Werte. Damit fällt auch die zweite Plausibilitätsprüfung erfolgreich aus.

6.3.1.3 Fazit

Die Plausibilitätsprüfungen zeigen die Genauigkeit der Abbildung der Verkehrsnachfrage für die untersuchten 20 Städte, die durch die Kombination

- der Ansätze zur Berechnung der Merkmale des Verkehrsangebots (Kapitel 5),
- der Modellierung des Verkehrsangebots nach Walther (Kapitel 2.3.2) und
- dem Modal-Split-Modell nach Walther (Kapitel 2.3.2)

erreicht wird. Die auf Plausibilität kontrollierten Widerstände dienen zur Verkehrsangebotsbeschreibung bei der in Kapitel 6.3.2 durchzuführenden Validierung.

6.3.2 Validierung – alle Wege

6.3.2.1 Vergleichswerte aus Erhebungen

Werte für die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote liegen aus den Erhebungen (Kapitel 6.2.2) weitgehend vor. Die Genauigkeit dieser Werte wird, wie in Kapitel 6.3.1.1 für den Modal-Split dargestellt, unter anderem vom Stichprobenumfang bestimmt. Geben zwei Personen von insgesamt 800 (6000 / 2500) Antwortern an, am Stichtag keinen Weg zurückgelegt zu haben, obwohl sie mobil waren, führt das zu einer Verfälschung der Verkehrsbeteiligungsquote um etwa 0,25 (0,03 / 0,08) Prozentpunkte. Auf die Mobilitätsrate der Mobilen fällt dieser Einfluss mit ungefähr 0,01 (0,002 / 0,004) Wegen pro mobiler Person und Tag äußerst gering aus. Die relativen Schwankungen der Verkehrsbeteiligungsquote sind folglich im Vergleich zur Breite des Wertebereichs größer als bei der Mobilitätsrate der Mobilen.

6.3.2.2 Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen

Zur Validierung des Algorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen werden die Wertepaare aller untersuchten Städte herangezogen.

Für sechs der untersuchten Städte enthalten die Auswertungen der Erhebungen keine Unterscheidung in mobile und nicht mobile Personen, so dass Angaben zur Mobilitätsrate der Mobilen und zur Verkehrsbeteiligungsquote fehlen. Um dennoch über eine möglichst breite Basis für die Validierung zu verfügen, wird die Mobilitätsrate der Mobilen aus der Mobilitätsrate Aller anhand stadttypischer Verkehrsbeteili-

gungsquoten (eigene Berechnungen nach [152], [154], [157], [158], [159], [160], [161], [162], [163], [164], [165], [167], [168] und [169]) bestimmt, die für Oberzentren 79,9 Prozent und für Städte geringerer Bedeutung 78,1 Prozent betragen. Da die relative Streubreite der Werte für die Verkehrsbeteiligungsquote im Vergleich der einzelnen Städte wie oben erwähnt niedriger als bei der Mobilitätsrate der Mobilien ausfällt, haben eventuelle Fehler durch die Verwendung stadtypischer Werte geringere Bedeutung. Die auf diese Weise ermittelten Wertepaare ($w_{GS}; M_M$) sind in Abbildung 6.3 zur Unterscheidung nicht als Quadrate sondern als Punkte dargestellt.

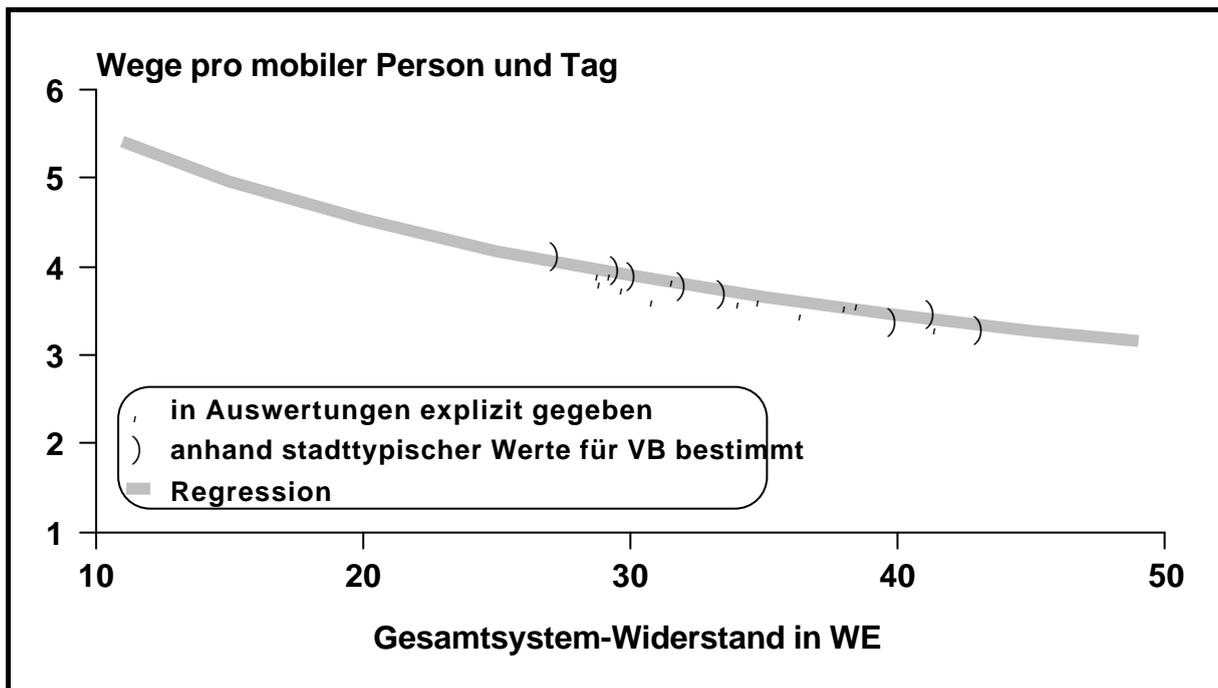


Abbildung 6.3: Abhängigkeit der Mobilitätsrate der Mobilien vom Gesamtsystem-Widerstand für *alle Wege*: Wertepaare und Regression

Die Regression erfolgt mit der Funktionsform nach Gleichung (4.22):

$$M_M = 1 + \frac{B}{w_{GS} + w_0}$$

Sie führt bei einem Freiheitsgrad von $f = 18$ und einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,90$ für die Parameter der Funktion zu den Werten $B = 157,69$ und $w_0 = 24,24$. Damit lautet der Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilien:

$$M_M = 1 + \frac{157,69}{w_{GS} + 24,24} \quad (6.3)$$

Abbildung 6.3 zeigt eine hohe Übereinstimmung zwischen den berechneten und den erhobenen Werten.

6.3.2.3 Entscheidungsalgorithmus für die Verkehrsbeteiligungsquote

Abbildung 6.4 enthält die Wertepaare ($w_{GS}; VB$) für alle die Städte, für die stadtsspezifische Angaben zur Verkehrsbeteiligungsquote vorliegen, sowie das in Kapitel 4.2.3 bestimmte Wertepaar (0;93,5%). Es fällt auf, dass die durch ein Dreieck bezeichnete Verkehrsbeteiligungsquote für Nürnberg mit 82,9 Prozent relativ weit außerhalb der Punktwolke liegt. Bei Interpolation zwischen der Punktwolke und dem Wert für $w_{GS} = 0$ entspricht diese Verkehrsbeteiligungsquote einem Gesamtsystem-Widerstand von weniger als 20 Widerstandseinheiten. Wegen der in den Kapiteln 4.1.2 und 6.3.2.1 beschriebenen hohen Empfindlichkeit der Verkehrsbeteiligungsquote gegenüber dem Antwortverhalten und der Erhebungsmethode bleibt das Wertepaar für Nürnberg bei der Regressionsrechnung unberücksichtigt, auch wenn eine Einbeziehung dieses Wertepaars zu einer nur geringfügig veränderten Lage der Regressionskurve im Bereich der Punktwolke führen würde.

Die Regression für die Verkehrsbeteiligungsquote erfolgt mit der Funktionsform nach Gleichung (4.24):

$$VB = \frac{C}{w_{GS}^{\alpha} + D}$$

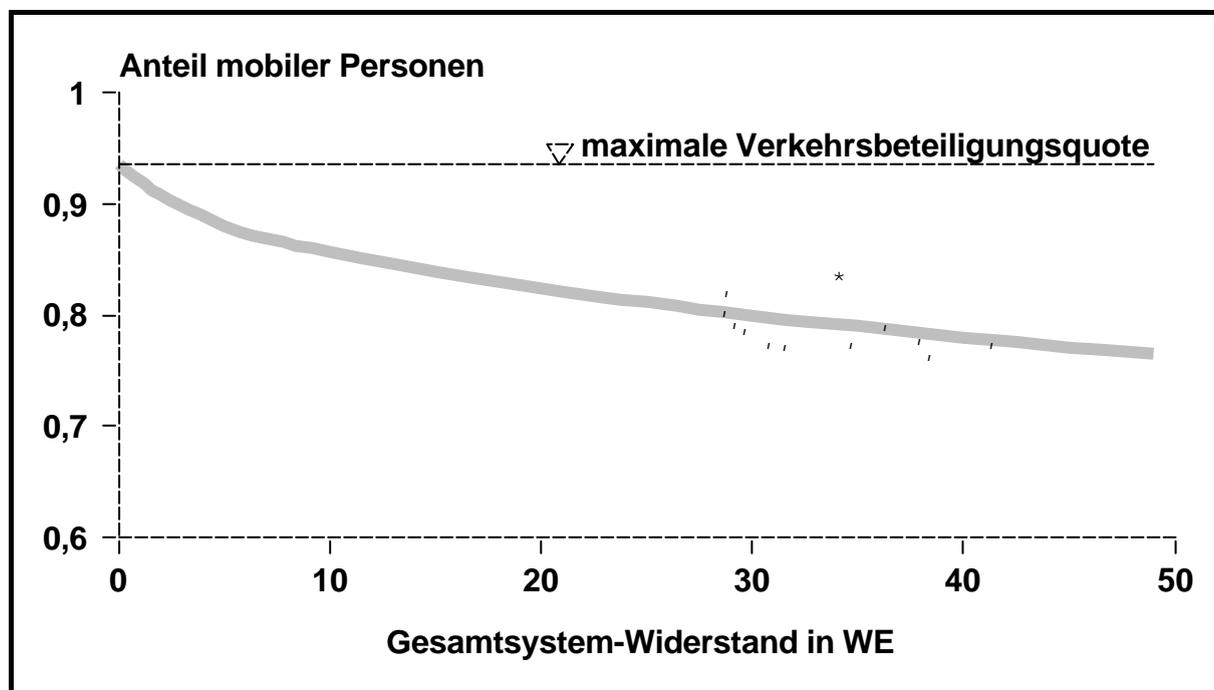


Abbildung 6.4: Abhängigkeit der Verkehrsbeteiligungsquote vom Gesamtsystem-Widerstand für *alle Wege*: Wertepaare und Regression

Die Regressionsrechnung führt bei einem Freiheitsgrad von $f = 8$ und einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,92$ zu Werten für die Parameter von $C = 36,88$, $D = 39,44$ und $\alpha = 0,5586$.

Somit lautet die Gleichung für die Verkehrsbeteiligungsquote:

$$VB = \frac{36,88}{w_{GS}^{0,5586} + 39,44} \quad (6.4)$$

6.3.2.4 Maßnahmenreagibilität des gesamten Verkehrserzeugungsmodells

Mit den Gleichungen (6.3) und (6.4) liegen die Parameter für die Entscheidungsalgorithmen des Verkehrserzeugungsmodells vor, anhand derer gemäß Kapitel 4.5.4 nun der Nachweis der Maßnahmenreagibilität des gesamten Verkehrserzeugungsmodells geführt werden muss. Dazu muss nachgewiesen werden, dass die linke Seite der Ungleichung (A 3.1) nach Anhang 3 für kein w_{GS} den Wert Null annimmt.

Eine numerische Analyse anhand der Parameter aus den Gleichungen (6.3) und (6.4) zeigt, dass die linke Seite dieser Ungleichung keine triviale Lösung besitzt.

6.3.3 Fazit – alle Wege

Die Widerstände, die sich aufgrund der Ansätze zur Berechnung der Angebotsmerkmale (Kapitel 5 und 6.2.3) ergeben, konnten erfolgreich auf Plausibilität geprüft werden. Anhand dieser Widerstände ist es gelungen, die theoretisch hergeleiteten Funktionsformen der Entscheidungsalgorithmen sowohl für die Mobilitätsrate der Mobilien als auch für die Verkehrsbeteiligungsquote zu validieren. Damit konnte erstmals die Aufgabe erfolgreich gelöst werden, ein maßnahmenreagibles Verkehrserzeugungsmodell auf der Basis einer umfassenden Verkehrsangebotsmodellierung einschließlich deren subjektiver Bewertung für *alle Wege* zu entwickeln.

Bei der praktischen Anwendung ermöglicht das neue Verkehrserzeugungsmodell zudem einen qualitativen Sprung, weil einerseits keine fallspezifische Kalibrierung der Parameter der Algorithmen mehr erforderlich ist und andererseits – wie die Regressionen zeigen – mit dem Modell eine hohe Genauigkeit erreicht wird.

6.4 Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für den Freizeitverkehr

6.4.1 Plausibilitätsprüfungen – Freizeitwege

Als Vorbereitung der Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für die Freizeitwege werden (analog zu Kapitel 6.3.1) die verkehrsmittelspezifischen Widerstände je Entfernungsstufe für diesen Reisezweck berechnet und auf Plausibilität geprüft.

Dazu sind die Widerstandsparameter für den Freizeitverkehr (siehe Anlagen 7 und 10) anhand der Ansätze aus den Kapiteln 5 und 6.2.3 zu bestimmen.

Für die Plausibilitätsprüfungen stehen ebenfalls die Auswertungen der Erhebungen von Socialdata zur Verfügung. Sie enthalten für den Freizeitverkehr aber keine Werte zu verkehrsmittelspezifischen mittleren Wegeweiten, für eine Reihe von Städten bieten sie jedoch Angaben zur Verkehrsmittelwahl. Weitere Kontrollmöglichkeiten zusätzlich zur Plausibilitätsprüfung hinsichtlich des Modal-Split wären zwar wünschenswert, da aber die verkehrsmittelspezifischen Widerstände je Entfernungsstufe für *alle Wege* und für die *Freizeitwege* anhand der gleichen Methoden ermittelt werden und sich die Widerstände für *alle Wege* in Kapitel 6.3.1 als sehr plausibel herausgestellt haben, ist das Fehlen weiterer Vergleichswerte von geringerer Bedeutung. Die Prüfung des Modal-Split auf Plausibilität geschieht für die sechs Städte, für die die Auswertungen der Erhebungen entsprechende Angaben enthalten.

Für den Modal-Split existieren unterschiedliche Vergleichswerte (vergleiche Kapitel 6.2.4.2), die jedoch nicht immer übereinstimmen (vergleiche Anlage 9). Um trotz des Fehlens einiger Vergleichswerte für den Freizeitverkehr dennoch einen mit dem Modal-Split für *alle Wege* konsistenten Vergleichssplit festlegen zu können, wird davon ausgegangen, dass die Abweichungen zwischen den Vergleichswerten für die einzelne Stadt im *Freizeitverkehr* ähnlich ausfallen wie für *alle Wege*.

Zum Freizeitverkehr zählen auch Wege, bei denen «der Weg das Ziel ist». „Originär ist hingegen ein Freizeitverkehr, bei dem die direkte Nutzenstiftung im Vordergrund steht. Denken wir an (...) die Fahrt mit dem Motorrad oder Cabrio als Genießen von Beschleunigung, Landschaft und Gefahr. In allen Fällen ist hier der Transportvorgang primär Selbstzweck oder Endzweck (sog. intrinsisch motivierter Verkehr).“ [40, Seite 18] Es wäre möglich, dass das Aufkommen intrinsisch motivierter Wege weitgehend unabhängig vom Verkehrsangebot ist und insofern bei Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Verkehrsangebot und der Verkehrsnachfrage unberücksichtigt bleiben müsste. Die Berechnung des Umfangs dieses Segments

des Freizeitverkehrs für verschiedene Jahrgänge des Deutschen Mobilitätspanels [109] ergibt, dass sein Anteil lediglich zwischen 2,2 und 2,6 Prozent aller Wege ausmacht und folglich nicht gesondert betrachtet werden muss.

Die Festlegung des Vergleichssplits für den Freizeitverkehr enthält Anlage 11.

Bei der Verwendung der Angaben für den Modal-Split ist der im Folgenden diskutierten erreichbaren Genauigkeit dieser Werte Rechnung zu tragen. Bezogen auf *alle Wege* ergab sich nach Kapitel 6.3.1.1 eine sinnvolle Toleranz von 0,3 Prozentpunkten. Der Anteil der *Freizeitwege* an *allen Wegen* der städtischen Bevölkerung liegt gemäß Tabelle 6.9 bei 32 Prozent und damit etwas unter den Werten für die gesamte Bundesrepublik Deutschland nach Abbildung 1.1. Die Grundgesamtheit, die den Modal-Split Angaben zugrunde liegt, reduziert sich für den Freizeitverkehr gegenüber den Werten in Kapitel 6.3.1.1 folglich auf 32 Prozent. Die für die Modal-Split Werte erreichbare Genauigkeit liegt damit bei etwa einem Prozentpunkt.

Stadt		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
Bonn (1991)	erhoben ¹⁾	38,65	12,45	8,2	40,7
	berechnet	38,65	12,45	9,48	39,42
Düsseldorf	erhoben ¹⁾	39,11	9,82	15,25	35,83
	berechnet	39,10	9,82	14,99	36,09
Hamburg	erhoben ¹⁾	23,39	14,88	17,60	44,12
	berechnet	23,39	14,89	16,64	45,08
Hannover	erhoben ¹⁾	25,57	17,38	17,08	39,97
	berechnet	25,57	17,38	16,23	40,83
Nürnberg	erhoben ¹⁾	29,0	16,9	13,0	41,1
	berechnet	29,01	16,89	13,91	40,19
Wuppertal	erhoben ¹⁾	32,55	1,20	12,95	53,30
	berechnet	32,55	1,20	13,47	52,78
¹⁾ Vergleichssplit nach Anlage 11					

Tabelle 6.8: Gegenüberstellung von Vergleichssplit und berechnetem Modal-Split in % – Freizeitwege

Die Gegenüberstellung von Vergleichssplit und berechneten Werten für den Modal-Split enthält Tabelle 6.8. Für den ÖPNV und den MIV zeigt sich unter Berücksichtigung der erreichbaren Genauigkeit eine gute Übereinstimmung der Werte.

Für den Fußgänger- und Fahrradverkehr müssen die Qualitätsfaktoren wiederum so gewählt werden, dass die Modal-Split Anteile übereinstimmen, um so den Zusammenhang zwischen den Qualitätsfaktoren bezogen auf *alle Wege* und denen im *Freizeitverkehr* zu ermitteln. Dieser Zusammenhang ist zur Berechnung der Qualitätsfaktoren im Freizeitverkehr für die Städte, für die die Auswertungen der Erhebungen keine reisezweckspezifischen Angaben zum Modal-Split enthalten, erforderlich. Es stellt sich heraus, dass die Qualitätsfaktoren im *Freizeitverkehr* für beide nicht-motorisierte Verkehrsmittel im Mittel bei 72 Prozent der Werte für *alle Wege* liegen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich auch für den Freizeitverkehr eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den anhand von Erhebungen bestimmten und den mit Hilfe der Widerstände berechneten Modal-Split Werten zeigt. Der in politischen aber auch fachlichen Diskussionen oft als sehr bedeutsam eingestufte intrinsisch motivierte Verkehr macht lediglich etwa 2,5 Prozent aller Wege aus und wird daher nicht gesondert betrachtet.

6.4.2 Validierung – Freizeitwege

6.4.2.1 Vergleichswerte aus Erhebungen

Für die Validierung sind sowohl die Gesamtsystem-Widerstände als auch die Ergebnisse der Socialdata-Erhebungen für die Mobilitätsrate und die Verkehrsbeteiligungsquote erforderlich.

Nachdem in Kapitel 6.4.1 auf die verkehrsmittelspezifischen Widerstände je Entfernungsstufe als Grundlage zur Berechnung des Gesamtsystem-Widerstands eingegangen wurde, bleibt noch, die Auswertungen der Erhebungen im Hinblick auf die Validierung genauer darzustellen.

Die **Mobilitätsrate Aller** für den *Freizeitverkehr* lässt sich anhand der in den Auswertungen angegebenen Werte für die Mobilitätsrate Aller (*alle Wege*) sowie dem Anteil der *Freizeitwege* an *allen Wegen* berechnen. Während die Mobilitätsrate Aller (*alle Wege*) für alle Städte ausgewiesen beziehungsweise bestimmbar ist, liegt der Anteil

der *Freizeitwege* nur für sieben Städte vor. Alle anderen Auswertungen enthalten jedoch den Anteil der Freizeitaktivitäten an allen Aktivitäten. Eventuelle Unterschiede zwischen dem Anteil der Wege und dem Anteil der Aktivitäten resultieren aus der Zuordnung der Wege, die an der eigenen Wohnung enden, zu dem Reisezweck, dem die Aktivität an der Quelle dieser Wege diene. Aufgrund der Werte in den Spalten 2 und 3 der Tabelle 6.9 für alle Städte, für die beide Anteile vorliegen, stellt sich heraus, dass die Unterschiede zwischen beiden Anteilen marginal ausfallen.

Stadt	$A_{\text{Freizeitaktivitäten}}$	$A_{\text{Freizeitwege}}$	$\frac{VB_{\text{FrV}}}{VB}$
Bonn (1991)	30 %	30 %	0,51
Dortmund	33 %	34 %	-
Düsseldorf	29 %	30 %	0,46
Hamburg	33 %	33 %	0,50
Hannover	32 %	32 %	0,48
Nürnberg	33 %	34 %	-
Wuppertal	30 %	30 %	0,43
Mittelwert	31,4 %	31,8 %	0,476
$A_{\text{Freizeitaktivitäten}}$: Anteil der Freizeitaktivitäten an allen Aktivitäten $A_{\text{Freizeitwege}}$: Anteil der <i>Freizeitwege</i> an <i>allen Wegen</i> VB_{FrV} / VB : Anteil der mobilen Personen, die am Stichtag Freizeitwege durchführen			

Tabelle 6.9: Stadtspezifische Werte dreier Kenngrößen zum Freizeitverhalten

([154], [157], [158], [160], [161], [162], [169])

Die Mobilitätsrate Aller für den *Freizeitverkehr* kann somit für alle untersuchten Städte über die Mobilitätsrate Aller (*alle Wege*) sowie entweder den Anteil der *Freizeitwege* an *allen Wegen* oder den Anteil der Freizeitaktivitäten an allen Aktivitäten berechnet werden.

Die **Verkehrsbeteiligungsquote** für den *Freizeitverkehr* ergibt sich anhand der Auswertungen der Erhebungen als das Produkt aus dem Anteil der Personen, die am Stichtag mindestens einen Freizeitweg durchführen, an allen mobilen Personen und der Verkehrsbeteiligungsquote bezogen auf *alle Wege*. Damit beeinflusst der Wert für die Verkehrsbeteiligungsquote (*alle Wege*) die Größe der Verkehrsbeteiligungsquote im *Freizeitverkehr*. Der andere Faktor, der Anteil der mobilen Personen, die Freizeitaktivitäten am Stichtag realisieren, liegt nur für fünf Städte vor (vergleiche Tabelle 6.9), so dass die Datenbasis für die Verkehrsbeteiligungsquote im *Freizeitverkehr* begrenzt ist.

Zusätzlich zu den Wertepaaren für die einzelnen Städte wird, analog zu Kapitel 4.2.3, die Verkehrsbeteiligungsquote für einen Gesamtsystem-Widerstand im Freizeitverkehr von ungefähr Null abgeschätzt. Wäre der Anteil der mobilen Personen, die Freizeitaktivitäten am Stichtag durchführen, unabhängig vom Gesamtsystem-Widerstand, ergäbe sich aus der maximalen Verkehrsbeteiligungsquote für *alle Wege* (nach Kapitel 4.2.3) und dem Maximum aus Tabelle 6.9 von 51 Prozent eine maximale Verkehrsbeteiligungsquote für den *Freizeitverkehr* von:

$$93,5 \% \cdot 0,51 = 47,7 \%$$

Da es unwahrscheinlich ist, dass dieser Anteil nicht vom Gesamtsystem-Widerstand abhängt und Angaben zu den Gründen für die Nicht-Teilnahme am *Freizeitverkehr* nicht vorliegen, wird angesetzt, dass der Anteil bei sinkendem Widerstand in ähnlichem Maße zunimmt wie die Verkehrsbeteiligungsquote bezogen auf *alle Wege*. Der Mittelwert der Verkehrsbeteiligungsquote über alle untersuchten Städte liegt bei 78,9 Prozent, die obere Grenze beträgt 93,5 Prozent (vergleiche Kapitel 4.2.3). Bei einem mittleren Anteil der im *Freizeitverkehr* mobilen Personen an allen Mobilien von 0,476 nach Tabelle 6.9 ergibt sich:

$$\lim_{w_{GS,FrV} \rightarrow 0} [VB_{FrV}(w_{GS,FrV})] = 93,5 \% \cdot \left(0,476 \cdot \frac{93,5 \%}{78,9 \%} \right)$$

$$= 53 \%$$

Für die **Mobilitätsrate der Mobilen** im *Freizeitverkehr* enthalten die Auswertungen der Erhebungen keine expliziten Angaben. Sie lässt sich jedoch aus der Mobilitätsrate Aller und der Verkehrsbeteiligungsquote für die Städte, für die letztere vorliegt, berechnen. Aufgrund der Überlegungen zur Genauigkeit der Verkehrsbeteiligungsquote (*alle Wege*) in Kapitel 6.3.2.1 sowie der Rundung der Prozentangaben auf ganze Zahlen sowohl beim Anteil der *Freizeitwege* an *allen Wegen* als auch des Anteils der mobilen Personen, die Freizeitaktivitäten durchführen, unterliegen die Werte für die Mobilitätsrate der Mobilen einer gewissen Ungenauigkeit. Bis weitere Daten zur Mobilitätsrate der Mobilen und zur Verkehrsbeteiligungsquote zur Verfügung stehen, sollten sich aufgrund der vorgenannten Überlegungen Aussagen bei der Anwendung des Modells für den Freizeitverkehr auf die Verkehrsnachfrage aller Personen ohne Unterscheidung in mobile und nicht mobile Personen beziehen.

Die *Freizeitwege* machen nach Tabelle 6.9 etwa 31 Prozent *aller Wege* aus. Dadurch fällt die den Angaben zum Modal-Split zugrunde liegende Grundgesamtheit im Freizeitverkehr gegenüber *allen Wegen* wesentlich niedriger aus (vergleiche Kapitel 6.4.1), so dass die Genauigkeit der Aussagen sinkt. Dagegen beziehen sich die beiden, in den Auswertungen von Socialdata angegebenen Kenngrößen der Verkehrserzeugung für den *Freizeitverkehr*, die Mobilitätsrate Aller und die Verkehrsbeteiligungsquote, auch bei reisezweckspezifischer Betrachtung auf alle Einwohner. Der Umfang der Grundgesamtheit und damit die Zuverlässigkeit der Werte ändert sich gegenüber Kapitel 6.3.1 folglich nicht.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass einerseits für alle untersuchten Städte erhobene Werte für die Mobilitätsrate Aller im *Freizeitverkehr* ermittelbar sind und andererseits eine Unterscheidung in bezüglich des Freizeitverkehrs mobile und nicht mobile Personen nur für einen Teil aller Städte erfolgen kann. Das bedeutet, dass die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells insgesamt auch für den Freizeitverkehr problemlos möglich ist. Anhand der Mobilitätsrate Aller für den Freizeitverkehr lässt sich die Kombination der beiden Entscheidungsalgorithmen für die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote, deren Funktionsformen bereits durch die theoretische Herleitung (Kapitel 4) und die Validierung für *alle Wege* (Kapitel 6.3.2) als gesichert gelten können, auch für den *Freizeitverkehr* validieren.

6.4.2.2 Einmalige Kalibrierung

In Abbildung 6.5 sind für die **Mobilitätsrate der Mobilen** im Freizeitverkehr die der Regressionsrechnung zugrundeliegenden Wertepaare und die Ausgleichskurve dargestellt.

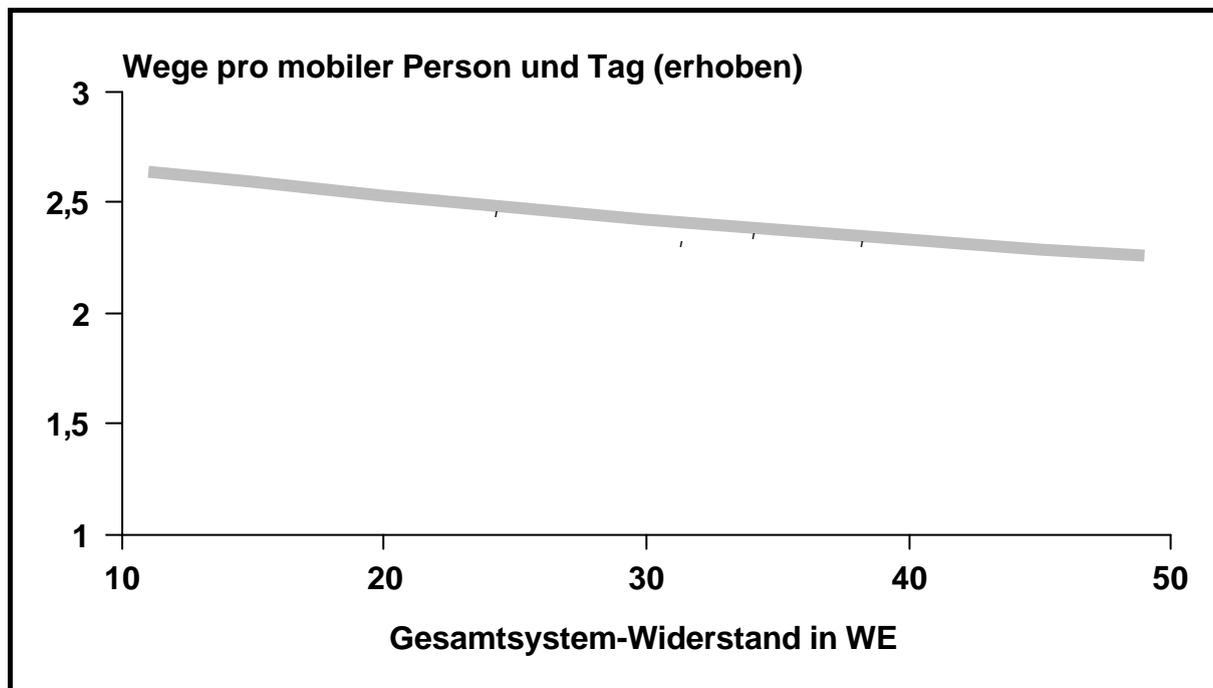


Abbildung 6.5: Abhängigkeit der Mobilitätsrate der Mobilen vom Gesamtsystem-Widerstand für den Freizeitverkehr: Wertepaare und Regression

Aufgrund der Regression ergibt sich die Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen im Freizeitverkehr zu:

$$M_{M,FrV} = 1 + \frac{202,76}{w_{GS,FrV} + 112,43} \quad (6.5)$$

Abbildung 6.6 enthält die für die Bestimmung der Parameter der Funktion für die **Verkehrsbeteiligungsquote** zur Verfügung stehenden Wertepaare sowie die Regressionskurve.

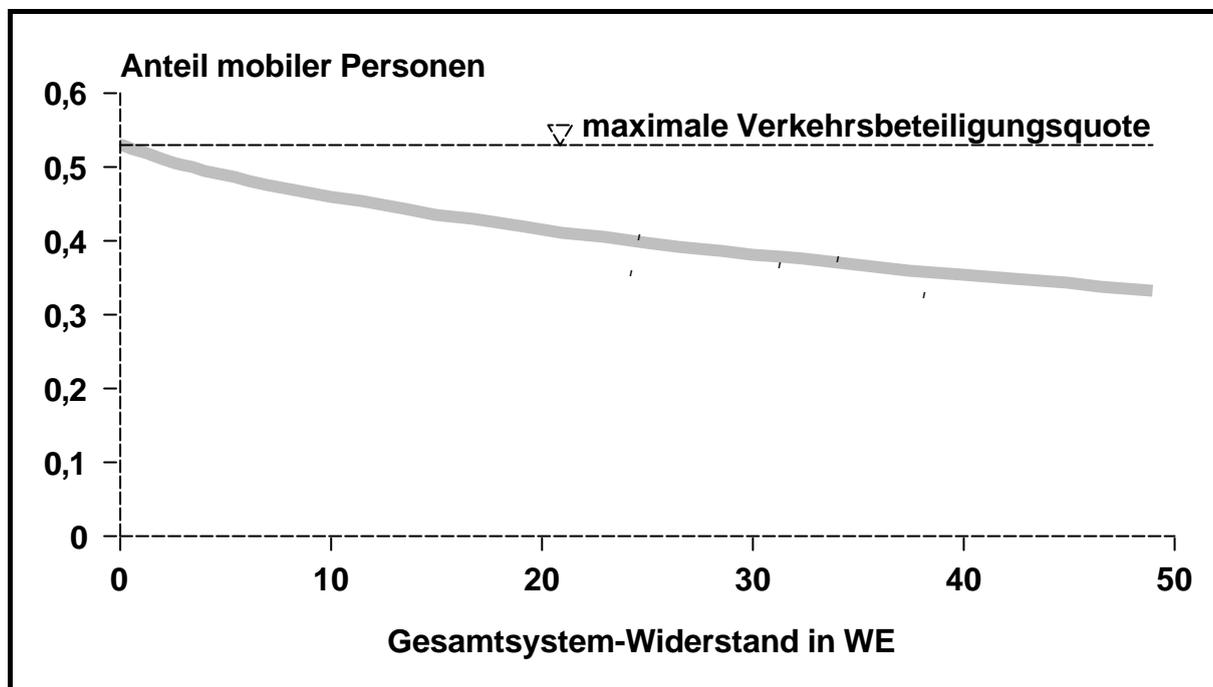


Abbildung 6.6: Abhängigkeit der Verkehrsbeteiligungsquote vom Gesamtsystem-Widerstand für den *Freizeitverkehr*: Wertepaare und Regression

Die Regression liefert die Funktionsgleichung:

$$VB_{FrV} = \frac{24,56}{w_{GS,FrV}^{0,8515} + 46,36} \quad (6.6)$$

6.4.2.3 Validierung des gesamten Verkehrserzeugungsmodells

Zur Darstellung der Abbildungsgenauigkeit des Verkehrserzeugungsmodells für den Freizeitverkehr sind in Abbildung 6.7 für die Mobilitätsrate Aller sowohl die Wertepaare als auch der als Produkt aus den Gleichungen (6.5) und (6.6) berechnete Funktionsverlauf dargestellt.

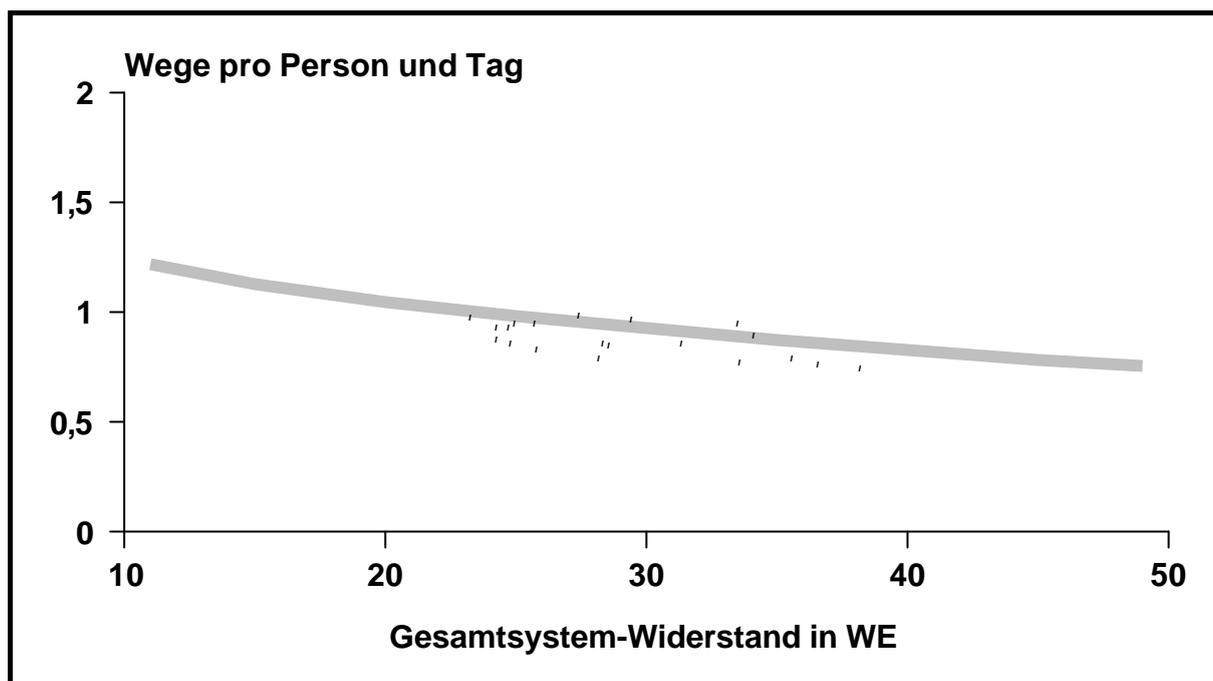


Abbildung 6.7: Abhängigkeit der Mobilitätsrate Aller vom Gesamtsystem-Widerstand für den *Freizeitverkehr*: Wertepaare und Regression

Zwischen erhobenen und berechneten Werten zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Im Zusammenhang mit den Untersuchungen zur Abbildungsgenauigkeit wird in Kapitel 6.6 der in Abbildung 6.7 dargestellte Vergleich statistisch analysiert.

Wie auch für *alle Wege* (vergleiche Kapitel 6.3.2.4) führen auch die Parameter der Entscheidungsalgorithmen gemäß der Gleichungen (6.5) und (6.6) dazu, dass die linke Seite der Ungleichung (A 3.1) keine triviale Lösung besitzt. Damit erweist sich das Verkehrserzeugungsmodell insgesamt auch für den *Freizeitverkehr* als maßnahmenreagibel.

6.4.3 Fazit – Freizeitwege

Trotz der schwachen Datenlage für den Freizeitverkehr kann ein maßnahmenreagibles Verkehrserzeugungsmodell validiert werden. Auch für den Freizeitverkehr fällt der Einfluss des Verkehrsangebots auf die Verkehrsnachfrage, deutlich aus.

Verkehrserzeugungsmodelle für andere Reisezwecke lassen sich gleichfalls auf dem vorgestellten Weg entwickeln.

6.5 Validierung des Ansatzes zur Berechnung der Qualität im Fahrradverkehr

Die Abbildung des Verkehrsangebots für 20 Städte in Kapitel 6.3.1 bietet die Möglichkeit, den in Kapitel 5.6 postulierten Zusammenhang zwischen der Bewertung der Qualität des Verkehrsangebots im Fahrradverkehr und Widerstand(skomponenten) zu validieren. Nach Gleichung (5.26) soll gelten:

$$N_R = f\left(\frac{\gamma_R}{W_{GS, ohne R}}\right)$$

Für die Bestimmung der Eingangsgrößen dieser Gleichung liefern die Berechnungen zu Kapitel 6.3.1 für jede Stadt sowohl die verkehrsmittelspezifischen Widerstände als auch den Qualitätsfaktor γ_R für den Fahrradverkehr. Die verkehrsmittelspezifischen Widerstände sowie die daraus berechenbaren Modal-Split Anteile erlauben die Bestimmung des $w_{GS, ohne R}$ anhand von Gleichung (5.25). Für die Note, die die Bewertung der Qualität des Verkehrsangebots im Fahrradverkehr beschreibt, liegen erhobene Werte aus [82] für 60 Städte in der Bundesrepublik Deutschland vor (vergleiche Anlage 6).

Folglich kann das Verhältnis $\gamma_R/w_{GS, ohne R}$ für jede Stadt bestimmt und der Note N_R für den Fahrradverkehr gegenübergestellt werden. Die entsprechenden Wertepaare enthält Abbildung 6.8.

Aus der Lage der Punkte lässt sich die Funktionsform für den gesuchten Zusammenhang im Sinne eines induktiven Vorgehens „raten“. Aufgrund der Punktwolke in der Abbildung erscheint eine Exponentialfunktion zur Beschreibung des Zusammenhangs am besten geeignet.

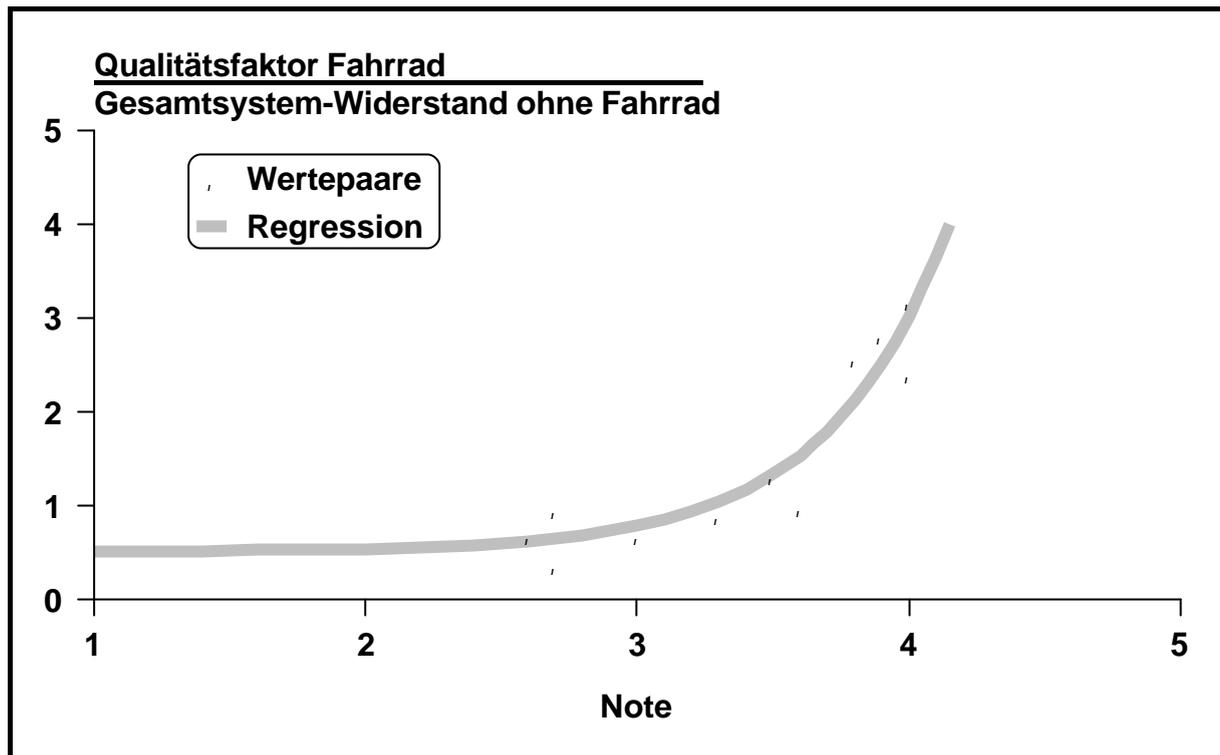


Abbildung 6.8: Abhängigkeit des Quotienten $\gamma_R / w_{GS, ohne R}$ von der Note für den Fahrradverkehr: Wertepaare und Regression

Diese These wird gestützt durch die Forschungsergebnisse von Walther [91]. Bei der Berechnung der Bewertung der Qualität von ÖV und MIV aus dem Widerstandsverhältnis hat sich diese Funktionsform ebenfalls als am besten geeignet herausgestellt (vergleiche Abbildung 2.7, links unten).

Eine exponentielle Regression durch die Punkte nach Abbildung 6.8 liefert bei einem Freiheitsgrad von $f = 10$ und einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,88$ die Funktion:

$$\gamma_R = w_{GS, ohne R} \cdot (0,517 + 3,42 \cdot 10^{-4} \cdot e^{2,224 \cdot N_R})$$

Mit diesem Zusammenhang kann ein weiterer Aspekt der subjektiven Bewertung des Verkehrsangebots mit dem VIA-Widerstandsmodell berechnet werden. Die statistische Güte des Zusammenhangs fällt in Anbetracht der Genauigkeit der Erhebungswerte (Stichprobenumfang und -ziehung – vergleiche Kapitel 5.6.4) sehr hoch aus.

Der Ansatz ermöglicht für weitere Anwendungen der Widerstandsformulierung nach Walther (Kapitel 2.3.2), ohne Kenntnis des Modal-Split den Qualitätsfaktor aus der Note für den Fahrradverkehr (siehe Anlage 6) zu berechnen.

6.6 Abbildungsgenauigkeit

Mit den Berechnungen in den Kapiteln 6.3 und 6.4 wurden erstmals für eine größere Anzahl von Untersuchungsgebieten sowohl die Ansätze zur Bestimmung der Widerstandsparameter nach Kapitel 5 angewendet als auch anhand der Werte für die Parameter verschiedene Kenngrößen der Verkehrsnachfrage mit dem VIA-Widerstandsmodell bestimmt. Damit ergibt sich erstmals die Möglichkeit, auch im Hinblick auf Anwendungen in der Praxis, statistische Aussagen zur Abbildungsgenauigkeit des Modells zu treffen.

Die statistische Auswertung erfolgt für die Kenngrößen der Verkehrsnachfrage, für die in größerem Umfang erhobene Werte zur Verfügung stehen. Dazu zählen gemäß der Kapitel 6.3 und 6.4 für *alle Wege* der Modal-Split, die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote sowie für den Freizeitverkehr die Mobilitätsrate Aller.

Um die statistische Güte der Modellergebnisse zu ermitteln, werden die Verteilungen der Unterschiede zwischen den erhobenen und den berechneten Werten herangezogen. Die Beschreibung dieser Verteilungen erfolgt anhand von zwei statistischen Größen. Die statistischen Auswertungen basieren auf der Annahme, dass die Unterschiede normalverteilt sind. Für diese Unterschiede werden die Standardabweichung sowie das Intervall bestimmt, innerhalb dessen die Unterschiede mit 98 prozentiger Wahrscheinlichkeit liegen. Die entsprechenden Werte enthält Tabelle 6.10.

	A_{ÖPNV} alle Wege	A_{MIV} alle Wege	M_M alle Wege	VB alle Wege	M_A Freizeit
Einheit	%-Punkte	%-Punkte	$\frac{\text{Wege}}{\text{mobilePerson} \cdot \text{Tag}}$	%-Punkte	$\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
Standardabweichung	0,19	0,20	0,070	1,2	0,064
1 %-Fraktile	0,45	0,46	0,163	2,9	0,148

Tabelle 6.10: Statistische Auswertung der Übereinstimmung zwischen den erhobenen und den berechneten Werten

Anhand des Anteils des ÖPNV und der Mobilitätsrate der Mobilen werden im Folgenden beispielhaft die Aussagen über die Abbildungsgenauigkeit, die sich aufgrund der Werte in der Tabelle treffen lassen, erläutert.

Für den Modal-Split Anteil des ÖPNV beträgt die 1%-Fraktile 0,45 Prozentpunkte. Das bedeutet, dass das Modell – wenn der Modal-Split Anteil tatsächlich bei beispielsweise 16 Prozent liegt – mit 98 prozentiger Wahrscheinlichkeit einen Wert zwischen 15,55 und 16,45 Prozent liefert. In Anbetracht der zu akzeptierenden Toleranz bei Erhebungswerten (vergleiche Kapitel 6.3.1) erreicht das Modell folglich eine hohe Übereinstimmung mit den Vergleichswerten.

Für die Mobilitätsrate der Mobilen ergibt sich eine Standardabweichung von 0,07 Wegen pro mobiler Person und Tag. Bei einer durchschnittlichen Mobilitätsrate der Mobilen in Höhe von 3,7 Wegen pro mobiler Person und Tag entspricht der Wert für die Standardabweichung einem Unterschied zwischen berechneten und erfragten Werten von weniger als zwei Prozent. Die Streuung um die Werte aus den Erhebungen fällt damit ebenfalls gering aus.

Die statistische Auswertung zeigt abermals die hohe Abbildungsgenauigkeit des VIA-Widerstandsmodells bei der Abbildung der Verkehrsnachfrage.

6.7 Wesentliche Ergebnisse

In diesem Hauptkapitel wurde das Verkehrserzeugungsmodell als Kernstück der Arbeit sowohl für *alle Wege* als auch für die *Freizeitwege* validiert und einmalig geeicht.

Die Bestimmung der Widerstandsparameter erfolgte dabei anhand der in Kapitel 5 entwickelten Ansätze einschließlich einiger Ergänzungen. Die Plausibilitätsprüfungen der auf diese Weise bestimmten Widerstände zeigen eine hohe Genauigkeit. Die Prüfungen bestätigen damit jene Ansätze und führen damit zu einer zusätzlichen Absicherung des Gesamtsystem-Widerstands als Eingangsgröße des Verkehrserzeugungsmodells.

Die Gegenüberstellung des Gesamtsystem-Widerstands und der erhobenen Werte für die Kenngrößen der Verkehrserzeugung zeigt die bereits in Kapitel 1 vermutete große Bedeutung des Verkehrsangebots für die Verkehrsnachfrage auf. Die Regressionsanalysen für diesen Zusammenhang, die anhand der theoretisch hergeleiteten Entscheidungsalgorithmen (vergleiche Kapitel 4) erfolgen, weisen hohe Bestimmtheitsmaße auf.

Schließlich konnte ein Zusammenhang zwischen der erhobenen Bewertung der Qualität des Verkehrsangebots im Fahrradverkehr und der mit Widerständen

modellierten Bewertung gefunden und validiert werden. Dieser Ansatz eröffnet die Möglichkeit, den Qualitätsfaktor aus der Note für den Fahrradverkehr zu bestimmen.

Mit der Validierung ist die Entwicklung des neuen, maßnahmenreagiblen Modells zur reisezweckspezifischen Verkehrserzeugung abgeschlossen. Das Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten des neuen Modells in Forschung und Praxis soll in den beiden folgenden Hauptkapiteln unter anderem anhand von Beispielen gezeigt und gegenüber den Berechnungen zur Validierung durch geeignete Ansätze erweitert werden.

7 Modellanwendungen

- 7.1 Berechnung des induzierten Verkehrs
- 7.2 Verkehrsmodellierung auf der Basis von Verkehrszellen und Verkehrsnetzen

7.1 Berechnung des induzierten Verkehrs

Bei der ersten Modellanwendung wird anhand eines Beispiels die Berechnung der Kenngrößen der Verkehrserzeugung, der Teilmobilitätsraten sowie des induzierten Verkehrs und der Verkehrsverlagerungen aufgezeigt. Dies geschieht zunächst für die Änderung der Verkehrsnachfrage infolge einer Benzinpreiserhöhung analog zu Kapitel 2.1.4.

Die Ergebnisse der Berechnungen weist Tabelle 7.1 aus. Im Weiteren werden

- die einzelnen Rechenschritte beschrieben und
- am Beispiel des OHNE-Falls durchgeführt.

Für die Anwendung des neuen Modells dienen der Vergleichbarkeit halber die gleichen Widerstände wie für das Beispiel in Kapitel 2.1.4 (Tabelle 2.1). Im Hinblick auf die nachfolgenden Rechenschritte sei darauf hingewiesen, dass diese Widerstände, da sie 90 Prozent aller Wege umfassen, höher ausfallen als die Widerstände zu Kapitel 6.

Der Gesamtsystem-Widerstand wird anhand von Gleichung (4.1) berechnet. Er nimmt deshalb den gleichen Wert an wie in Tabelle 2.1:

$$\begin{aligned}w_{\text{GS}} &= \sum_{m=1}^4 (A_m \cdot w_m) \\ &= 26,24 \% \cdot 40,12 \text{ WE} + 9,38 \% \cdot 112,30 \text{ WE} \\ &\quad + 12,77 \% \cdot 82,43 \text{ WE} + 51,61 \% \cdot 20,40 \text{ WE} \\ &= 42,113 \text{ WE}\end{aligned}$$

Die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote lassen sich aus diesem Widerstand anhand der Gleichungen (6.3) und (6.4) bestimmen:

$$\begin{aligned} M_M &= 1 + \frac{157,69}{w_{GS} + 24,24} \\ &= 1 + \frac{157,69}{42,113 + 24,24} \\ &= 3,377 \frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VB &= \frac{36,88}{w_{GS}^{0,5586} + 39,44} \\ &= 1 + \frac{36,88}{42,113^{0,5586} + 39,44} \\ &= 77,6 \% \end{aligned}$$

Da die verkehrsmittelspezifischen Widerstände anders als in Kapitel 6 nicht 85 Prozent aller Wege umfassen, nehmen die Kenngrößen der Verkehrserzeugung unrealistisch niedrige Werte an. Die Mobilitätsrate Aller ist das Produkt aus der Mobilitätsrate der Mobilen und der Verkehrsbeteiligungsquote:

$$\begin{aligned} M_A &= M_M \cdot VB \\ &= 3,377 \cdot 77,6 \% \\ &= 2,620 \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}} \end{aligned}$$

Aus der Mobilitätsrate Aller und den Verkehrsmittelanteilen lassen sich die Teilmobilitätsraten berechnen. Beispielsweise ergibt sich die Teilmobilitätsrate für den MIV zu:

$$\begin{aligned} TM_{MIV} &= M_A \cdot A_{MIV} \\ &= 2,620 \cdot 51,61 \% \\ &= 1,352 \frac{\text{MIV} - \text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}} \end{aligned}$$

		OHNE-Fall	MIT-Fall (MIV)
Widerstände	zu Fuß	40,12 WE	40,12 WE
	Fahrrad	112,30 WE	112,30 WE
	ÖPNV	82,43 WE	82,43 WE
	MIV	20,40 WE	22,65 WE
Verkehrsmittelanteile	zu Fuß	26,24 %	27,66 %
	Fahrrad	9,38 %	9,88 %
	ÖPNV	12,77 %	13,46 %
	MIV	51,61 %	48,99 %
Verkehrserzeugung	W_{GS}	42,113 WE	44,384 WE
	M_M	3,377 $\frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}}$	3,298 $\frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}}$
	VB	77,6 %	77,2 %
	M_A	2,620 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	2,546 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
Teilmobilitätsraten	zu Fuß	0,688 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,704 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	Fahrrad	0,246 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,252 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	ÖPNV	0,335 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,343 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	MIV	1,352 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	1,248 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
induzierter Verkehr		$2,546 - 2,620 = -0,074 \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	
Verkehrsverlagerungen	zu Fuß	$0,704 - 0,688 = 0,016 \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	
	Fahrrad	$0,252 - 0,246 = 0,006 \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	
	ÖPNV	$0,343 - 0,335 = 0,008 \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	
	MIV	$-(0,016 + 0,006 + 0,008) = -0,030 \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$ $1,248 - 1,352 - (-0,074) = -0,030 \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	

Tabelle 7.1: Beispiel für Nachfrageberechnungen mit dem neuen Verkehrserzeugungsmodell – Widerstandsänderung im MIV

Die Berechnung der Verkehrsmittelanteile, der Verkehrserzeugung und der Teilmobilitätsraten lässt sich für beliebige Verkehrsangebotssituationen durchführen. Auch der MIT-Fall in Tabelle 7.1 basiert auf den Widerständen nach Tabelle 2.1. Die Veränderungen der Teilmobilitätsraten zwischen den beiden Zuständen in Tabelle 7.1 nehmen mit dem neuen Verkehrserzeugungsmodell plausible Werte an.

Sie resultieren aus Verkehrsverlagerungen und gegebenenfalls induziertem Verkehr. Der induzierte Verkehr ergibt sich im Beispiel als Rückgang der Mobilitätsrate Aller zu -0,074 Wegen pro Person und Tag. Verkehrsverlagerungen finden aufgrund des steigenden Widerstands im MIV auf die nicht-motorisierten Verkehrsmittel und den ÖPNV statt. Da im Beispiel der induzierte Verkehr nur dem MIV zugeordnet werden darf, weil sich nur dort der Widerstand ändert, entspricht bei den anderen Verkehrsmitteln die Änderung der Teilmobilitätsraten allein den Verkehrsverlagerungen.

Aus der Änderung dieser Teilmobilitätsraten lässt sich – da die Summe der Verkehrsverlagerungen stets Null betragen muss – die Menge der vom MIV weg verlagerten Fahrten bestimmen. Diese Verlagerungen ergeben sich auch aus der Änderung der Teilmobilitätsrate im MIV abzüglich des induzierten Verkehrs.

In dem Beispiel nach Tabelle 7.1 ändert sich als einziger Widerstand der des MIV. Bei Modifikationen des Verkehrsangebots, die mehrere Verkehrsmittel betreffen, erfolgt die gleiche Rechnung wie in Tabelle 7.1 unter Ansatz der neuen Widerstände für mehrere Verkehrsmittel zur Bestimmung der Verkehrsmittelanteile, der Verkehrserzeugung und der Teilmobilitätsraten erforderlich.

Falls auch eine Unterscheidung nach Verkehrsverlagerungen und induziertem Verkehr gewünscht ist, muss zusätzlich für jedes Verkehrsmittel die Änderung der Mobilitätsrate Aller berechnet werden, die sich ergäbe, wenn sich nur der Widerstand dieses Verkehrsmittels gegenüber der Ausgangssituation änderte. Die Superposition der so bestimmten Änderungen der Mobilitätsrate Aller unterscheidet sich von der Anzahl der induzierten Wege pro Personen und Tag bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller Änderungen des Verkehrsangebots durch die Synergieeffekte.

Zur Verdeutlichung des Rechenwegs bei der Veränderung der Widerstände mehrerer Verkehrsmittel dient ein weiteres Beispiel. Es umfasst die gleichzeitige Erhöhung sowohl des Widerstands im MIV nach Tabelle 7.1 als auch des Widerstands des ÖV um zwei Widerstandseinheiten. Die gesamte Veränderung der Nachfrage gibt die letzte Spalte der Tabelle 7.2 wieder.

		MIT-Fall (ÖV)	MIT-Fall (ÖV und MIV)
Widerstände	zu Fuß	40,12 WE	40,12 WE
	Fahrrad	112,30 WE	112,30 WE
	ÖPNV	84,43 WE	84,43 WE
	MIV	20,40 WE	22,65 WE
Verkehrsmittelanteile	zu Fuß	26,44 %	27,88 %
	Fahrrad	9,44 %	9,96 %
	ÖPNV	12,13 %	12,79 %
	MIV	51,99 %	49,38 %
Verkehrserzeugung	W_{GS}	42,424 WE	44,734 WE
	M_M	3,365 $\frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}}$	3,286 $\frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}}$
	VB	77,56 %	77,16 %
	M_A	2,610 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	2,536 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
Teil-mobilitäts-raten	zu Fuß	0,690 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,707 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	Fahrrad	0,247 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,253 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	ÖPNV	0,317 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,324 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	MIV	1,357 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	1,252 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
induzierter Verkehr		-0,010 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	-0,084 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
Verkehrsverlagerungen	zu Fuß	0,002 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,019 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	Fahrrad	0,001 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	0,007 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	ÖPNV	-0,008 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	-0,001 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
	MIV	0,005 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	-0,026 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$

Tabelle 7.2: Beispiel für Nachfrageberechnungen mit dem neuen Verkehrserzeugungsmodell – Widerstandsänderung im ÖV sowie im ÖV und im MIV

Zusätzlich ist der Einfluss der Änderung jedes einzelnen verkehrsmittelspezifischen Widerstands gegenüber dem OHNE-Fall auf die Mobilitätsrate getrennt zu bestimmen. Für den MIV steht diese Rechnung mit der letzten Spalte der Tabelle 7.1 bereits zur Verfügung, für den ÖV vergleiche Spalte 2 der Tabelle 7.2.

Die oben angeführten Synergieeffekte treten beim induzierten Verkehr im vorliegenden Beispiel aufgrund der Rundung der Werte auf drei Nachkommastellen nicht in Erscheinung.

Die Verkehrsverlagerungen in der letzten Spalte der Tabelle 7.2 ergeben sich für die Verkehrsmittel ohne Angebotsveränderung, den Fußgänger- und den Fahrradverkehr, analog zu Tabelle 7.1. Für den MIV und den ÖV lassen sich die Verkehrsverlagerungen bestimmen, indem die Änderung der jeweiligen Teilmobilitätsrate um den induzierten Verkehr (Spalte 3 der Tabelle 7.1 beziehungsweise Spalte 2 der Tabelle 7.2) reduziert wird:

$$\begin{aligned} \text{MIV :} & \quad (1,252 - 1,352) - (-0,074) \\ & = -0,026 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ÖV :} & \quad (0,324 - 0,335) - (-0,010) \\ & = -0,001 \end{aligned}$$

Mit der vorgestellten Methode lassen sich also für alle Verkehrsmittel Verkehrsnachfrageänderungen mit Unterscheidung nach induziertem Verkehr und Verkehrsverlagerungen geschlossen berechnen.

7.2 Verkehrsmodellierung auf der Basis von Verkehrszellen und Verkehrsnetzen

7.2.1 Ziel und Methode

Die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells erfolgte aufgrund der Überlegungen in Kapitel 6.2.3, indem die Raumstruktur über Wegweiten-Häufigkeitsverteilungen abstrahiert wurde. Eine andere übliche und für detailliertere Planungen erforderliche Möglichkeit zur Abbildung der Raumstruktur besteht in einer Einteilung des Untersuchungsgebiets in Verkehrszellen.

Dieses Kapitel enthält nun die Anwendung des neuen Verkehrserzeugungsmodells auf zell- und relationsbezogene Verkehrsnachfrageberechnungen. Die hierfür erforderliche Übertragung wird in Anlehnung an das Nachfragemodell aus [92] auf der Grundlage des VIA-Widerstandsmodells vorgenommen.

7.2.2 Widerstandsermittlung

Da das entwickelte Verkehrserzeugungsmodell – anders als die auf sozio-demographischen Eigenschaften basierenden Modelle – einen Widerstand als Eingangsgröße benötigt, kann die Verkehrsnachfrageberechnung nicht wie zum Beispiel im Vier-Stufen-Algorithmus mit der Verkehrserzeugung beginnen.

Dieser Widerstand muss nach Kapitel 4.1.1 die Qualität des Verkehrsangebots aller konkurrierenden Verkehrsmittel für die betrachtete Relation abbilden. Diese Qualität hängt wiederum von den Routenwiderständen der einzelnen Verkehrsmittel ab, so dass die Nachfrageberechnung mit der Bestimmung der Routenwiderstände beginnt.

Dazu müssen die Angebotsmerkmale für die einzelnen Routen beispielsweise anhand der Ansätze aus Kapitel 5 ermittelt werden. Das weitere Vorgehen zeigt das Ablaufdiagramm in Abbildung 7.1.

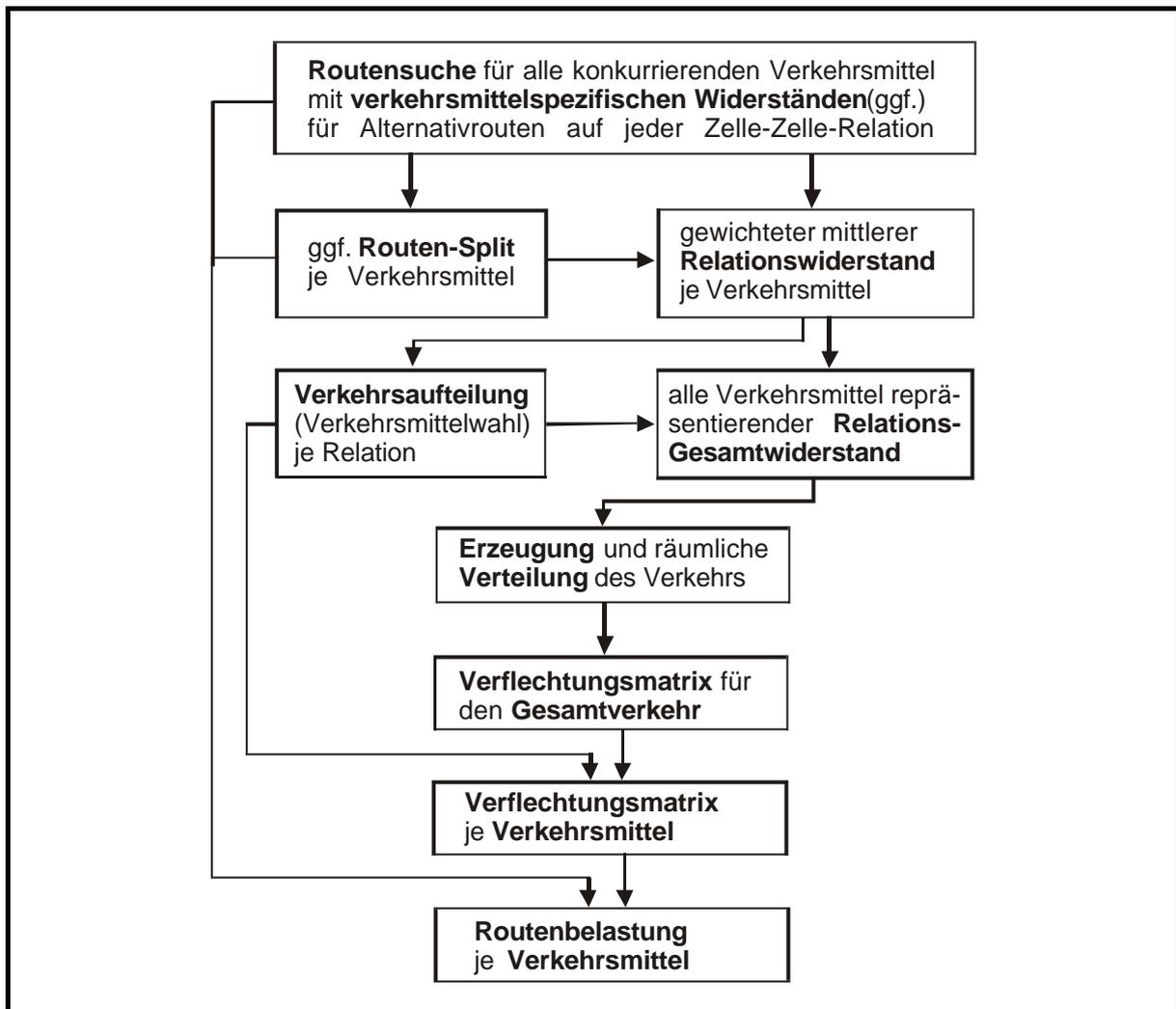


Abbildung 7.1: Konzeption des Planungsalgorithmus ([92, Seite 34])

Aus den Angebotsmerkmalen je Route ergeben sich die Routenwiderstände w_{ijmr} (erste Zeile der Abbildung), die sich über den Routensplit zu verkehrsmittelspezifischen Widerständen w_{ijm} je Relation zusammenfassen lassen (zweite Zeile; zu den verwendeten Algorithmen siehe [92]). Mit den verkehrsmittelspezifischen Widerständen und den daraus anhand von Gleichung (2.2) ermittelten Verkehrsmittelanteilen A_{ijm} liefert Gleichung (4.1) den Relations-Gesamtwiderstand w_{ij} analog zum Gesamtsystem-Widerstand (3. Zeile). Auf diese Weise können für alle Relationen die Widerstände sowie die Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf die Verkehrsmittel und deren Routen als relative Größen berechnet werden.

7.2.3 Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung

Um die absoluten Größen der Kenngrößen der Verkehrsnachfrage bestimmen zu können, ist ein Verkehrserzeugungsmodell erforderlich. In [92] dient das Modell von

Vallée [85] zur Berechnung von Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung. Da es sich in Kapitel 2.1.4 jedoch als nicht zielführend herausgestellt hat, wird es durch das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Modell ersetzt. Die Konzeption des Planungsalgorithmus nach Abbildung 7.1 ändert sich dadurch nicht.

Die Übertragung eines Verkehrserzeugungsmodells auf die simultane Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung in [92] basiert auf der Überlegung, dass ein Erzeugungsmodell, das für ganze Untersuchungsgebiete Gültigkeit besitzt, auch für Korridore, Zellen und Relationen gelten muss. Daraus ergibt sich für die Anzahl F_{ij} der Fahrten auf einer Relation $i - j$ der Zusammenhang:

$$F_{ij} \sim M_M(w_{ij}) \cdot VB(w_{ij}) \cdot EW_i$$

Diese Fahrtenanzahl wird des Weiteren durch die Zielgelegenheiten bestimmt. Walther et al. [92, Seite 71] gehen von einer direkten Proportionalität zwischen der Fahrtenanzahl und der normierten Anzahl von Zielgelegenheiten aus, wobei:

$$ZA_j = \frac{Z_{j,rel}}{\sum_k Z_{k,rel}} \quad [92, \text{Seite 63}]$$

mit

ZA_j : Zielattraktivität der Zelle j

$Z_{j,rel}$: relative Maßzahl für die Zielgelegenheiten der Zelle j

Bei beiden Variablen der Gleichung handelt es sich um zellbezogene Größen, so dass sie nicht von relationsbezogenen Eigenschaften abhängen.

Inwieweit dieser Ansatz plausibel ist, soll am Beispiel eines beliebigen, polyzentrisch strukturierten Gebiets diskutiert werden. Solche Gebiete zeichnen sich durch eine große Streuung der Zielgelegenheiten im Raum aus. Je mehr sich die Streuung der Zielgelegenheiten einer Gleichverteilung annähert, desto ausgeprägter ist bei dem in [92] gewählten Ansatz die Präferenz für ferne Ziele. Die Anzahl der Zielgelegenheiten bei einer gleichmäßigen Verteilung im Raum in Abhängigkeit von der Wegeweite zeigt Abbildung 7.2.

Dem steht entgegen, dass die Wegehäufigkeit tatsächlich über die Wegeweite üblicherweise stark abnimmt (vergleiche beispielsweise Abbildung 6.2). Um diese Verteilung auch im Modell zu erreichen, muss der Zunahme der Zielgelegenheiten ein geeigneter Faktor entgegengesetzt werden.

Als Faktor bietet sich beispielsweise der Widerstand an. Wegen der mit der Entfernung in der Regel steigenden Beförderungsgeschwindigkeit und der entfernungsunabhängigen Bestandteile des Widerstands wächst der Widerstand über alle Verkehrsmittel üblicherweise unterproportional, oft sogar degressiv mit der Entfernung. Dadurch steigt das Verhältnis $Z_{j,rel} / w$ bei homogener Verteilung der Ziele im Raum ebenfalls mit der Entfernung.

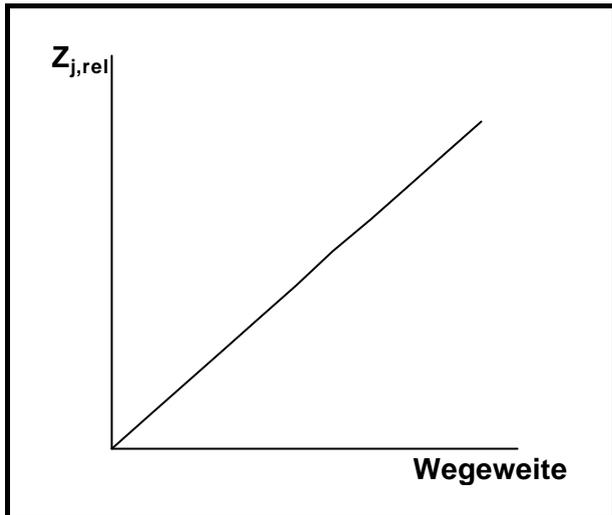


Abbildung 7.2: $Z_{j,rel}$ über die Wegeweite bei homogener Verteilung der Ziele im Raum

Dieser unerwünschte Funktionsverlauf ließe sich durch Verwendung einer Funktion des Widerstands mit stärkerer Steigung, zum Beispiel e^w , vermeiden. Die Verwendung einer solchen Funktion ist jedoch fragwürdig (vergleiche Kapitel 4.4.3).

Sowohl bei Ansatz einer solchen Funktion als auch bei einer linearen Funktion des Widerstands verletzt der Algorithmus für die Fahrten F_{ijm} auf einer Relation $i - j$ mit einem Verkehrsmittel m

$$F_{ijm} = M_M(w_{ij}) \cdot VB(w_{ij}) \cdot EW_i \cdot \frac{\frac{Z_{j,rel}}{g(w_{ij})}}{\sum_k \frac{Z_{k,rel}}{g(w_{ij})}} \cdot \frac{w_{ij}}{\mu \cdot w_{ijm}}$$

mit

$$g(w_{ij}) = w_{ij} \text{ oder}$$

$$g(w_{ij}) = e^{w_{ij}}$$

unter anderem die Aussage (A) aus Abbildung 4.7. Es gälte:

$$\frac{\partial F_{ijm}}{\partial w_{ijn}} < 0$$

Damit wäre das Modell nicht maßnahmenreagibel und folglich aufgrund der Überlegungen in Kapitel 4.3.2 falsch. Der Widerstand eignet sich deshalb nicht zum Ausgleich der Zunahme der Zielgelegenheiten mit der Wegweite.

Die oben angegebene lineare Zunahme der Zielgelegenheiten bei homogener Verteilung ergibt sich allein durch die üblicherweise zweidimensionale Abbildung des Raums bei Verkehrsnachfrageberechnungen. Mit der Zunahme der *Zielgelegenheiten* über die Entfernung nimmt jedoch nicht zwangsläufig auch die *Zielattraktivität* zu, wie das folgende Beispiel von Filialen einer Lebensmittelkette, deren Warensortiment in der Regel nahezu identisch ausfällt, zeigt. Zwei dieser Filialen befänden sich circa sechs Kilometer vom Wohnort, eine Filiale in etwa drei Kilometer Entfernung. Für die sechs Kilometer-Entfernungsklasse liegt die Anzahl der Zielgelegenheiten damit doppelt so hoch. Da zum Einkauf der Besuch einer Filiale genügt und sich sowohl in drei Kilometer als auch in sechs Kilometer Entfernung eine Einkaufsgelegenheit bietet, ist die Zielattraktivität für beide Entfernungsklassen gleich.

Die unplausible Präferenz für entfernte Ziele beim Ansatz von $F_{ij} \sim Z_{j,rel}$ lässt sich anhand des Faktors $1/l$ vermeiden. Somit gilt:

$$F_{ij} \sim \frac{Z_{j,rel}}{l_{ij}}$$

mit

l_{ij} : Entfernung von i nach j

Dieser Quotient führt bei einer Gleichverteilung der Zielgelegenheiten im Raum zu konstanten Zielattraktivitäten über die Entfernung. Er stellt damit sicher, dass im (theoretischen) Fall entfernungsunabhängiger Widerstände weder eine Bevorzugung naher noch entfernter Ziele entsteht. Eine Präferenz naher Ziele resultiert allein aufgrund der üblichen Zunahme des Widerstands mit der Entfernung.

Daraus ergibt sich für die Fahrten F_{ij} :

$$F_{ij} \sim M_M(w_{ij}) \cdot VB(w_{ij}) \cdot EW_i \cdot \frac{\frac{Z_{j,rel}}{l_{ij}}}{\sum_k \frac{Z_{k,rel}}{l_{ik}}} \quad (7.1)$$

Die Entfernungsabhängigkeit fällt bei dieser Funktion ähnlich wie beim Lill'schen Reisegesetz aus. Die Entfernung fließt in Gleichung (7.1) einerseits über den Faktor l_{ij} und andererseits über den Widerstand in den Funktionen für die Mobilitätsrate der Mobilen und die Verkehrsbeteiligungsquote ein. Zusammen führen diese Faktoren je nach Verkehrsangebotsqualität zu einer in etwa quadratischen Abnahme der Fahrtenanzahl mit der Entfernung, von der auch das Lill'sche Reisegesetz ausgeht:

$$F_{ij} \sim \frac{Q_i \cdot Z_j}{l_{ij}^2}$$

mit

- Q_i : Quellverkehrsaufkommen
 Z_j : Zielverkehrsaufkommen

Die beiden Größen Q_i und Z_j hängen bei Lill nicht vom Verkehrsangebot oder der Entfernung ab, so dass bei seinem Reisegesetz die Fahrtenanzahl ebenfalls quadratisch mit der Entfernung abnimmt.

Die Anzahl der Wege pro Person und Tag und die Verkehrsbeteiligungsquote lassen sich bezogen auf die Bevölkerung eines Raums angeben, beispielsweise für ein ganzes Untersuchungsgebiet oder eine Verkehrszelle. Folglich muss für jede einzelne Zelle gelten:

$$M_M(w_i) \cdot VB(w_i) \cdot EW_i = F_i = \sum_j F_{ij} \quad (7.2)$$

Darin ergibt sich der Widerstand w_i anhand von Gleichung (4.1) zu:

$$w_i = \frac{\sum_j (F_{ij} \cdot w_{ij})}{\sum_j F_{ij}}$$

Unter Verwendung eines Proportionalitätsfaktors k_i lässt sich Gleichung (7.1) umschreiben zu

$$F_{ij} = k_i \cdot M_M(w_{ij}) \cdot VB(w_{ij}) \cdot EW_i \cdot \frac{Z_{j,rel}}{l_{ij}} \cdot \frac{1}{\sum_k \frac{Z_{k,rel}}{l_{ik}}} \quad (7.3)$$

und in Gleichung (7.2) einsetzen:

$$M_M(w_i) \cdot VB(w_i) \cdot EW_i = k_i \cdot EW_i \cdot \sum_j \left(M_M(w_{ij}) \cdot VB(w_{ij}) \cdot \frac{\frac{Z_{j,rel}}{I_{ij}}}{\sum_k \frac{Z_{k,rel}}{I_{ik}}} \right)$$

Aufgelöst nach dem Proportionalitätsfaktor k_i ergibt sich:

$$\Leftrightarrow k_i = \frac{M_M(w_i) \cdot VB(w_i) \cdot \sum_k \frac{Z_{k,rel}}{I_{ik}}}{\sum_j \left(M_M(w_{ij}) \cdot VB(w_{ij}) \cdot \frac{Z_{j,rel}}{I_{ij}} \right)} \quad (7.4)$$

Dieser Ansatz für den Proportionalitätsfaktor bietet gegenüber der Konstante $k_i = 1$ für alle i (nach [92]) deutliche Vorteile:

- Die Summe $\sum_j F_{ij}$ stimmt mit der aus der zellbezogenen Mobilitätsrate bestimmten Fahrtenanzahl F_i überein.
- Ein konstanter Proportionalitätsfaktor würde bei einer Angebotsveränderung auf einer Relation nur zu induziertem Verkehr und nicht zu den in der Realität auch zu beobachtenden Zielwahlveränderungen führen.

Ein kurzes theoretisches Beispiel in Anlehnung an [92, Seite 72f] soll die Anwendung des Algorithmus zur simultanen Berechnung von Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung verdeutlichen. Daran schließt sich die Berechnung der Verkehrsnachfrage für ein konkretes Untersuchungsgebiet an.

Für das theoretische Beispiel finden die gleichen Eingangswerte Anwendung wie in [92]; sie sind in Abbildung 7.3 zusammengestellt und um die Zellentfernungen ergänzt.

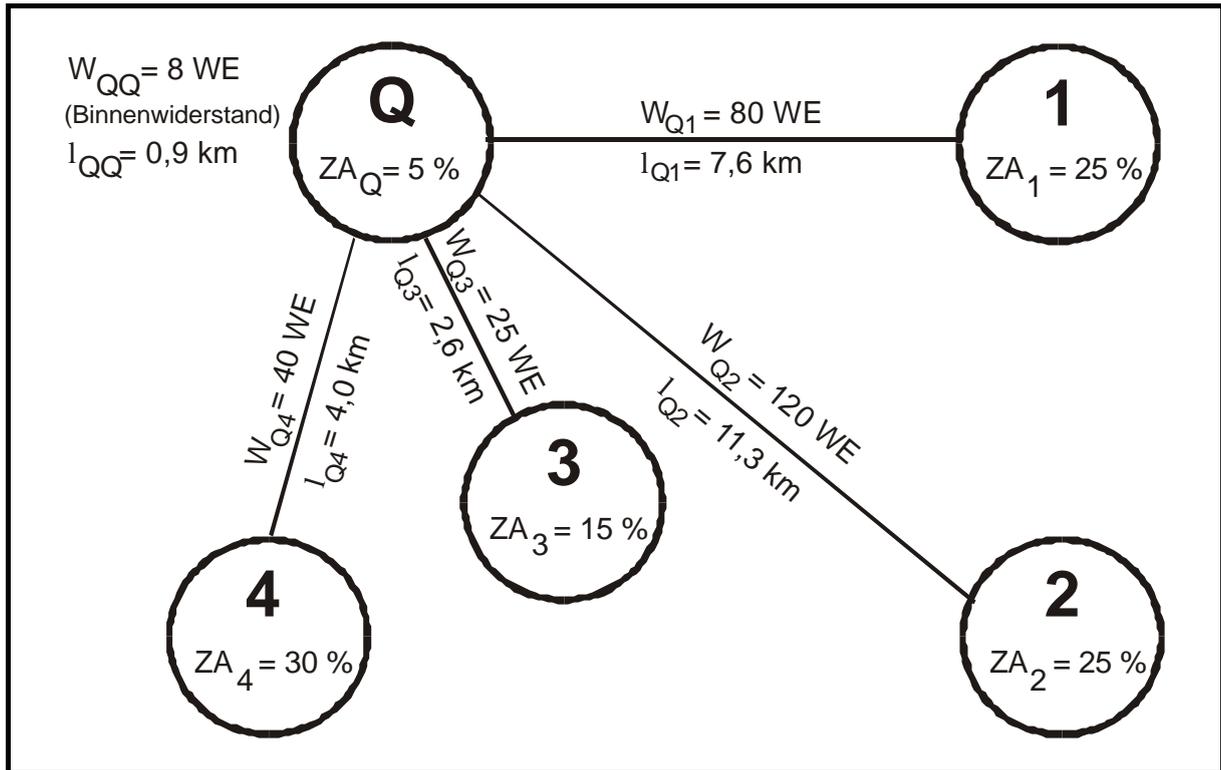


Abbildung 7.3: Prinzipskizze zum Anwendungsbeispiel für die Bestimmung des relationsspezifischen Verkehrsaufkommens (nach [92])

Für dieses Beispiel werden die Anzahl der Wege pro Relation und Tag der 500 in Zelle Q wohnenden Menschen bestimmt. Die Berechnungsergebnisse enthält Tabelle 7.3.

Zielzelle	$Z_{j,rel}$	w_{Qj}	l_{Qj}	$\frac{Z_{j,rel}}{l_{Qj}}$	$M_{M,Qj}$	VB_{Qj}	theor. Wegepotential je Einwohner	$\frac{F_{Qj}}{EW_Q}$ ($k_i = 1$)	F_{Qj} ($k_i = 0,970$)
	Abbildung 7.3				(6.3)	(6.4)	(6.3)·(6.4)		(7.3),(7.4)
Q	0,05	8	0,9	0,056	5,89	0,865	5,10	1,16	564
1	0,25	80	7,6	0,033	2,51	0,723	1,82	0,25	118
2	0,25	120	11,3	0,022	2,09	0,684	1,43	0,13	63
3	0,15	25	2,6	0,058	4,20	0,811	3,41	0,81	391
4	0,30	40	4,0	0,075	3,45	0,780	2,69	0,83	405
	1,0			0,244			$w_Q = 30,84$		1541

Tabelle 7.3: Beispiel zur simultanen Ermittlung des relationsspezifischen Verkehrsaufkommens (in Anlehnung an [92])

Der Rechenweg sei im Folgenden beispielhaft anhand des Zellbinnenverkehrs der Zelle Q erläutert.

Es gilt mit den Gleichungen (6.3) und (6.4):

$$\begin{aligned} M_{M,QQ} &= 1 + \frac{157,69}{w_{QQ} + 24,24} \\ &= 1 + \frac{157,69}{8 + 24,24} \\ &= 5,89 \frac{\text{Wege}}{\text{mobile Person} \cdot \text{Tag}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VB_{QQ} &= \frac{36,88}{w_{QQ}^{0,5586} + 39,44} \\ &= \frac{36,88}{8^{0,5586} + 39,44} \\ &= 86,5\% \end{aligned}$$

Das theoretische Wegepotential ergibt sich zu

$$M_{M,QQ} \cdot VB_{QQ} = 5,89 \cdot 86,5\% = 5,10 \frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$$

und die Wegeanzahl bei $k_Q = 1$:

$$M_{M,QQ} \cdot VB_{QQ} \cdot \frac{\frac{Z_{Q,rel}}{I_{QQ}}}{\sum_j \frac{Z_{j,rel}}{I_{Qj}}} = 5,10 \cdot \frac{0,056}{0,244} = 1,16$$

Mit einem zellspezifischen Widerstand nach Gleichung (4.1) von

$$\begin{aligned} w_Q &= \frac{\sum_j F_{Qj,k=1} \cdot w_{Qj}}{\sum_j F_{Qj,k=1}} \\ &= \frac{1,16 \cdot 8 + 0,25 \cdot 80 + 0,13 \cdot 120 + 0,81 \cdot 25 + 0,83 \cdot 40}{1,16 + 0,25 + 0,13 + 0,81 + 0,83} = 30,84 \text{ WE} \end{aligned}$$

ergibt sich die zellspezifische Mobilitätsrate $M_{A,Q}$ entsprechend der Gleichungen (6.3) und (6.4) zu:

$$\begin{aligned} M_{A,Q} &= \left(1 + \frac{157,69}{w_Q + 24,24}\right) \cdot \frac{36,88}{w_Q^{0,5586} + 39,44} \\ &= \left(1 + \frac{157,69}{30,84 + 24,24}\right) \cdot \frac{36,88}{30,84^{0,5586} + 39,44} \\ &= 3,08 \end{aligned}$$

Daraus lässt sich nach Gleichung (7.4) der Faktor k_Q ermitteln zu:

$$\begin{aligned} k_Q &= \frac{M_M(w_Q) \cdot VB(w_Q)}{\sum_j \left(M_M(w_{Qj}) \cdot VB(w_{Qj}) \cdot \frac{\frac{Z_{j,rel}}{I_{Qj}}}{\sum_k \frac{Z_{k,rel}}{I_{Qk}}} \right)} \\ &= \frac{3,08}{1,16 + 0,25 + 0,13 + 0,81 + 0,83} \\ &= 0,970 \end{aligned}$$

Daraus folgt für die Wegezanzahl F_{QQ} im Binnenverkehr:

$$\begin{aligned} F_{QQ} &= 500 \cdot 0,970 \cdot 1,16 \\ &= 564 \frac{\text{Wege}}{\text{Tag}} \end{aligned}$$

7.2.4 Anwendungsbeispiel

Die für die Anwendung erforderliche Abbildung der Verkehrsnetze und der Raumstruktur liegt für das Stadtgebiet von Bonn, innerhalb dessen 87 Prozent aller Wege der Bonner Bevölkerung beginnen und enden, für das Jahr 1991 aus den Untersuchungen in [92] bereits vor. Diese Literaturquelle enthält eine umfangreiche Übersicht über die Eingangsgrößen.

Gegenüber den Berechnungen in [92] ändert sich lediglich der Entscheidungsalgorithmus für die simultane Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung. Deshalb brau-

chen für die Modellanwendung in der vorliegenden Arbeit lediglich die Gleichungen (7.3) und (7.4) in das EDV-Programm „semper“ integriert zu werden. Dieses Programm basiert auf dem in Zusammenhang mit [92] entwickelten Verkehrsnachfragemodell. Die hiermit ermittelten Berechnungsergebnisse sind in der Tabelle 7.4 und der Abbildung 7.4 den aus der Erhebung von Socialdata [154] in [92] bestimmten Vergleichswerten gegenübergestellt.

		Modellwerte	Vergleichswerte
Mobilitätsrate Aller, Binnen		2,74 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$	2,82 $\frac{\text{Wege}}{\text{Person} \cdot \text{Tag}}$
Verkehrsmittelwahl	zu Fuß	32,03 %	32,0 %
	Fahrrad	14,46 %	14,4 %
	ÖPNV	14,63 %	14,5 %
	MIV	38,87 %	39,1 %
mittlere Wegeweiten	alle Wege	3,49 km	3,5 km
	zu Fuß	1,03 km	1,1 km ¹⁾
	Fahrrad	2,21 km	2,4 km ¹⁾
	ÖPNV	5,24 km	≈ 5,1 km
	MIV	4,96 km	5,19 km
Fahrten je Pkw und Tag		1,93 $\frac{\text{Fahrten}}{\text{Pkw} \cdot \text{Tag}}$	1,93 $\frac{\text{Fahrten}}{\text{Pkw} \cdot \text{Tag}}$
ÖPNV-Fahrten pro Jahr		163.054	169.676 ²⁾
¹⁾ bis 100 km ²⁾ einschließlich ÖPNV-Fahrten von Nicht-Bonnern außerhalb der Stadt Bonn (vergleiche [92, Seite 90])			

Tabelle 7.4: Vergleich berechneter und erhobener Werte für Kenngrößen der Verkehrsnachfrage für den Binnenverkehr in Bonn 1991

Sie zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Vergleichswerten und den berechneten Modellwerten.

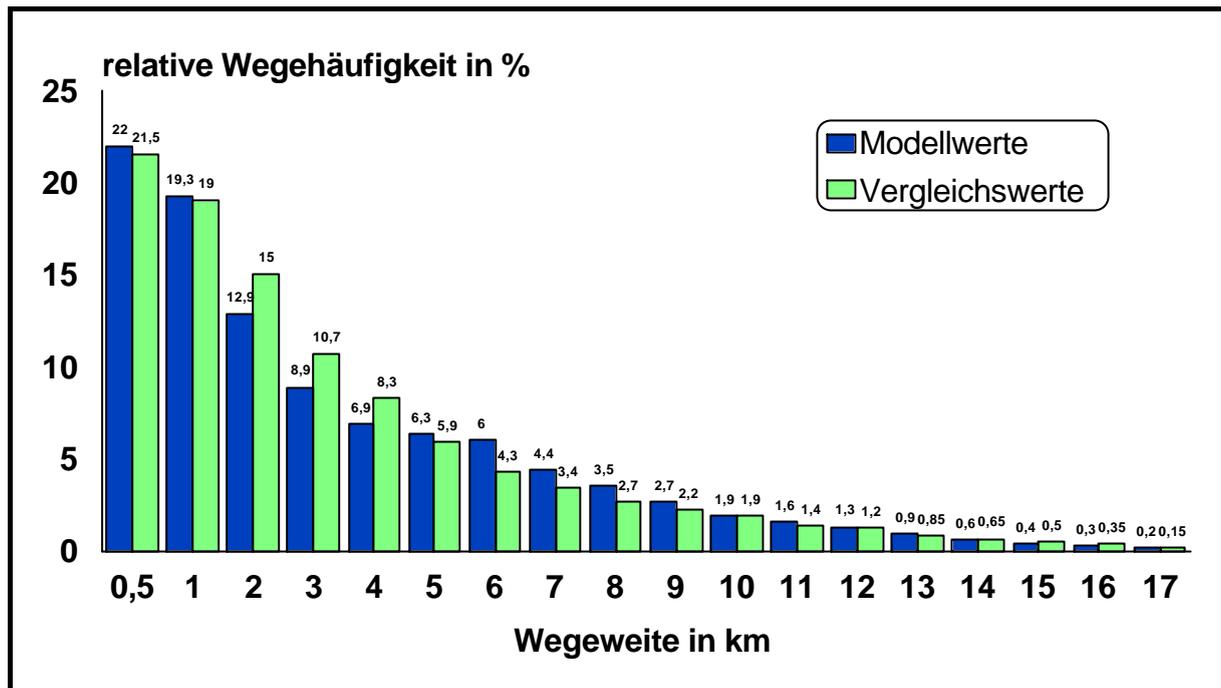


Abbildung 7.4: Vergleich der Wegweiten-Häufigkeitsverteilungen aus Modell und Erhebung für den Binnenverkehr in Bonn 1991

8 Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten

- 8.1 Beliebige Anzahl von Verkehrsmitteln
- 8.2 Überlegungen zur Validierung für den Fernverkehr

In diesem Kapitel werden Möglichkeiten für die Anwendung des neuen Verkehrserzeugungsmodells in Forschung und Praxis vorgestellt und mit Hilfe weiterer Ansätze vergrößert.

8.1 Beliebige Anzahl von Verkehrsmitteln

Als Eingangsgröße des Verkehrserzeugungsmodells dient in Anlehnung an Walther [88] gemäß Kapitel 4.1.1 der Gesamtsystem-Widerstand. Er ergibt sich nach Gleichung (4.1) als das gewichtete Mittel der Widerstände der Verkehrsmittel:

$$w_{GS} = \sum_{m=1}^{\mu} (A_m \cdot w_m)$$

Die Anteile A_m der Verkehrsmittel m werden dabei anhand von Gleichung (2.2)

$$A_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}}$$

berechnet. Die auf diese Weise bestimmte Verkehrsaufteilung ist mit der Verteilung des elektrischen Stroms auf parallel geschaltete elektrische Widerstände vergleichbar. Durch Einsetzen der Gleichung für die Verkehrsmittelanteile ergibt sich für den Gesamtsystem-Widerstand gemäß Gleichung (4.6) (Herleitung siehe Kapitel 4.3.2):

$$w_{GS} = \frac{\mu}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}}$$

Da sich die Berechnung der Anteile der Verkehrsmittel mit der Vorstellung parallel geschalteter Widerstände in Verbindung bringen lässt, könnte – dieser Philosophie folgend – auch der Gesamtsystem-Widerstand über alle Verkehrsmittel als Ersatzwiderstand \bar{w} parallel geschalteter Widerstände berechnet werden:

$$\bar{w} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{\mu} \frac{1}{w_i}}$$

Der Ersatzwiderstand berücksichtigt wie auch der Gesamtsystem-Widerstand die Qualität des Verkehrsangebots der konkurrierenden Verkehrsmittel. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Widerständen besteht darin, dass der Gesamtsystem-Widerstand um den Faktor μ (Anzahl der Verkehrsmittel) größer ausfällt als der Ersatzwiderstand:

$$w_{GS} = \mu \cdot \bar{w} \quad (8.1)$$

Im Folgenden werden die aus diesem Unterschied resultierenden Eigenschaften der beiden Widerstände analysiert.

Da sich der Gesamtsystem-Widerstand wie erwähnt als das gewichtete Mittel der Widerstände der Verkehrsmittel ergibt, liegen die Werte für den Gesamtsystem-Widerstand zwischen den Werten für die Widerstände der einzelnen Verkehrsmittel. Der Gesamtsystem-Widerstand liefert folglich einen echten Mittelwert für Widerstände üblicher Größenordnung. Die Werte für den Ersatzwiderstand unterschreiten hingegen immer den Wert des niedrigsten Einzelwiderstands.

Die Einführung eines neuen Verkehrsmittels führt immer zu einem Rückgang des Ersatzwiderstands. Damit steigt, wie auch plausibel, die Mobilitätsrate aller. Der Gesamtsystem-Widerstand fällt bei Einführung eines neuen Verkehrsmittels nur, wenn der Widerstand dieses Verkehrsmittels den Gesamtsystem-Widerstand unterschreitet. Dieses Problem lässt sich allerdings, wie bereits in Kapitel 4.3.2 angedeutet, lösen, indem das neue Verkehrsmittel vor seiner Einführung mit einem unendlich großen Widerstand Berücksichtigung findet.

Die Ergänzung von Verkehrsmitteln mit unendlichen Widerständen führt zu einem Anstieg des Gesamtsystem-Widerstands proportional zur Anzahl μ der Verkehrsmittel; der Ersatzwiderstand ändert sich dadurch nicht. Da sich auch die Verkehrsnachfrage nicht ändert, der Gesamtsystem-Widerstand aber steigt, müssen auch die Parameter B , w_0 , C und D in den Algorithmen für die Mobilitätsrate der Mobilien und

der Verkehrsbeteiligungsquote proportional zu μ wachsen. Bei Verwendung des Ersatzwiderstands bleiben hingegen sowohl die Eingangsgröße (der Widerstand) als auch das Ergebnis (die Verkehrserzeugung) bei Einführung eines neuen Verkehrsmittels mit unendlichem Widerstand gleich. Mit dem Ersatzwiderstand als Eingangsgröße der Algorithmen hängen die Parameter folglich nicht von μ ab. Wenn die Veränderung der Anzahl der Verkehrsmittel bei einer Modellanwendung eine große Rolle spielt, ist der Ersatzwiderstand deshalb als Eingangsgröße des Verkehrserzeugungsmodells geeigneter.

Bei den in der vorliegenden Arbeit verwendeten Daten bleibt die Anzahl der berücksichtigten Verkehrsmittel mit vier grundsätzlich gleich. Um die Kompatibilität zu [88] sicherzustellen, findet deshalb der Gesamtsystem-Widerstand Verwendung. Das bedeutet auch, dass die Werte der Parameter der Entscheidungsalgorithmen des Verkehrserzeugungsmodells auf die Verwendung des Gesamtsystem-Widerstands für vier Verkehrsmittel abgestellt sind.

Bei Anwendung des Modells außerhalb dieser Arbeit können auch andere Anzahlen von Verkehrsmitteln, zum Beispiel im Fernverkehr, auftreten oder der Veränderung der Anzahl der Verkehrsmittel große Bedeutung zukommen. Da in diesen Fällen die Verwendung des Ersatzwiderstands angemessener erscheinen kann, werden die Entscheidungsalgorithmen im Folgenden auch für den Ersatzwiderstand angegeben.

Gemäß Gleichung (4.22) gilt für die Mobilitätsrate der Mobilien:

$$M_M = 1 + \frac{B}{w_{GS} + w_0}$$

Daraus wird mit Gleichung (8.1):

$$M_M = 1 + \frac{B}{\mu \cdot w + w_0}$$

Nach Kürzen ergibt sich:

$$M_M = 1 + \frac{\frac{B}{\mu}}{w + \frac{w_0}{\mu}}$$

Während die Parameter B und w_0 proportional mit der Anzahl μ der Verkehrsmittel zunehmen, hängen die Quotienten B/μ und w_0/μ nicht von der Anzahl μ ab.

Die Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote lautet nach Gleichung (4.24):

$$VB = \frac{C}{w_{GS}^{\alpha} + D}$$

Mit Gleichung (8.1) wird daraus:

$$VB = \frac{C}{(\mu \cdot \bar{w})^{\alpha} + D}$$

Kürzen liefert:

$$VB = \frac{\frac{C}{\mu^{\alpha}}}{w^{\alpha} + \frac{D}{\mu^{\alpha}}}$$

Der Parameter α und die Quotienten C/μ^{α} und D/μ^{α} ändern sich nicht mit μ .

Für *alle Wege* ergibt sich damit unabhängig von der Anzahl μ der Verkehrsmittel beispielsweise:

$$\begin{aligned} M_M &= 1 + \frac{\frac{157,69}{4}}{w + \frac{24,24}{4}} \\ &= 1 + \frac{39,42}{w + 6,06} \end{aligned}$$

Analog gilt für die Verkehrsbeteiligungsquote:

$$\begin{aligned} VB &= \frac{\frac{36,88}{4^{0,5586}}}{w + \frac{39,44}{4^{0,5586}}} \\ &= \frac{17,00}{w^{0,5586} + 18,18} \end{aligned}$$

8.2 Überlegungen zur Validierung für den Fernverkehr

Die Validierung des Verkehrserzeugungsmodells sowie die Bestimmung der Parameter wurde gemäß Kapitel 3.1 für den Nahverkehr durchgeführt.

Das deduktive Vorgehen bei der Entwicklung des Verkehrserzeugungsmodells ermöglichte die Ableitung der Funktionsformen der Entscheidungsalgorithmen unabhängig von Erhebungen. Die Funktionsformen gelten deshalb nicht nur für den Wertebereich der Gesamtsystem-Widerstände in Kapitel 6 sondern für beliebige positive Widerstände. Das neue Verkehrserzeugungsmodell ist deshalb problemlos auf den Fernverkehr anwendbar. Sobald geeignete Daten vorliegen, kann die Validierung auf diesen Wertebereich ausgedehnt werden.

Für die einmalige Kalibrierung anhand des Nahverkehrs standen für die Mobilitätsrate der Mobilien und die Verkehrsbeteiligungsquote jeweils Wertepaare für 20 Städte sowie für die Verkehrsbeteiligungsquote zusätzlich eine Abschätzung des Werts bei sehr kleinen Gesamtsystem-Widerständen zur Verfügung. Aus der Punktwolke der Wertepaare zu den Städten lassen sich sinnvoll je Funktion zwei Eigenschaften bestimmen: die Größenordnung der Funktionswerte sowie die Steigung der Funktion. Damit liegen für den Ansatz der Mobilitätsrate der Mobilien zwei und bei der Verkehrsbeteiligungsquote drei Funktionseigenschaften vor. Entsprechend enthalten die Funktionen zwei beziehungsweise drei Parameter.

Unter anderem da die Grenzen zwischen Nah- und Fernverkehr zunehmend verschwimmen, ist die Verwendung der gleichen Funktionen einschließlich ihrer Parameter für beide Segmente erstrebenswert. Widerstände für Fernverkehrsfahrten fallen mit 10^2 bis 10^4 Widerstandseinheiten wesentlich größer aus als im Nahverkehr. Wertepaare zur Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für den Fernverkehr liegen deshalb in einem, mit den Widerständen zu Kapitel 6 noch nicht abgedeckten Teil des Definitionsbereichs und liefern folglich weitere Funktionseigenschaften.

Um diese zusätzlichen Funktionseigenschaften zu berücksichtigen, müssen in die Funktion nach Kapitel 6 gegebenenfalls weitere Parameter eingeführt werden. Für große Widerstände nimmt die Mobilitätsrate der Mobilien ungefähr den Wert 1 an, so dass im Wesentlichen die Größe der Verkehrsbeteiligungsquote die Höhe der Mobilitätsrate aller bestimmt. Zur Validierung des Verkehrserzeugungsmodells für den Fernverkehr ließe sich beispielsweise der bisher konstante Exponent α des Gesamtsystem-Widerstands in der Formel für die Verkehrsbeteiligungsquote durch eine Funktion des Gesamtsystem-Widerstands ersetzen. Bei jeder Erweiterung der Formeln zum Beispiel auf die beschriebene Art ist nachzuweisen, dass die so

entstehenden Algorithmen ebenfalls die Anforderungen aus den Kapiteln 4.2 und 4.3 erfüllen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für eine maßnahmenreagible Modellierung der Verkehrserzeugung im Fernverkehr der erste Schritt – die Modellentwicklung – nicht mehr erforderlich ist. Für die Validierung könnte sich die Ergänzung von Parametern in den Entscheidungsalgorithmen als sinnvoll herausstellen.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines maßnahmenreagiblen Modells, das den Einfluss des Verkehrsangebots auf die Verkehrserzeugung für den originären Verkehr von Personen quantitativ abbildet. Die Qualität des Verkehrsangebots wird auf der Grundlage einer Widerstandsformulierung mit einer sehr weitgehenden Differenzierung nach mehr als 15 Merkmalen und einer Berücksichtigung der unterschiedlichen, nicht-linearen subjektiven Bewertungen dieser einzelnen Merkmale des Verkehrsangebots durch die Menschen beschrieben.

Die ursprüngliche Zielstellung lag in der Übertragung eines bestehenden Modells ohne Unterscheidung nach Reisezwecken auf den Freizeitverkehr. Im Laufe der Literaturanalyse stellte sich heraus, dass kein geeignetes Modell für eine Übertragung vorhanden ist. Im Rahmen der Arbeit musste deshalb ein entsprechendes Modell neu entwickelt und für den gesamten städtischen Verkehr sowie den Freizeitverkehr validiert werden. Dieses neue Verkehrserzeugungsmodell ermöglicht außerdem die Berechnung des – bisher in der Literatur nur wenig untersuchten – induzierten Verkehrs. Bei allen Schritten der Modellentwicklung wurde ein besonderer Schwerpunkt auf die Wahl der *Methoden* gelegt – mit dem Ziel einer umfassenden Absicherung der neuen Entscheidungsalgorithmen.

Im ersten Schritt, der Entwicklung der Entscheidungsalgorithmen, erfolgte anstelle des üblichen induktiven Vorgehens deshalb eine *Deduktion* ohne Zuhilfenahme von Verkehrserhebungen. Die Deduktion basiert auf Aussagen, die allgemeingültige Feststellungen zum Verkehrsverhalten quantifizieren. Mit diesen Aussagen wird außerdem die Maßnahmenreagibilität nicht nur des Verkehrserzeugungsmodells allein sondern insbesondere auch der Verknüpfung dieses Modells mit dem bereits existierenden Verkehrsmittelwahlmodell von Walther sichergestellt. Für die Grenzen des Definitionsbereichs konnten Werte für die Funktionen bestimmt werden; für übliche Werte der Eingangsgrößen beschreiben die allgemeingültigen Aussagen den Wertebereich. Damit liegt insgesamt eine präzise Beschreibung des Modellzusammenhangs vor. Durch die Umsetzung der Aussagen in Differentialgleichungen und Differentialungleichungen wurden die Funktionsformen des neuen Modells theoretisch hergeleitet.

Die zuverlässige Bestimmung der Merkmale des Verkehrsangebots hat eine hohe Bedeutung für die Qualität von angebotsorientierten Verkehrsnachfrageberechnungen und ist gleichzeitig eine notwendige Voraussetzung für die Validierung des entwickelten Verkehrserzeugungsmodells. Für einen Teil der berücksichtigten Merkmale liegen Daten oder Berechnungsverfahren in ausreichendem Umfang vor. Für die

anderen Kenngrößen des Verkehrsangebots wurden als zweiter Schritt *Ansätze* entwickelt, die eine untersuchungsgebietsspezifische Berechnung der Größen für *alle Wege* wie auch für den Freizeitverkehr ohne eigene aufwändige Erhebungen vor Ort ermöglichen.

Die nur ein einziges Mal erforderliche Kalibrierung und die Validierung des theoretisch hergeleiteten Verkehrserzeugungsmodells geschahen als dritter Schritt anhand von verfügbaren Erhebungen in 20 deutschen Städten. Die erforderlichen Widerstände wurden mit Hilfe der Ansätze zur Bestimmung der Verkehrsangebotsmerkmale berechnet. Im Hinblick auf die umfassende Absicherung des Modells erfolgten zusätzlich vor der Validierung *Plausibilitätsprüfungen* der Widerstände über Daten (Modal-Split, Wegweiten-Häufigkeitsverteilungen etc.) aus den genannten Verkehrserhebungen und allgemein zugänglichen Statistiken. Diese Kontrollen wie auch die Regressionsanalysen zur Modellvalidierung verdeutlichen die hohe Abbildungsgenauigkeit der Modelle.

Die deduktive Entwicklung der Entscheidungsalgorithmen bietet auch für die Validierung einen wesentlichen Vorteil, da die verfügbaren Erhebungsdaten nicht wie bei induktivem Vorgehen zum „Raten“ des Modellzusammenhangs benötigt werden. Sie stehen vielmehr voll zur Bestätigung des Modells zur Verfügung.

Anhand des neuen Modells lassen sich die Auswirkungen von Maßnahmen auf die Verkehrserzeugung mit vergleichsweise geringem Aufwand zuverlässig berechnen. Dadurch werden beispielsweise Untersuchungen mit verkehrspolitischem, energie-wirtschaftlichem, verkehrsplanerischem oder verkehrswirtschaftlichem Hintergrund deutlich vereinfacht. Die Übertragung des Modells auf den Freizeitverkehr ermöglicht es, reisezweckspezifische Charakteristika wie die Gruppengröße oder das zeitliche und örtliche Auftreten der Wege bei Verkehrsnachfrageberechnungen explizit zu berücksichtigen. Dadurch lässt sich die Nachfrage im Freizeitverkehr gezielt steuern. Fragen zum Beispiel nach den Auswirkungen einer Parkraumbewirtschaftung am frühen Abend können nicht nur hinsichtlich – eventuell angestrebter – Verkehrsverlagerungen sondern auch bezüglich eines in der Regel nicht gewünschten Mobilitätsverzichts (negativ induzierter Verkehr) beantwortet werden. Für den ÖPNV, dessen Angebot sich oftmals an den Erfordernissen von Berufs- und Ausbildungsverkehr orientiert, lassen sich neue Nachfragesegmente erschließen.

Mit der Übertragung des Modells auf den Freizeitverkehr liefert die Arbeit die Grundlagen für die Betrachtung weiterer Reisezwecke, bei deren Modellierung analog vorgegangen werden kann. Das Modell lässt sich auch für kleinräumige Betrachtungen (Zellen) verwenden, wobei eine zusätzliche Untersuchung des Einflusses personen-

bezogener Merkmale sinnvoll sein kann. Die Arbeit liefert außerdem die theoretischen Grundlagen (einschließlich Anleitung) für eine Ausdehnung des Modells auf den Fernverkehr, für den die Validierung bei Vorliegen einer entsprechenden empirischen Basis möglich ist.

10 Quellenverzeichnis

10.1 Literaturverzeichnis

- [1] **Aberle, Gerd:** „Transportwirtschaft: einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen“
Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 3. Auflage, München Wien, 2000
- [2] **Agricola, Sigurd:** „Freizeit in Deutschland – aktuelle Daten und Grundinformationen“
Deutsche Gesellschaft für Freizeit (Hrsg.), Erkrath, verschiedene Jahrgänge
- [3] **Aschmann, Marion; Ackermann, Till; Hecht, Christoph; Krostitz, Boris:** „Reaktionen auf verkehrspolitische Maßnahmen – Dokumentation Haushaltsbefragung“, in: „Wege zu einer umweltverträglichen Mobilität am Beispiel der Region Stuttgart“, Stuttgart, 1997
- [4] **Axhausen, Kay W.:** „Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätsketten zur Parkstandwahl“
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 40/89, Dissertation, Karlsruhe, 1989
- [5] **Badrow, Alexander:** „Verkehrsentwicklung deutscher Städte im Spiegel des Systems repräsentativer Verkehrsbefragungen unter besonderer Berücksichtigung des Freizeitverkehrs“
Technische Universität Dresden, Dissertation, Dresden, 2000
- [6] **Beckmann, Klaus J.:** „Verkehrsmodelle - Forschung und Anwendung in der Praxis oder: Das Dilemma von methodischen Möglichkeiten und planungspraktischen Rahmenbedingungen“
in: Tagungsband AMUS 2000, Schriftenreihe Stadt Region Land, Institut für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Heft 69, Aachen, 2000

-
- [7] **Ben-Akiva, Moshe; Lerman, S. R.:** „Discrete Choice Analysis - Theory and Application to Travel Demand“
MIT Press, Cambridge (Massachusetts), London, 1985
- [8] **Ben-Akiva, Moshe; Walker, J.; Bernardino, A. T.; Gopinath, D. A.; Morikawa, T.; Polydoropoulou, A.:** „Integration of Choice and Latent Variable Models“
Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts, 1998
- [9] **Bialonski, W.; Vanck, P.; Schulze, K.; Wakob, H.:** „Spezifischer Energieeinsatz im Verkehr – Ermittlung und Vergleich der spezifischen Energieverbräuche“
Gutachten des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen für den Bundesminister für Verkehr, Aachen, 1990
- [10] **Birkner, Thomas:** „Innerstädtischer Parksuchverkehr: Eine unbekannte Größe?“
in: Straßenverkehrstechnik, Heft 7, 1995
- [11] **Bowman, John; Ben-Akiva, Moshe:** „Activity-Based Travel Forecasting“
in: Summary, Recommendations, Compendium of Papers, Travel Model Improvement Program, Konferenz in Louisiana, 1996
- [12] **Bowman, L. A.; Turnquist, M. A.:** „Service frequency, schedule reliability and passenger wait times at transit stops“
zitiert in [88]
- [13] **Bracher, Tilman; von Krüger, Boris; Thiemann-Linden, Jörg:**
„Freizeitverkehr mit SPNV und Fahrrad“
Forschungsbericht zum F+E-Vorhaben Nr. 70476/95 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, IVU Gesellschaft für Informatik, Verkehrs- und Umweltplanung mbH, Berlin, 1996
- [14] **Brändli, H.; Widmer, U.; Neumeister, M.:** „Qualitätsfaktor – Vergleich der Angebotsqualität im Regionalverkehr“
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau der ETH Zürich, Heft 119, Zürich, 1998

- [15] **Brannolte, Ulrich:** „Workshop ‚Nachfragemodelle‘“
im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes „Situationsanalyse über den Stand der Simulationsmodelle im Verkehrswesen“, Dokumentation, Frankfurt, 1997
- [16] **Brög, Werner; Erl, Erhard:** „Kenngrößen für Fußgänger- und Fahrradverkehr“
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 109, Bergisch Gladbach, 1999
- [17] **Brüll, Alfred; Gudehus, Volker; Hölsken, Dieter; Ruske, Wilfried:** „Umwelt/Flächennutzung/Verkehr – Bewertungen in der städtischen Verkehrsplanung“
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 490, Bonn, 1986
- [18] **Brünger, Olaf:** „Konzeption einer Rechnerunterstützung für die Feinkonstruktion von Eisenbahnfahrplänen“
Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 51, Dissertation, Aachen, 1995
- [19] **Brunsing, Jürgen:** „Chancen und Potentiale des öffentlichen Freizeitverkehrs – unter besonderer Berücksichtigung differenzierter Freizeitaktivitäten“
Shaker Verlag, Dissertation, Aachen, 1999
- [20] **Bundesverband der Park- und Garagenhäuser e. V. (Hrsg.):** „Das moderne Parkhaus – Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb“
Köln, 1998
- [21] **Cerwenka, Peter; Hauger, Georg:** „Neuverkehr – Realität oder Phantom?“
in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 67, Heft 4, 1996
- [22] **Chlond, Bastian:** „Zeitverwendung und Verkehrsgeschehen – Zur Abschätzung des Verkehrsumfanges bei Änderungen der Freizeitdauer“
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 55/96, Dissertation, Karlsruhe, 1996

- [23] **Dierkes, Meinolf; Rammler, Stephan:** „Die weite Ferne nebenan? Freizeitmobilität und Tourismus im Spannungsfeld zwischen globalem Wachstum und Nachhaltigkeit. Überlegungen für ein neues Forschungs- und Politikfeld“
in: Institut für Mobilitätsforschung (Hrsg.): „Freizeitverkehr – Aktuelle und künftige Herausforderungen und Chancen“, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000
- [24] **Dörnemann, Martina; Groß, Stephan:** „Untersuchung zur Parkraumsituation und -nachfrage im Gebiet der westlichen Innenstadt von Berlin“
VuS - Büro für Verkehrs- und Stadtplanung, Gutachten im Auftrag der BMW AG Verkehrsforschung, Projektbüro Berlin, 1998
- [25] **Dörnemann, Martina; Groß, Stephan; Grüber, Bernhard:** „Brauchen Innenstädte mehr Parkraum? – Eine Analyse der Parkraumsituation und -nachfrage in der westlichen Berliner Innenstadt“
in: Internationales Verkehrswesen 51, Heft 7+8, 1999
- [26] **Dreier, Markus:** „Überschlägige Ermittlung von Parkkosten als Eingabewerte für PNV-SPLIT“
Studienarbeit am Lehrstuhl für Verkehrswirtschaft und Schienenbahnwesen der RWTH Aachen, Aachen, 2000
- [27] **Eisner, M. et al.:** „Freizeit und Freizeitmobilität in der modernen Gesellschaft“
zitiert in [53]
- [28] **Englmann, Frank C.; Haag, Günter; Pischner, Thomas:** „Berechnung und Bewertung des induzierten Verkehrs im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung“
in: Tagungsband der 18. Verkehrswissenschaftlichen Tage in Dresden im September 2001
- [29] **European Conference of Ministers of Transport (Hrsg.):** „Transport and Leisure“
Conclusions of Round Table 111, Paris, 1998
- [30] **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.):** „Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs EAR '91“
Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln, 1991

- [31] **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.):** „Öffentlicher Personennahverkehr – Umweltfreundlicher Freizeit- und Fremdenverkehr“
FGSV-Arbeitspapier, Nr. 47, des Arbeitsausschusses „Öffentlicher Verkehr“, Arbeitskreis „Tourismusverkehr“, Ausgabe 1998, Berlin, 1998
- [32] **Frank, Detlef:** „Handlungsbedarf im Freizeitverkehr aus der Sicht von Mobilitätsanbietern“
in: Institut für Mobilitätsforschung (Hrsg.): „Freizeitverkehr – Aktuelle und künftige Herausforderungen und Chancen“, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000
- [33] **Ganseforth, Heinrich:** „Strategien zur Erhöhung der Fahrgastzahlen und Verbesserung der Unternehmensergebnisse: Das Fallbeispiel Hannover“
in: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) (Hrsg.): „Vorträge Jahrestagung '98“, alba, Düsseldorf, 1999
- [34] **Gaudry, Marc; Mandel, Benedikt; Rothengatter, Werner:** „Entwicklung eines gekoppelten Verkehrserzeugungs- und -verteilungsmodells für den Personenfernverkehr“
Forschungsauftrag des Bundesministers für Verkehr, FENr.: 60307/92, Bonn, 1994
- [35] **Gerlach, Jürgen; Dohmen, Richard; Blochwitz, Helmut; Engels, Michael; Funke, Regina; Harman, Erkan; Schmidt, Silvia; Zimmermann, Jochen:** „Kennlinien der Parkraumnachfrage“
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 78, Bergisch Gladbach, 2000
- [36] **Groche, Gottfried; Thiemer, Erich (Hrsg.):** „Handbuch für den Öffentlichen Personen- Nahverkehr“
zitiert in [94]
- [37] **Harrer, Bernhard; Zeiner, Manfred; Maschke, Joachim; Scherr, Silvia:** „Tagesreisen der Deutschen – Struktur und wirtschaftliche Bedeutung des Tagesausflugs- und Tagesgeschäftsverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland“
Schriftenreihe des Deutschen Wirtschaftswissenschaftlichen Instituts für Fremdenverkehr an der Universität München, Heft 46, München, 1995

- [38] **Hautzinger, Heinz; Pfeiffer, Manfred; Tassaux-Becker, Brigitte:** „Mobilität – Ursachen, Meinungen, Gestaltbarkeit“
Schriftenreihe des Instituts für Angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung, Heilbronn, 1994
- [39] **Heimerl, Gerhard; Schäfer, Frank et al.:** „Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des ÖPNV und Folgekostenrechnung – Verfahrensanleitung“
Verkehrswissenschaftliches Institut an der Universität Stuttgart und Intraplan Consult im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Stuttgart, München, 2000
- [40] **Heinze, G. Wolfgang; Kill, Heinrich H.:** „Freizeit und Mobilität – Neue Lösungen im Freizeitverkehr“
Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 1997
- [41] **Huber-Erler, Ralf:** „Wirkungsweise flächendeckender Parkraumbewirtschaftung und ihre Wirksamkeit zur Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs“
Dissertation, Kaiserslautern, 1998
- [42] **Hunecke, Marcel; Wulfhorst, Gebhard:** „Raumstruktur und Lebensstil – wie entsteht Verkehr?“
in: Internationales Verkehrswesen 52, Heft 12, 2000
- [43] **Kaspar, Claude; Frey, Claudia:** „Tagestourismus – Ausmass, Effekte und wirtschaftliche Bedeutung“
Arbeitsunterlage zum Tourismus Nr. 4, Institut für Tourismus und Verkehrswirtschaft an der Hochschule St. Gallen, St. Gallen, 1993
- [44] **Kessel + Partner:** „Quantifizierung des durch Verkehrsprojekte induzierten Verkehrs“
Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE01.138 G93 D1 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1997
- [45] **Kipke, Harald:** „Systematisierung von Zielen und Maßnahmen der städtischen Verkehrsplanung“
Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrs- und Stadtplanung der Technischen Universität München, Heft 3, Dissertation, München, 1993

- [46] **Kitamura, Ryuichi:** „Application of Models of Activity Behaviour for Activity Based Demand Forecasting“
in: Summary, Recommendations, Compendium of Papers, Travel Model Improvement Program, Konferenz in Louisiana, 1996
- [47] **Klewe, Heinz:** „Aspekte des Mobilitätsmanagements im Freizeitverkehr“
in: Fachgebiet Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern, Grüne Reihe Nr. 38, Kaiserslautern, 1997
- [48] **Knoflacher, Hermann:** „Verkehrsplanung für den Menschen“
Band 1: Grundstrukturen, Orac-Verlag, Wien, zitiert in [81]
- [49] **Lanzendorf, Martin:** „Überblick über empirische Daten zum Freizeitverkehr“
in: „Freizeitverkehr im Zeichen wachsender Freizeitmobilität“, Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, Reihe B, Heft B 192, Bergisch Gladbach, 1997
- [50] **Lawson, Cathrine T.:** „Understanding Leisure Travel/Activity Decisions: ‚Psst, Want to Know Where to Go for a Good Time?‘“
Preprint des paper No. 00 – 0559, Transportation Research Board, 79th Annual Meeting, Washington, 2000
- [51] **Lipps, Oliver:** „Modellierung der individuellen Verhaltensvariationen bei Verkehrsentstehung“
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 58/01, Dissertation, Karlsruhe, 2001
- [52] **Lohse, Dieter; Teichert, Heidrun; Dugge, Birgit; Bachner, Gerald:** „Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen – Verkehrsnachfragemodellierung“
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden, Heft 5/1997, Dresden, 1997
- [53] **Lüking, Jost; Meyrat-Schlee, Ellen:** „Perspektiven des Freizeitverkehrs, Teil 1: Determinanten und Entwicklungen“
Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Straßenbau (Hrsg.), Forschungsauftrag 41/92 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), Zürich, 1994

- [54] **Lüking, Jost:** „Perspektiven des Freizeitverkehrs – Ausprägungen und Entwicklung“
in: „Freizeitverkehr im Zeichen wachsender Freizeitmobilität“, Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, Reihe B, Heft B 192, Bergisch Gladbach, 1997
- [55] **McFadden, Daniel:** „Rationality for Economists“
zitiert in [8, Seite 4]
- [56] **Meier, Ruedi:** „Nachhaltiger Freizeitverkehr“
Verlag Rüegger, Chur Zürich, 2000
- [57] **Neumann, Peter:** „Fahrten von Ost nach West sind noch immer selten – BVG-Verkehrsforscher stellen fest: Berliner bleiben größtenteils in ihren angestammten Stadthälften“
in: Berliner Zeitung vom 28.10.1999
- [58] **N.N.**
Meyers enzyklopädisches Lexikon, Bibliographisches Institut, Lexikonverlag, Mannheim Wien Zürich, 9. Auflage
- [59] **N.N.**
Der Große Brockhaus, zitiert in [91]
- [60] **N.N.:** „Alltags- und Erlebnisfreizeit“
www.freizeitverkehr.de/alert.htm, Recherche vom 03.09.2001
- [61] **N.N.:** „Bekanntmachung eines Forschungsschwerpunktes ‚Freizeitverkehr‘“
Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, www.tuev-ptmuv.com, Recherche vom 31.03.1999
- [62] **N.N.:** „Freizeitmobilität älterer Menschen: Bedingungen, Formen und Entscheidungen“
www.freizeitverkehr.de/aelttere.htm, Recherche vom 03.09.2001
- [63] **N.N.:** „Auto Katalog“
zitiert in [88]
- [64] **N.N.:** „Verkehrsentwicklungsplan für den Großraum Würzburg, Teil E: Untersuchungen zum ruhenden Verkehr“
zitiert in [26]

- [65] **N.N.:** „Fünf Jahre Rheinland-Pfalz-Takt – Eine Erfolgsbilanz“
in: Bus & Bahn, Heft 10/99, 1999
- [66] **Oetting, Andreas:** „Maßnahmensensible Modellierung der angebotsabhängigen Verkehrsnachfrage und daraus folgender Trassenbedarf“
in: Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 57, Aachen, 2000
- [67] **Opaschowski, Horst W.:** „Freizeitmobilität im Erlebniszeitalter“
in: Institut für Mobilitätsforschung (Hrsg.): „Freizeitverkehr – Aktuelle und künftige Herausforderungen und Chancen“, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000
- [68] **Perian, Thomas; Beckmann, Klaus J.:** „FreiMove – Dem Freizeitverkehr auf der Spur – Erschließung und Mobilitätsdienstleistungen im Zusammenhang mit Freizeitgroßeinrichtungen“
in: Schriftenreihe Stadt Region Land, Institut für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Heft 70, Aachen, 2001
- [69] **Preisendörfer, Peter; Schad, Helmut; Wächter-Scholz, Franziska; Franzen, Axel; Rommerskirchen, Stefan; Diekmann, Andreas:** „Wertewandel und Verkehrsmittelwahl – unter Berücksichtigung von Low-Cost-Situationen“
Forschungsbericht FE-Nr. 77403/96 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Basel Rostock, 1999
- [70] **Reinhold, Tom; Höhnberg, Gunther:** „Ruhender Verkehr in innenstadtnahen Randbereichen“
in: Internationales Verkehrswesen 50, Heft 6, 1998
- [71] **Reinhold, Tom:** „Die Bedeutung des Parksuchverkehrs – Eine quantitative Abschätzung am Beispiel von zwei Stadtgebieten in München“
in: Internationales Verkehrswesen 51, Heft 6, 1999
- [72] **Schäfer, Frank:** „Nachfrage effizient ermitteln – Anwendungsspektrum der Standardisierten Bewertung von Investitionen in den öffentlichen Personennahverkehr erweitert“
in: Der Nahverkehr, Heft 6, 2001

- [73] **Schmid, Martin:** „Auswirkungen der Kraftstoffbesteuerung auf die Pkw-Fahrleistungen im Freizeitverkehr“
Veröffentlichungen aus dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Dissertation, Stuttgart, 1996
- [74] **Schmidt, Kunibert:** „Freizeitverkehr aus der Sicht des Automobils“
in: „Freizeitverkehr im Zeichen wachsender Freizeitmobilität“, Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, Reihe B, Heft B 192, Bergisch Gladbach, 1997
- [75] **Schubert, B.:** „Entwicklung von Konzepten für Produktinnovationen mittels Conjoint-Analysen“
Stuttgart, 1991
- [76] **Schuster, Andreas; Garben, Manfred; Kohlen, Ralf; Reinhold, Tom:**
„Parkraumbedarfsermittlung in Gebieten mit konkurrierenden Parkraumangeboten“
in: Straßenverkehrstechnik, Heft 2, 1999
- [77] **Schütte, Fabian:** „Dynamische Simulation des werktäglichen motorisierten Individualverkehrs – am Beispiel der EXPO 2000“
Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover, Heft 38, Hannover, 2000
- [78] **Schwanhäuser, Wulf:** „Techniken zur Luftreinhaltung – Verkehrssysteme im Vergleich – Ermittlung der Energieverbräuche und der Schadstoffemissionen als Basis von Vergleichsrechnungen“
Unterlagen zur Vorlesung im Studienbaustein Luftreinhaltung des Sonderbereichs „Umweltschutz“, RWTH Aachen, 1991
- [79] **Seitz, Erwin:** „Trends im Freizeit- und Mobilitätsverhalten“
in: „Freizeitverkehr im Zeichen wachsender Freizeitmobilität“, Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, Reihe B, Heft B 192, Bergisch Gladbach, 1997
- [80] **Simon, Werner:** „Methode zur parametrischen Anpassung von Fahrzyklen an die wechselnden Verkehrsabläufe im Straßenverkehr“
Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 44, Aachen, 1989

- [81] **Spiegel, Thomas:** „Die Empfindung des Widerstandes von Wegen unterschiedlicher Verkehrsmittelbenützung und deren Auswirkung auf das Mobilitätsverhalten“
Beiträge zu einer ökologisch und sozial verträglichen Verkehrsplanung 1/1995, Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Technischen Universität Wien, Dissertation, Wien, 1995
- [82] **Stiftung Warentest (Hrsg.):** „Oft mehr Frust als Lust“
in: test, Heft 6, 1997
- [83] **Stock, Ralf; Bschorr, Christian:** „Benutzerfreundliche Parkhäuser – Erfahrungen aus der Praxis – Empfehlungen für die Praxis“
ADAC (Hrsg.), München, 2000
- [84] **Tzieropoulos, Panagiotis:** „Contribution à l'étude de la demande de transport : pertinence de modèles désagrégés“
Département de génie civil der Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 1980
- [85] **Vallée, Dirk:** „Das Verkehrsangebot als Basis zur Berechnung der Mobilität im Stadtverkehr“
Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 49, Dissertation, Aachen, 1994
- [86] **Walther, Klaus:** „Nachfrageorientierte Bewertung der Streckenführung im öffentlichen Personennahverkehr“
Bericht Nr. 2356 der Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Westdeutscher Verlag, Dissertation, Opladen, 1973
- [87] **Walther, Klaus; Klinkenberg, Elmar:** „Modal split und Angebot-Nachfrage-Reaktion im städtischen Personenverkehr (multi-modales Split/Elastizitätsmodell PNV-SPLIT)“
Modellentwicklung am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen, 1987/90
- [88] **Walther, Klaus:** „Maßnahmenreagibler Modal-Split für den städtischen Personenverkehr – Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung“
Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 45, Aachen, 1991

- [89] **Walther, Klaus:** „Bestimmungsgrößen der Pkw-Nutzung – Entscheidungshilfen für die Verkehrs-, Energie- und Umweltpolitik“
in: Internationales Verkehrswesen 46, Heft 12, 1994
- [90] **Walther, Klaus:** „Entwicklung des durchschnittlichen Flottenverbrauchs von Pkw und Kombi-Fahrzeugen – Folge des technischen Fortschritts und des Nutzerverhaltens“
in: Internationales Verkehrswesen 47, Heft 12, 1995
- [91] **Walther, Klaus:** „Die Marktwirksamkeit von ÖPNV-Qualität – Ihre Berechnung – Lösungsansatz mit Anwendungsbeispiel“
in: Der Nahverkehr, Heft 12, 1996
- [92] **Walther, Klaus; Oetting, Andreas; Vallée, Dirk:** „Simultane Modellstruktur für die Personenverkehrsplanung auf der Basis eines neuen Verkehrswiderstands“
Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 52, Aachen, 1997
- [93] **Walther, Klaus:** bisher unveröffentlichte Ergänzung zu [92]
- [94] **Walther, Klaus:** „Grundlagen der Verkehrswirtschaft“
Umdruck des Lehrstuhls für Schienenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der RWTH Aachen, Aachen, 2001
- [95] **Walther, Klaus:** „Die Not mit den Noten – Gedanken zur Aussagefähigkeit von Qualitätsurteilen über ÖPNV-Angebote“
in: Hauger, Georg (Hrsg.): „Perspektiven der Verkehrssystemplanung - Festschrift für Peter Cerwenka“, IVS-Schriften, Band 14, Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, Wien, 2002
- [96] **Zängler, Thomas W.:** „Mikroanalyse des Mobilitätsverhaltens in Alltag und Freizeit“
Institut für Mobilitätsforschung (Hrsg.), Dissertation, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000

10.2 Verzeichnis der Datenquellen

- [101] **Aachener Nachrichten:** „Gebühren in Parkhäusern uneinheitlich“
Aachener Nachrichten vom 30.03.89
- [102] **Aral Aktiengesellschaft:** „Verkehrstaschenbuch“
jährlich herausgegeben von der ARAL-Aktiengesellschaft, Abteilung
Öffentlichkeitsarbeit, Bochum, verschiedene Jahrgänge
- [103] **Apel, Dieter; Lehm Brock, Michael:** „Stadtverträgliche Verkehrsplanung –
Chancen zur Steuerung des Autoverkehrs durch Parkraumkonzepte und
-bewirtschaftung“
Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin, 1990
- [104] **Bundesverband der Park- und Garagenhäuser:** „Einstellpreise in Park-
häusern und Tiefgaragen – Stand 1.4.1993“
Köln, 1993
- [105] **Bundesverband der Park- und Garagenhäuser:** „Gebührenhöhe an
Parkuhren und Parkscheinautomaten pro Stunde – Stand 1.4.1995“
Köln, 1995
- [106] **Bundesverband der Park- und Garagenhäuser:** „Gebühren an Park-
uhren und Parkscheinautomaten in Innenstadtlagen – Erhebungszeitraum
1. April 1996“
Köln, 1996
- [107] **Bundesverband der Park- und Garagenhäuser:** „Erhebung der Einstell-
preise in Parkhäusern, Tiefgaragen und auf Parkplätzen – Stand 1. April
1998“
Köln, 1998
- [108] **Bundesverband der Park- und Garagenhäuser:** „Erhebung der Einstell-
preise an Parkuhren und Parkscheinautomaten zum 1. April 1998“
Köln, 1998

- [109] **Chlond, Bastian; Lipps, Oliver; Zumkeller, Dirk:** „Deutsches Mobilitäts-panel“
Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, verschiedene Jahrgänge
- [110] **Deutscher Städtetag; Deutscher Landkreistag; Deutscher Städte- und Gemeindebund; Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer; Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hrsg.):** „Fahrpreise im öffentlichen Personennahverkehr“
Köln, 1999
- [111] **Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung:** „Verkehr in Zahlen“
Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.), Bonn, verschiedene Jahrgänge
- [112] **Frank-Bosch, Birgit:** „Öffentlicher Straßenpersonenverkehr 1998“
in: Wirtschaft und Statistik, Heft 8, 1999
- [113] **GfK Marktforschung GmbH:** „Öffentlicher Personennahverkehr im Urteil der Bevölkerung“
Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hrsg.), Köln, verschiedene Jahrgänge
- [114] **Grüber, Bernhard; Raupbach, Dirk:** „Analyse von Parkhaus-Kenndaten – Technische und wirtschaftliche Bemessungsgrundlagen“
BMW Group, Research Division, Verkehrskonzepte Berlin, Berlin, 2000
- [115] **Hautzinger, Heinz; Tassaux, Brigitte:** „Verkehrsmobilität und Unfallrisiko in der Bundesrepublik Deutschland“
Ergebnisbericht zum Forschungsprojekt 8303 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1989
- [116] **Hettinger; Kaminsky; Schmale:** „Ergonomie am Arbeitsplatz“
zitiert in: [81]
- [117] **Kloas, Jutta; Kuhfeld, Hartmut:** „Verkehrsverhalten im Vergleich“
Beiträge zur Strukturforchung, Heft 96, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin, 1987
- [118] **Kloas, Jutta; Kunert, Uwe:** „Über die Schwierigkeit, Verkehrsverhalten zu messen – Die drei KONTIV-Erhebungen im Vergleich – Teil II“
in: Verkehr und Technik, Heft 5, 1994

- [119] **Körntgen, Silvia:** „Beispielsammlung Parkleitsysteme“
Fachgebiet Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern, Grüne Reihe
Nr. 26, Kaiserslautern, 1993
- [120] **Lessmann, H.:** „Wechselwirkungen zwischen Parkangebot und Verkehrsaufkommen“
Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau (Hrsg.): Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 264, Bonn, 1978
- [121] **Macoun, Thomas:** „Zugangszeiten zu Parkplätzen“
Diplomarbeit am Institut für Verkehrsplanung der Technischen Universität Wien, 1984
- [122] **Marcks, H.-J.; Walther K. et al.:** „P + R-Untersuchung“
zitiert in [88]
- [123] **Monheim, Rolf:** „Mobilität zu Fuß – Eine Bestandsaufnahme des Fußgängerverkehrs“
in: Fußgängerfreundliche Verkehrs- und Stadtplanung, Tagungsband, Verkehrsministerium Baden-Württemberg Referat 15 (Hrsg.), Stuttgart, 1995
- [124] **N.N.:** „Gute Ideen sind Mangelware – Wie parkfreundlich sind unsere Städte?“
in: ADAC motorwelt 8/97
- [125] **N.N.:** „Tarifliche Wochen- und Jahresarbeitszeit“
Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliches Institut in der Hans-Böckler-Stiftung, Tarifarchiv
- [126] **Piotrowski, D.:** „Analyse des Parkverhaltens im Innenstadtrandbereich von München“
zitiert in [45]
- [127] **Sparmann, Jürgen:** „Verhaltensweisen im ruhenden Verkehr – Ergebnisse einer Befragung in Berlin (West)“
in: Straßenverkehrstechnik, Heft 6, 1978
- [128] **Statistisches Bundesamt (Hrsg.):** „Statistisches Jahrbuch“
Metzler-Poeschel, Stuttgart, 1999

-
- [129] **Topp, Hartmut H.; Körntgen, Silvia; Gevatter, Ursula; Theiß, Annette; Vincenzi, Sandro:** „Parkleitsysteme – Wirksamkeitsuntersuchungen und Konzeptentwicklung“
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 13, Bergisch Gladbach, 1994
- [130] **Überschaer, M; Jäger, G.:** „Analyse des Verkehrsverhaltens der Bevölkerung in Nordrhein-Westfalen an Werktagen im Jahre 1989 (Sonderauswertung der KONTIV '89)“
Ministerium für Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Referat Z C 2, Düsseldorf, 1991
- [131] **Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hrsg.):** „Statistik“
Köln, verschiedene Jahrgänge
- [132] **Wutschka, Jürgen:** „Parkraumnachfrage im innerstädtischen Einkaufsverkehr“
Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Heft B42, Aachen, 1990
- [133] **Aachener Verkehrsverbund:** „Fahrplan 89/90 - Region Aachen“
Aachener Straßenbahn- und Energieversorgungs-AG (Hrsg.), Aachen, 1989
- [134] **Aachener Verkehrsverbund:** „Fahrplan 01/02 - Region Aachen“
Aachener Straßenbahn- und Energieversorgungs-AG (Hrsg.), Aachen, 2001
- [135] **Bremer Strassenbahn AG (Hrsg.):** „Sommerfahrplan 1991“
Bremen, 1991
- [136] **Die Saartal-Linien:** „Der große Fahrplan für Saarbrücken Stadt und Umland“
Gesellschaft für Straßenbahnen im Saartal AG, Saarbrücken, 1996
- [137] **ESWE Stadtwerke Wiesbaden (Hrsg.):** „Fahrplan Wiesbaden 1990/91“
Wiesbaden, 1990
- [138] **Freiburger Verkehrs AG (Hrsg.):** „VAG Taschenbuch '89“
Freiburg, 1989

- [139] **Großraum-Verkehr Hannover (Hrsg.):** „Fahrplan Winter 89/90“
Hannover, 1989
- [140] **Hamburger Verkehrsverbund (Hrsg.):** „Sommerfahrplan 1991“
Hamburg, 1991
- [141] **Nahverkehr Großraum Nürnberg:** „Nahverkehr Großraum Nürnberg – Sommer '89“
Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg (Hrsg.), Nürnberg, 1989
- [142] **Ulm / Neu-Ulmer Nahverkehr:** „Fahrplan Winter '92/93“
Stadtwerke Ulm / Neu-Ulm GmbH (Hrsg.), Ulm, 1992
- [143] **Verkehrsverbund Rhein-Ruhr:** „Stadtfahrplan – Dortmund – 1998“
Dortmunder Stadtwerke AG (Hrsg.), Gelsenkirchen, 1998
- [144] **Verkehrsverbund Rhein-Ruhr:** „Stadtfahrplan – Düsseldorf – 1990“
Rheinische Bahngesellschaft AG (Hrsg.), Düsseldorf, 1990
- [145] **Verkehrsverbund Rhein-Ruhr:** „Stadtfahrplan – Essen – 1990“
Essener Verkehrs AG (Hrsg.), Gelsenkirchen, 1990
- [146] **Verkehrsverbund Rhein-Ruhr:** „Stadtfahrplan – Recklinghausen – 1990“
Vestische Straßenbahnen GmbH (Hrsg.), Gelsenkirchen, 1990
- [147] **Verkehrsverbund Rhein-Ruhr:** „Stadtfahrplan – Witten – 1992“
Bochum-Gelsenkirchener Straßenbahnen Aktiengesellschaft (Hrsg.),
Gelsenkirchen, 1992
- [148] **Verkehrsverbund Rhein-Ruhr:** „Stadtfahrplan Wuppertal 1990/91“
Wuppertaler Stadtwerke AG (Hrsg.), Gelsenkirchen, 1990
- [149] **Verkehrsverbund Rhein-Sieg:** „Verbundfahrplan - Bereich 5 - Rhein-Sieg-Kreis“
Rhein-Sieg-Verkehrsgesellschaft mbH (Hrsg.), Troisdorf-Sieglar, 1988
- [150] **Verkehrsverbund Rhein-Sieg:** „Verbundfahrplan - Bereich 6 - Bonn/Rhein-Sieg-Kreis“
Stadtwerke Bonn, Verkehrsbetriebe (Hrsg.), Bonn, 1991
- [151] **Verkehrsverbund Rhein-Sieg:** „Verbundfahrplan 1998“
Verkehrsverbund Rhein-Sieg GmbH (Hrsg.), Köln, 1998

- [152] **Socialdata:** „Mobilität im Aachener Raum“
Zukunftsinitiative Aachener Raum (ZAR) (Hrsg.), München, 1991
- [153] **Socialdata:** „Trendwende zum ÖPNV, Mobilitätsverhalten in Bochum und Essen“
Ministerium für Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), München, 1992
- [154] **Socialdata:** „Public Awareness des ÖPNV in Bonn“
Stadt Bonn, Stadtplanungsamt (Hrsg.), München, 1991
- [155] **Socialdata:** „Fahrradfreundliches Bonn“
Stadt Bonn, 1999
- [156] **Socialdata:** „Mobilitätsverhalten in Bremen, Ergebnisse der Verkehrsbefragung 1991, Teil 1: Verhaltensweisen“
Bremer Straßenbahn AG (Hrsg.), München, 1991
- [157] **Socialdata:** „Mobilitätsverhalten 1998 Dortmund, Tabellenband“
Dortmunder Stadtwerke AG (Hrsg.), München, 1998
- [158] **Socialdata:** „Public Awareness des ÖPNV in Düsseldorf, Mobilitätsverhalten“
Rheinische Bahngesellschaft AG, Düsseldorf (Hrsg.), Tabellenband, München, 1990
- [159] **Socialdata:** „Zahlen und Fakten zur Mobilität“
Verkehrsgemeinschaft Freiburg (Hrsg.), München, 1990
- [160] **Socialdata:** „Public Awareness des ÖPNV in Hamburg, Mobilitätsverhalten Stadt und Umland Hamburg“
Hamburger Verkehrsverbund (HVV) (Hrsg.), Tabellenband, München, 1992
- [161] **Socialdata:** „Public Awareness des ÖPNV in Hannover, Mobilitätsverhalten“
ÜSTRA Hannover (Hrsg.), Tabellenband, München, 1990
- [162] **Socialdata:** „Public Awareness Nürnberg, Mobilitätsverhalten '89“
Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg (Hrsg.), Tabellenband, München, 1989

- [163] **Socialdata:** „Verkehrsbibliothek, Mobilität im Vestischen Raum Recklinghausen“
Vestische Straßenbahn GmbH, Herten (Hrsg.), München, 1990
- [164] **Socialdata:** „Die Saarbahn, Neue Mobilität für Stadt und Land“
Stadtbahn Saar GmbH / Saarbahn GmbH (Hrsg.), München, 1996
- [165] **Socialdata:** „Informationen zum Stadtverkehr, Mobilität in Troisdorf“
Stadt Troisdorf (Hrsg.), München, 1991
- [166] **Socialdata:** „Mobilität in Ulm und Neu-Ulm“
Städte Ulm und Neu-Ulm (Hrsg.), München, 1992
- [167] **Socialdata:** „Stadt – Verkehr – Umwelt, Eine Informationsreihe der ESWE, Heft 1: Kennziffern der Mobilität“
Stadtwerke Wiesbaden AG (ESWE) (Hrsg.), München, 1990
- [168] **Socialdata:** „Trendwende zum ÖPNV, Mobilitätsverhalten in Witten“
Ministerium für Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf (Hrsg.), München, 1992
- [169] **Socialdata:** „Public Awareness des ÖPNV in Wuppertal“
Wuppertaler Stadtwerke AG (Hrsg.), Tabellenband, München, 1990

Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1: Anwendung der Ungleichungen (A), (D) und (E) nach Abbildung 4.7 auf das Modell von Vallée (zu Kapitel 2.1.4)
- Anhang 2: Überprüfung der Maßnahmenreagibilität des Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen und des Modellkomplexes bei $VB = \text{const.}$ (zu Kapitel 4.4.4)
- Anhang 3: Überprüfung der Maßnahmenreagibilität des Modellansatzes für die Verkehrsbeteiligungsquote und des Modellkomplexes (zu Kapitel 4.5.4)
- Anhang 4: Erzeugungsraten für privaten Besuch und „Essen / Trinken“ (zu Kapitel 5.4.3.3.4)

Anhang 1: Anwendung der Ungleichungen (A), (D) und (E) nach Abbildung 4.7 auf das Modell von Vallée (zu Kapitel 2.1.4)

In diesem Anhang ist zu zeigen, dass das von Vallée [85] vorgeschlagene Verkehrs-erzeugungsmodell die Aussagen (A), (D) und (E) in Abbildung 4.7 nicht erfüllt und damit beobachtetem Verkehrsverhalten widerspricht.

Nach Vallée wäre:

$$M_M = \frac{165}{w_{GS}}$$

$$VB = 0,5 + \frac{0,45}{1 + e^{-3,6291 + 0,0691 \cdot w_{GS}}}$$

Der Übersichtlichkeit halber werden für die weiteren Rechnungen Variablen für zwei Koeffizienten in der Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote eingeführt:

$$VB = 0,5 + \frac{0,45}{1 + e^{a \cdot w_{GS} - b}}$$

mit

$$a = 0,0691$$

$$b = 3,6291$$

Es gilt:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} = -\frac{165}{w_{GS}^2} = -\frac{M_M}{w_{GS}}$$

$$\frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} = -\frac{0,45 \cdot a \cdot e^{a \cdot w_{GS} - b}}{(1 + e^{a \cdot w_{GS} - b})^2}$$

I Aussage (A)

Aussage (A) lautet:

$$\frac{\partial TM_m}{\partial w_n} > 0$$

Die Teilmobilitätsrate TM_m lässt sich anhand der Gleichung (4.11) umschreiben zu:

$$\frac{\partial}{\partial w_n} [M_M \cdot VB \cdot A_m] > 0$$

Daraus wird mit der Produktregel:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_n} \cdot VB \cdot A_m + \frac{\partial VB}{\partial w_n} \cdot M_M \cdot A_m + \frac{\partial A_m}{\partial w_n} \cdot M_M \cdot VB > 0$$

Durch Division durch die positiven Größen M_M , VB und A_m folgt:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{1}{M_M} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} + \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{1}{VB} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \\ & + \frac{\partial A_m}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{1}{A_m} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} > 0 \end{aligned}$$

Nach Einsetzen der Gleichungen (4.8) und (4.9) ergibt sich:

$$-\frac{1}{w_{GS}} - \frac{0,45 \cdot a \cdot e^{a \cdot w_{GS} - b}}{(1 + e^{a \cdot w_{GS} - b})^2} \cdot \frac{1}{VB} + \frac{\frac{1}{\mu \cdot w_m}}{\frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_m}} > 0$$

Der dritte Summand lässt sich vereinfachen

$$-\frac{1}{w_{GS}} - \frac{0,45 \cdot a \cdot e^{a \cdot w_{GS} - b}}{(1 + e^{a \cdot w_{GS} - b})^2} \cdot \frac{1}{VB} + \frac{1}{w_{GS}} > 0$$

und mit dem ersten Summanden verrechnen:

$$-\frac{0,45 \cdot a \cdot e^{a \cdot w_{GS} - b}}{(1 + e^{a \cdot w_{GS} - b})^2} \cdot \frac{1}{VB} > 0 \quad (\text{falsch})$$

Da alle Terme auf der linken Seite der Ungleichung positive Werte annehmen, ist die Ungleichung nicht erfüllt. Sinkt beispielsweise der Widerstand eines Verkehrsmittels, steigt nach Vallée die Nachfrage nach den konkurrierenden Verkehrsmitteln.

II Aussage (D)

Gemäß Aussage (D) muss gelten

$$-\frac{\partial TM_n}{\partial w_n} > -\sum_i \frac{\partial TM_i}{\partial w_n}$$

entsprechend:

$$\sum_{i \neq n} \frac{\partial TM_i}{\partial w_n} > 0$$

Da, wie sich aus I ergibt,

$$\frac{\partial TM_i}{\partial w_n} < 0 \quad \text{für alle } i \neq n$$

ist, erfüllt das Modell von Vallée die Aussage (D) nicht. Nach dem Modell von Vallée würden folglich keine Verkehrsverlagerungen zum Beispiel zu einem Verkehrsmittel, dessen Widerstand sinkt, stattfinden.

III Aussage (E)

Die Gesamtsystemwiderstände als Eingangsgrößen der Verkehrserzeugungsberechnung betragen für die zwei Zustände

$$w_{GS, \text{vor}} = \frac{2}{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{w_{i, \text{vor}}}} \quad \text{mit (4.1)}$$

und:

$$w_{GS, \text{nach}} = \frac{2}{\frac{1}{w_m} + \frac{1}{w_n}} = w_m$$

Da vor der Einführung des Verkehrsmittels $i=2$ sein Widerstand unendlich groß sein soll, gilt für den entsprechenden Gesamtsystem-Widerstand:

$$w_{GS, \text{vor}} = \frac{2}{\frac{1}{w_m} + 0} = 2 \cdot w_m$$

Nach Aussage (E) ist:

$$2 \cdot TM_{m, \text{vor}} > TM_{m, \text{nach}} + TM_{n, \text{nach}}$$

Die Wege werden vor der Einführung des zweiten Verkehrsmittels nur mit einem Verkehrsmittel durchgeführt, so dass gilt: $M_{A, \text{vor}} = TM_{m, \text{vor}}$. Nach der Einführung ist: $M_{A, \text{nach}} = TM_{m, \text{nach}} + TM_{n, \text{nach}}$. Unter Verwendung von Gleichung (4.5) lassen sich die Mobilitätsraten M ersetzen:

$$2 \cdot M_M(2 \cdot w_m) \cdot VB(2 \cdot w_m) > M_M(w_m) \cdot VB(w_m)$$

Das Einsetzen der Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen nach Vallée liefert

$$2 \cdot \frac{165}{2 \cdot w_m} \cdot VB(2 \cdot w_m) > \frac{165}{w_m} \cdot VB(w_m)$$

und somit:

$$VB(2 \cdot w_m) > VB(w_m) \quad (\text{falsch}) \quad \text{mit } w_m > 0$$

Da die Funktion für die Verkehrsbeteiligungsquote streng monoton fallend über den Gesamtsystem-Widerstand ist, nimmt die linke Seite der Ungleichung immer kleinere Werte an als die rechte Seite. Das Verkehrserzeugungsmodell von Vallée bildet folglich die Einführung neuer Verkehrsmittel falsch ab.

Anhang 2: Überprüfung der Maßnahmenreagibilität des Entscheidungsalgorithmus für die Mobilitätsrate der Mobilen und des Modellkomplexes bei $VB = \text{const.}$ (zu Kapitel 4.4.4)

I Maßnahmenreagibilität des Modellansatzes für die Mobilität der Mobilen

Nach Kapitel 4.2.2 muss die Funktion $M_M(w_{GS})$ streng monoton fallend sein. Es ist also nachzuweisen, dass gilt:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} < 0$$

Mit dem gewählten Ansatz für die Mobilitätsrate der Mobilen ergibt sich:

$$\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} = \frac{\partial}{\partial w_{GS}} \left[1 + \frac{B}{w_{GS} + w_o} \right] = - \frac{B}{(w_{GS} + w_o)^2} < 0 \quad (\text{A 2.1})$$

Da nach Gleichung (4.22) der Parameter B nur positive Werte annehmen kann, sind Zähler wie Nenner des Bruchs positiv und der Modellansatz für die Mobilitätsrate der Mobilen maßnahmenreagibel.

II Maßnahmenreagibilität des Modellkomplexes bei $VB = \text{const.}$

Nach Kapitel 4.3.2 soll gelten:

$$\frac{\partial TM_{M,m}}{\partial w_n} > 0$$

Die linke Seite der Ungleichung lässt sich anhand der Gleichung (4.11) umschreiben zu:

$$\frac{\partial TM_{M,m}}{\partial w_n} = \frac{\partial}{\partial w_n} [M_M \cdot VB \cdot A_m]$$

Mit Hilfe der Regeln der Differentialrechnung ergibt sich bei konstanter Verkehrsbeteiligungsquote ergibt sich mit:

$$\frac{\partial TM_{M,m}}{\partial w_n} = VB \cdot \left[\frac{\partial M_M}{\partial w_n} \cdot A_m + M_M \cdot \frac{\partial A_m}{\partial w_n} \right]$$

Daraus wird mit Gleichung (4.8):

$$\frac{\partial TM_{M,m}}{\partial w_n} = VB \cdot \left[\frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_n} + M_M \cdot \frac{1}{\mu \cdot w_m} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \right]$$

Durch Ausklammern und Einsetzen der Funktion für die Mobilitätsrate der Mobilen sowie deren Ableitung folgt:

$$\frac{\partial TM_{M,m}}{\partial w_n} = \frac{VB}{\mu \cdot w_m} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot \left[-\frac{B}{(w_{GS} + w_0)^2} \cdot w_{GS} + 1 + \frac{B}{w_{GS} + w_0} \right]$$

mit (4.22) und (A 2.1)

Die Zusammenfassung zweier Summanden

$$\frac{\partial TM_{M,m}}{\partial w_n} = \frac{VB}{\mu \cdot w_m} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot \left[1 + \frac{-B \cdot w_{GS} + B \cdot w_{GS} + B \cdot w_0}{(w_{GS} + w_0)^2} \right]$$

führt zu:

$$\frac{\partial TM_{M,m}}{\partial w_n} = \frac{VB}{\mu \cdot w_m} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot \left[1 + \frac{B \cdot w_0}{(w_{GS} + w_0)^2} \right] > 0$$

Da B und w_0 nach Gleichung (4.22) positiv sind, nimmt der Klammerausdruck nur Werte größer Null an. Die partielle Ableitung ist nach Ungleichung (4.9) immer positiv. Nach Aussage (4.12) und mit $\mu \in \hat{U}$ wird der erste Bruch nie negativ oder zu Null. Das gesamte Produkt ist folglich immer positiv, die eingangs wiedergegebenen Ungleichung erfüllt und die Maßnahmenreagibilität des Modellkomplexes nicht widerlegt.

Anhang 3: Überprüfung der Maßnahmenreagibilität des Modellansatzes für die Verkehrsbeteiligungsquote und des Modellkomplexes (zu Kapitel 4.5.4)

I Maßnahmenreagibilität des Modellansatzes für die Verkehrsbeteiligungsquote

Nach Kapitel 4.2.3 muss die Funktion $VB(w_{GS})$ streng monoton fallen. Es ist also nachzuweisen, dass gilt:

$$\frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} < 0$$

Mit dem gewählten Ansatz für die Verkehrsbeteiligungsquote ergibt sich:

$$\frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} = \frac{\partial}{\partial w_{GS}} \left[\frac{C}{w_{GS}^{\alpha} + D} \right]$$

Die Ableitung der rechten Seite der Gleichung führt zu:

$$\frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} = - \frac{\alpha \cdot C}{(w_{GS}^{\alpha} + D)^2 \cdot w_{GS}^{1-\alpha}} < 0$$

Da nach den Ungleichungen (4.12) und (4.24) alle Faktoren in Zähler und Nenner positive Werte annehmen, ist die partielle Ableitung negativ und der Modellansatz für die Verkehrsbeteiligungsquote maßnahmenreagibel.

II Maßnahmenreagibilität des Modellkomplexes

Nach Kapitel 4.3.2 soll gelten:

$$\frac{\partial TM_m}{\partial w_n} > 0$$

Mit Gleichung (4.11) ergibt sich:

$$\frac{\partial}{\partial w_n} [M_M \cdot VB \cdot A_m] > 0$$

Nach den Regeln der Differentialgleichung entspricht dies:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot VB \cdot A_m + \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot M_M \cdot A_m \\ & + \frac{\partial A_m}{\partial w_{GS}} \cdot \frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n} \cdot M_M \cdot VB > 0 \end{aligned}$$

Die Division durch die Terme M_M , VB , A_m und $\frac{\partial w_{GS}}{\partial w_n}$, die gemäß der Ungleichungen (4.9) und (4.12) positiv sind, führt zu:

$$\frac{1}{M_M} \cdot \frac{\partial M_M}{\partial w_{GS}} + \frac{1}{VB} \cdot \frac{\partial VB}{\partial w_{GS}} + \frac{1}{A_m} \cdot \frac{\partial A_m}{\partial w_{GS}} > 0$$

Das Einsetzen der Gleichungen (4.8), (4.22) und (4.24) liefert:

$$\begin{aligned} & -\frac{B}{(w_{GS} + w_0)^2} - \frac{\alpha \cdot C}{(D + w_{GS}^\alpha)^2 \cdot w_{GS}^{1-\alpha}} + \frac{1}{\mu \cdot w_m} \\ & 1 + \frac{B}{w_{GS} + w_0} \quad \frac{C}{D + w_{GS}^\alpha} \quad \frac{w_{GS}}{\mu \cdot w_m} > 0 \end{aligned}$$

Die Auflösung der Doppelbrüche je Summand ergibt:

$$-\frac{B}{(w_{GS} + w_0) \cdot (w_{GS} + w_0 + B)} - \frac{a}{(D + w_{GS}^a) \cdot w_{GS}^{1-a}} + \frac{1}{w_{GS}} > 0 \quad (A 3.1)$$

Ob diese Aussage wahr ist, kann nur anhand der Werte für die Parameter in der Ungleichung geprüft werden. Gemäß (4.12) nimmt der Gesamtsystem-Widerstand nur positive Werte an.

Auch dann lässt sich die Ungleichung nicht geschlossen lösen. Da jedoch beide Seiten für alle $w_{GS} \in \mathbb{R}^+$ stetig sind, kann die Prüfung der Aussage (A 3.1) wie folgt geschehen: zunächst wird für einen beliebigen Gesamtsystem-Widerstand nachgewiesen, dass die Ungleichung zutrifft. Wenn zusätzlich die linke Seite von (A 3.1) für kein w_{GS} den Wert Null annimmt, ist (A 3.1) für alle w_{GS} erfüllt.

Der Nachweis, dass die Ungleichung für $w_{GS} = 1$ gilt, lässt sich weitgehend ohne Kenntnis der Parameter führen:

$$1 - \frac{B}{(1+w_0) \cdot (1+w_0+B)} - \frac{\alpha}{(D+1)} > 0$$

Mit den Gleichungen (4.22) und (4.24) wird daraus:

$$(1+w_0) \cdot (1+w_0+B) \cdot (D+1) - B \cdot (D+1) - \alpha \cdot (1+w_0) \cdot (1+w_0+B) > 0$$

Die Umformung mit Hilfe des Distributivgesetzes ergibt

$$(1+w_0) \cdot (1+w_0+B) \cdot (1-\alpha) + (1+w_0)^2 \cdot D + B [D \cdot (1+w_0) - (D+1)] > 0$$

und nach Auflösen einer Klammer:

$$(1+w_0) \cdot (1+w_0+B) \cdot (1-\alpha) + (1+w_0)^2 \cdot D + B (D \cdot w_0 - 1) > 0$$

Wenn gilt $D \cdot w_0 - 1 > 0$ ist die Aussage (A 3.1) für $w_{GS} = 1$ wahr.

Der endgültige Nachweis der Maßnahmenreagibilität des gesamten Modellkomplexes erfolgt in Kapitel 6 nach der Bestimmung der Parameter.

Anhang 4: Erzeugungsraten für privaten Besuch und „Essen / Trinken“ (zu Kapitel 5.4.3.3.4)

Anhand der Abbildung 2.4 lässt sich die Erzeugungsrates für private Besuche nach Tabelle 5.16 prüfen und die Erzeugungsrates für „Essen und Trinken“ bestimmen. Dazu wird für jede Freizeitaktivität bestimmt, wie oft sie die gesamte Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland pro Tag wahrnimmt und diese Anzahl auf die Summe der Strukturgröße für ganz Deutschland bezogen.

Die **Anzahl der außerhäusigen Freizeitaktivitäten** von Bewohnern größerer Städte beträgt im Mittel 0,66 Freizeitaktivitäten pro Einwohner und Tag (eigene Berechnung nach [154], [158], [160], [161], [162], [169]).

Der Anteil **privater Besuche** an allen Freizeitaktivitäten beträgt nach Abbildung 2.4 30 Prozent, entsprechend

$$0,66 \cdot 30\% = 0,20 \frac{\text{private Besuche}}{\text{Einwohner} \cdot \text{Tag}}$$

Bei diesem Wert handelt es sich um das Quellverkehrsaufkommen auf der Aktivseite. Da als Strukturgröße für Aktiv- und Passivseite jeweils die Einwohner anzusetzen sind, gilt der berechnete Wert auch für die Passivseite. Er weicht um einen Betrag von lediglich 0,02 private Besuche pro Einwohner und Tag von dem Wert aus Tabelle 5.16 ab.

Der Anteil der zu „**Essen und Trinken**“ zu zählenden Freizeitaktivitäten macht nach Abbildung 2.4 14 Prozent aus, d.h.

$$0,66 \cdot 14\% = 0,09 \frac{\text{Aktivitäten Essen/Trinken}}{\text{Einwohner} \cdot \text{Tag}}$$

Als noch verhältnismäßig gut bestimmbare Strukturgröße für die Passivseite dient die Anzahl der Lokale. Gemäß der Gelben Seiten gab es im Jahr 1999 circa 240.000 Lokale in der Bundesrepublik Deutschland. Somit gilt:

$$0,09 \frac{\text{Aktivitäten}}{\text{Einwohner} \cdot \text{Tag}} \cdot \frac{82 \cdot 10^6 \text{ Einwohner}}{240.000 \text{ Lokale}} = 31 \frac{\text{Aktivitäten}}{\text{Lokal} \cdot \text{Tag}}$$

Die Lokale ohne Eintragung in den Gelben Seiten, deren Anzahl allerdings gering ist, führt zu einer Überschätzung der Aktivitäten mit dem Zweck „Essen / Trinken“. Dienen die Gelben Seiten wie in der vorliegenden Arbeit auch zur Bestimmung der Anzahl der Lokale im Zielgebiet, wird dieser Fehler weitgehend kompensiert.

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1: Anzahl der Stellplätze je Parkstandstyp in der Innenstadt
- Anlage 2: Pkw-Fahrten an Werktagen in die Innenstadt
- Anlage 3: Parkgebühren in Parkbauten
- Anlage 4: Parkgebühren für Straßenrandparken
- Anlage 5: Verhältnis der Parkkosten je Parkstandstyp
- Anlage 6: Befragungsergebnisse zum Fahrradverkehr
- Anlage 7: Zusammenstellung der entfernungsunabhängigen Angebotsmerkmale
- Anlage 8: Zusammenstellung der entfernungsabhängigen Angebotsmerkmale – *alle Wege*
- Anlage 9: Festlegung des Vergleichssplits – *alle Wege*
- Anlage 10: Zusammenstellung der entfernungsabhängigen Angebotsmerkmale – *Freizeitwege*
- Anlage 11: Festlegung des Vergleichssplits – *Freizeitwege*

Anlage 1: Anzahl der Stellplätze je Parkstandstyp in der Innenstadt

Für den Fall, dass die gesuchte Stadt nicht in der folgenden Tabelle aufgeführt ist, können die erforderlichen Daten bei den Verwaltungen der Städte erfragt werden: „In fast allen Städten kann die Anzahl der Stellplätze im öffentlichen Straßenraum und auf öffentlichen Parkplätzen ausgewiesen werden – bei der Anzahl ist auch eine Ausweisung der Anzahl der öffentlich zugänglichen privaten Stellplätze und bei etwa der Hälfte der Städte auch der nicht öffentlich zugänglichen privaten Stellplätze möglich“ [35, Seite 14]. Über die Anzahl der Stellplätze in Parkbauten verfügen die Stadtverwaltungen oder die Parkhausbetreiber.

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht-öffentl.	öffentl.	öffentlich		Straßenrand	
						Parkbauten	Straßenrand	bewirtsch.	unbewirtsch.
Aachen	[103] » 1990	Altstadt innerhalb Wallring 2,55 km ²	36; 36; 30 [B]	6.000 27,9%	15.500 72,1%	6.000 38,7%	9.500 61,3%	100% [124]	0% [124]
Aachen	[124] 1997				13.717	6.476 47,2%	7.241 52,8%	7.241 100%	0 0%
Aspach	[35] 2000	0,19 km ²	0,65; -; -	613 81,8%	136 18,2%	0 0%	136 100%	0 0%	136 100%
Augsburg	[103] » 1990	Innenstadt zwischen Hbf und Stadtmauer 2,2 km ²	26; 30; -	5.300 34,6%	10.000 65,4%	5.100 51%	4.900 49%		

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Augsburg	[124] 1997				8.650	3.500 40,5%	5.150 59,5%	4.860 94,4%	290 5,6%
Bad Sachsa	[35] 2000	0,31 km ²	0,85; -; -	580 44,0%	737 56,0%	0 0%	737 100%	79 10,7%	658 89,3%
Bad Sas- sendorf	[35] 2000	0,3 km ²	0,67; -; -	188 53,1%	166 46,9%	0 0%	166 100%	0 0%	166 100%
Berlin	[124] 1997				70.000	10.000 14,3%	60.000 85,7%	60.000 100%	0 0%
Bielefeld	[124] 1997				14.880	7.600 51,1%	7.280 48,9%	4.380 60,2%	2.900 39,8%
Bochum	[124] 1997				5.959	4.697 78,8%	1.262 21,2%	740 58,6%	522 41,4%
Bonn	[124] 1997				7.267	3.127 43,0%	4.140 57,0%	2.864 69,2%	1.276 30,8%
Bonn	[35] 2000	Innenstadt, 2,2 km ²	6; 33 [L]; 32 [L]	4.884 33,2%	9.832 66,8%	4.718 48,0%	5.114 52,0%	2.243 43,9%	2.871 56,1%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Bottrop	[124] 1997				2.658	1.182 44,5%	1.476 55,5%	1.272 86,2%	204 13,8%
Braun- schweig	[103] » 1990	Innerhalb Wallanlagen 2,4 km ²	14; 28; -	7.200 42,9%	9.600 57,1%	5.600 58,3%	4.000 41,7%	58% [124]	42% [124]
Braun- schweig	[124] 1997				5.517	4.450 80,7%	1.067 19,3%	618 57,9%	449 42,1%
Bremen	[103] » 1990	Innenstadt zw. Weser und Bahnhof 1,5 km ²	7 [D]; -; -	60,6%	39,4%				
Bremen	[124] 1997				8.820	6.100 69,2%	2.720 30,8%	2.720 100%	0 05
Bremer- haven	[124] 1997				2.716	390 14,4%	2.326 85,6%	2.242 96,4%	84 3,6%
Chemnitz	[124] 1997				5.148	480 9,3%	4.668 90,7%	1.965 42,1%	2.703 57,9%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Cottbus	[124] 1997				2.587	887 34,3%	1.700 65,7%	1.700 100%	0 0%
Cottbus	[35] 2000	Bereich Altstadttring 0,63 km ²	4,7; 6,9; -	150 4,1%	3.507 95,9%	1.372 39,1%	2.135 60,9%	956 44,8%	1.179 55,2%
Darmstadt	[103] » 1990	Innenstadt 0,7 km ²		2.900 39,2%	4.525 60,8%	3.725 82,3%	800 17,7%	100% [124]	0% [124]
Darmstadt	[124] 1997				4.070	3.550 87,2%	520 12,8%	520 100%	0 0%
Dessau	[35] 2000	Kavalierstr. 0,8 km ²	14,8; 7,2; -	1628 23,7%	5251 76,3%	1420 27,0%	3831 73,0%	1072 28,0%	2759 72,0%
Dorfen	[35] 2000	0,12 km ²	0,7; -; -	403 39,2%	626 60,8%	0 0%	626 100%	46 7,3%	580 92,7%
Dortmund	[103] » 1990	Innenstadt einschließlich Randzone 1,7 km ²	8; 52; -	7.000 39,8%	10.600 60,2%	5.800 55%	4.800 45%	100% [124]	0% [124]
Dortmund	[124] 1997		4 [N,'98]; 32,5 [N,'87]; -		7.818	5.288 67,6%	2.530 32,4%	2.530 100%	0 0%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Dresden	[124] 1997				9.390	2.000 21,3%	7.390 78,7%	7.390 100%	0 0%
Duisburg	[103] » 1990	Innenstadt zw. Hbf und Innenhafen 1,54 km ²	14; 30; -	4.900 33,1%	9.900 66,9%	5.200 53%	4.700 47%	80% [124]	20% [124]
Duisburg	[124] 1997				7.963	2.518 31,6%	5.445 68,4%	4.345 79,8%	1.100 20,2%
Düren	[35] 2000	Innenstadt 0,3 km ²	4; 5; -	150 7,3%	1.895 92,7%	596 31,5%	1.299 68,5%	564 43,4%	735 56,6%
Düsseldorf	[103] » 1990	Bahnhof bis Rhein (GVP – Bereich) 3,0 km ²	25; 84 [E]; 80 [E]	9.000 30,6%	20.400 69,4%	14.000 69%	6.400 31%	100% [124]	0% [124]
Düsseldorf	[124] 1997				29.310	19.000 64,8%	10.310 35,2%	10.310 100%	0 0%
Erfurt	[124] 1997				5.420	640 11,8%	4.780 88,2%	3.570 74,7%	1.210 25,3%
Erlangen	[103] » 1990	Erweiterte Innenstadt 1,5 km ²		4.500 42,9%	6.000 57,1%	2.500 41,7%	3.500 58,3%	85% [124]	15% [124]

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Erlangen	[124] 1997				11.013	4.413 40,1%	6.600 59,9%	5.600 84,8%	1.000 15,2%
Essen	[103] » 1990	City 1,0 km ²	5; 26 [F]; 26 [F]	3.000 18,75%	13.000 81,25%	9.500 73%	3.500 27%		
Frankfurt	[103] » 1990	Innerhalb Wallring und Bahnhofsviertel 2,55 km ²	14; 100; -	8.000 36,4%	13.900 63,6%	10.000 72%	3.900 28%		
Frankfurt	[35] 2000	Bahnhofsviertel 2,55 km ²	15,3; 101,94; -	12.865 46,5%	14.805 53,5%	12.166 82,2%	2.639 17,8%	1.434 54,3%	1.205 45,7%
Frankfurt	[124] 1997				15.130	7.200 47,6%	7.930 52,4%	7.930 100%	0 0%
Freiburg	[103] » 1990	Zwischen Bahnhof und Schlossbergring 1,1 km ²	9; 24 [G]; 23 [G]	6.000 58,2%	4.300 41,8%	2.700 62,8%	1.600 37,2%	72% [124]	28% [124]
Freiburg	[124] 1997				13.400	4.400 32,8%	9.000 67,2%	6.500 72,2%	2.500 27,8%
Friedrichs- hafen	[119] 1990	Werastr., Margaretenstr., Löwenthalerstr. Hafengebiet 1,4 km ²			4.307	1.240 28,8%	3.067 71,2%	1.217 39,7%	2.850 60,3%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Fürth	[124] 1997				3.603	1.503 41,7%	2.100 58,3%	1.102 52,5%	998 47,5%
Gelsen- kirchen	[124] 1997				9.460	2.935 31,0%	6.525 69,0%	6.305 96,6%	220 3,4%
Gießen	[119] 1990	Innenstadtring 1,0 km ²			2.825	1.925 68,1%	900 31,9%	900 100%	0 0%
Göttingen	[103] » 1990	Altstadt innerhalb Wallring 1,0 km ²	10; 13; -	3.800 63,3%	2.200 36,7%	1.200 54,5%	1.000 45,5%	100% [124]	0% [124]
Göttingen	[124] 1997				5.220	1.000 19,2%	4.220 80,8%	4.220 100%	0 0%
Greifswald	[35] 2000	Innenstadt 0,85 km ²	4,2; 13; -	610 21,1%	2.283 78,9%	1.003 43,9%	1.280 56,1%	980 76,6%	300 23,4%
Hagen	[103] » 1990	Innenstadt 1,2 km ²	11; 24; -	4.200 42,4%	5.700 57,6%	3.000 52,6%	2.700 47,4%	63% [124]	37% [124]
Hagen	[124] 1997				4.735	2.640 55,8%	2.095 44,2%	1.320 63,0%	775 37,0%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	Anzahl Stellplätze und Anteile					
				nicht- öffentl.	öffentl.	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt sch.	unbe wirtsch
Hagen	[35] 2000	Innenstadt 1,28 km ²	11,3; 16,6; -	200 2,8%	6.958 97,2%	3.040 43,7%	3.918 56,3%	1.052 26,9%	2.866 73,1%
Hamburg	[103] » 1990	innerhalb Wallring 2,5 km ²	14; 146 [C]; 139 [C]	13.400 47,2%	15.000 52,8%	11.000 73,3%	4.000 26,7%	54,9% [124]	45,1% [124]
Hamburg	[35] 2000	Mönckebergstr. 0,65 km ²	0,8; 46,1; -	1.868 26,7%	5.133 73,3%	3.731 72,7%	1.402 27,3%	1.257 89,7%	145 10,3%
Hamburg	[124] 1997				15.400	9.300 60,4%	6.100 39,6%	5.100 83,6%	1.000 16,4%
Hamm	[103] » 1990	Innenstadt 1,3 km ²	5,3; 12,5; -	3.500 43,75%	4.500 56,25%	3.000 66,7%	1.500 33,3%	100% [124]	0% [124]
Hamm	[124] 1997				4.320	2.800 64,8%	1.520 35,2%	1.520 100%	0 0%
Hannover	[103] » 1990	Stadtbezirk Mitte (Innenstadtring) 2,0 km ²	10; 70 [H]; 68 [H]	7.000 36,8%	12.000 63,2%	8.000 67%	4.000 33%		
Heidelberg	[124] 1997				11.966	5.823 48,7%	6.143 51,3%	4.522 73,6%	1.621 26,4%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Heilbronn	[119] 1990	Götzenturmstr., Mannheimerstr. 1,0 km ²				2.300			
Heilbronn	[124] 1997				2.560	2.560 100%	0 0%	0	0
Helbra	[35] 2000	0,27 km ²	1,4; -; -	543 40,0%	813 60,0%	0 0%	813 100%	0 0%	813 100%
Herne	[124] 1997				3.310	1.210 36,6%	2.100 63,4%	2.100 100%	0 0%
Ingolstadt	[124] 1997				4.100	2.600 63,4%	1.500 36,6%	1.500 100%	0 0%
Kaisers- lautern	[124] 1997				4.580	1.800 39,3%	2.780 60,7%	2.780 100%	0 0%
Karlsruhe	[124] 1997				9.020	6.000 66,5%	3.020 33,5%	2.570 85,1%	450 14,9%
Kassel	[103] » 1990	Innenstadt und Randbereich 2,5 km ²	8,1; 40; -	6.000 43,8%	7.650 56,2%	950 12,4%	6.700 87,6%	100% [124]	0% [124]

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Kassel	[124] 1997				3.770	2.620 69,5%	1.150 30,5%	1.150 100%	0 0%
Kiel	[103] » 1990	Innenstadt 1,88 km ²	12; 32; -	6.000 38,0%	9.800 62,0%	4.800 49%	5.000 51%	76% [124]	24% [124]
Kiel	[124] 1997				9.800	5.700 58,2%	4.100 41,8%	3.100 75,6%	1.000 24,4%
Koblenz	[124] 1997				10.300	3.500 34,0%	6.800 66,0%	6.800 100%	0 0%
Köln	[103] » 1990	Innenstadt zwischen Rhein und Ringstr. 4,0km ²	47; 170; -	13.000 44,8%	16.000 55,2%	9.000 56%	7.000 44%	99% [124]	1% [124]
Köln	[124] 1997				35.500	14.000 39,4%	21.500 60,6%	21.300 99,1%	200 0,9%
Krefeld	[103] » 1990	Innenstadt 2,5 km ²	37; 24; -	5.900 32,1%	12.500 67,9%	6.400 51,2%	6.100 48,8%	100% [124]	0% [124]
Krefeld	[124] 1997				4.946	3.024 61,1%	1.922 38,9%	1.922 100%	0 0%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffentl.	öffentl.	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt sch.	unbe wirtsch
Leipzig	[35] 2000	Innenstadt 0,7 km ²	2,8; 20; -	500 11%	4.030 89%	2.750 68,2%	1.280 31,8%	930 72,7%	350 27,3%
Leverkuse	[124] 1997				7.292	2.860 39,2%	4.432 60,8%	2.590 58,4%	1.842 41,6%
Lübeck	[103] » 1990	Altstadt und Wallhalbinsel 1,6 km ²		3.100 33,2%	6.250 66,8%	4.750 76%	1.500 24%	100% [124]	0% [124]
Lübeck	[124] 1997				3.770	1.160 30,8%	2.610 69,2%	2.610 100%	0 0%
Magdeburg	[124] 1997				7.455	1.500 20,1%	5.955 79,9%	1.950 32,8%	4.000 67,2%
Mainz	[103] » 1990	Zwischen Bahnhof und Rhein 1,0 km ²		2.000 16,7%	9.950 83,3%	6.000 60,3%	3.950 39,7%		
Mainz	[119] 1990	Kaiserstr. bis Winterhafen 1,8 km ²			10.760	6.500 60,4%	4.260 39,6%	2.227 52,3%	2.033 47,7%
Mainz	[124] 1997				9.700				

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Mannheim	[103] » 1990	Innerhalb des Ringes 1,54 km ²	24; 40; -	8.700 43,9%	11.100 56,1%	5.500 49,5%	5.600 50,5%	86% [124]	14% [124]
Mannheim	[124] 1997				16.000	9.000 56,3%	7.000 43,8%	6.000 85,7%	1.000 14,3%
Marbach am Neckar	[35] 2000	0,2 km ²	1,4; -; -	730 44,4%	914 55,6%	0 0%	914 100%	0 0%	914 100%
Mecken- heim	[35] 2000	0,14 km ²	0,9; -; -	430 35,5%	780 64,5%	0 0%	780 100%	0 0%	780 100%
Moers	[124] 1997				6.300	300 4,8%	6.000 95,2%	2.100 35,0%	3.900 65,0%
Mönchen- gladbach	[124] 1997				7.078	4.900 69,2%	2.178 30,8%	2.178 100%	0 0%
Mülheim / Ruhr	[103] » 1990	„Innenstadtkern“ 0,8 km ²	-; 12; -	1.300 25,5%	3.840 74,5%	1.500 39,1%	2.340 60,9%	93% [124]	7% [124]
Mülheim / Ruhr	[124] 1997				2.496	2.000 80,1%	496 19,9%	460 92,7%	36 7,3%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
München	[103] » 1990	Altstadt und Bahn- hofs- viertel 2,0 km ²	15; 120; -	7.000 35,9%	12.500 64,1%	8.500 68%	4.000 32%	86% [124]	14% [124]
München	[124] 1997				13.000	8.100 62,3%	4.900 37,7%	4.200 85,7%	700 14,3%
Münster	[103] » 1990	Altstadt im Wall und Bahnhofs- viertel 1,6 km ²	12; 40; -	6.000 49,2%	6.220 50,8%	4.320 69,5%	1.900 30,5%	84,5% [124]	15,5% [124]
Münster	[124] 1997				7.120	4.350 61,1%	2.770 38,9%	2.340 84,5%	430 15,5%
Neuss	[119] 1990	Zw. Hafen, Nordkanal und Gielenstr.			8.869	1.682 19%	7.187 81%	852 11,9%	6.335 88,1%
Nürnberg	[103] » 1990	Bez. 01 und 06, Altstadt innerhalb Mauer 1,59 km ²	15; 34 [I]; 30 [I]	5.000 39,4%	7.700 60,6%	5.000 65%	2.700 35%	69% [124]	31% [124]
Nürnberg	[35] 2000	Südliche Altstadt 0,85 km ²	4,8; 23; -	2.434 32,5%	5.060 67,5%	3.465 68,5%	1.595 31,5%	968 60,7%	627 39,3%
Nürnberg	[124] 1997				7.530	3.700 49,1%	3.830 50,9%	2.640 68,9%	1.190 31,1%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Oberhausen	[124] 1997				4.920	1.640 33,3%	3.280 66,7%	3.280 100%	0 0%
Offenbach	[124] 1997				4.859	2.221 45,7%	2.638 54,3%	2.498 94,7%	140 5,3%
Offenburg	[35] 2000	Innenstadt 0,38 km ²	1,7; 4; -	1.040 34,9%	1.938 65,1%	993 51,2%	945 48,8%	945 100%	0 0%
Oldenburg	[103] » 1990	„Erweiterte Innenstadt“ 1,6 km ²		4.560 38,7%	7.290 61,3%	4.840 66,4%	2.450 33,6%		
Osnabrück	[103] » 1990	Innenstadt innerhalb Ring 1,63 km ²	12; 26; -	3.200 32,0%	6.830 68,0%	4.430 64,9%	2.400 35,1%	100% [124]	0% [124]
Osnabrück	[124] 1997				4.260	2.806 65,8%	1.460 34,2%	1.460 100%	0 0%
Paderborn	[124] 1997				4.721	2.520 53,4%	2.201 46,6%	2.102 95,5%	99 4,5%
Passau	[119] 1990	Halbinsel bis Schanzlbr. und Universität 1,5 km ²			3.260	2.600 79,8%	660 20,2%	330 50%	330 50%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Pforzheim	[124] 1997				10.640	4.240 39,8%	6.400 60,2%	5.050 78,9%	1.350 21,1%
Potsdam	[124] 1997						5.300	3.225 60,8%	2.075 39,2%
Reckling- hausen	[124] 1997				5.830	1.570 26,9%	4.260 73,1%	4.230 99,3%	30 0,7%
Regens- burg	[103] » 1990	Innenstadt zw. Donau und Bahnhof 1,78 km ²	16,4; 20,4; -	7.320 54,9%	5.970 45,1%	1.800 30,2%	4.170 69,8%	80% [124]	20% [124]
Regens- burg	[124] 1997				5.001	1.509 30,2%	3.492 69,8%	2.792 80,0%	700 20,0%
Rem- scheid	[35] 2000	Innenstadt 1,9 km ²	16,8; 8,8; -	3.072 33,2%	6.192 66,8%	2.486 40,1%	3.706 59,9%	327 8,8%	3.379 91,2%
Saar- brücken	[103] » 1990	Satzungsgebiet Innenstadt 2,5 km ²	17,3; 44,6; -	11.500 51,6%	10.800 48,4%	5.300 49,1%	5.500 50,9%		
Salzgitter	[124] 1997				2.979	619 20,8%	2.360 79,2%	2.360 100%	0 0%

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Schwerin	[124] 1997				5.600	700 12,5%	4.900 87,5%	2.555 52,1%	2.345 47,9%
Seeheim- Jugenheim	[35] 2000	0,32 km ²	1,2; -; -	593 52,7%	533 47,3%	0 0%	533 100%	0 0%	533 100%
Solingen	[124] 1997				3.088	1.100 35,6%	1.988 64,4%	1.988 100%	0 0%
Stuttgart	[103] » 1990	Stuttgart – Mitte und Randzonen 3,8 km ²	40; 140; -	20.000 53,3%	17500 46,7	11.000 63%	6.500 37%	94% [124]	6% [124]
Stuttgart	[124] 1997				18.440	11.400 61,8%	7.040 38,2%	6.640 94,3%	400 5,7%
Trier	[119] 1990	Ehemalige Wallanlage 1,5 km ²			7.300	2.300 31,5%	5.000 68,5%	1.700 34%	3.300 66%
Troisdorf	[M] 2000	Innenstadt 0,77km ²	3,6 ; 8,9 ; 8,6	39,4%	60,6%	41,1%	58,9%		
Ulm	[124] 1997				5.040	3.600 71,4%	1.440 28,6%	1.350 93,8%	90 6,3%
Neu-Ulm	[A] 2000	0,68 km ²	3,9; -; -	39,4%	60,6%	73,6%	26,4%		

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent- lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt- sch.	unbe- wirtsch
Wiesbaden	[103] » 1990	Innenstadt einschließlich Randzone 2,70 km ²	40; 25 [K]; 25 [K]	13.000 43,2%	17.100 56,8%	4.100 24%	13.000 76%	27% [124]	73% [124]
Wiesbaden	[124] 1997				14.660	4.800 32,7%	9.860 67,3%	2.660 27,0%	7.200 73,0%
Witten	[124] 1997				5.200	1.600 30,8%	3.600 69,2%	800 22,2%	2.800 77,8%
Wuppertal	[124] 1997				7.146	5.076 71,0%	2.070 29,0%	2.070 100%	0 0%
Würzburg	[124] 1997				5.950	2.500 42,0%	3.450 58,0%	3.350 97,1%	100 2,9%
Zwickau	[124] 1997						1.700	1.700	0

Stadt	Quelle mit Jahr	Innenstadt		Anzahl Stellplätze und Anteile					
		Gebietsabgrenzung	Bewohner; Beschäftigte; Besch. III in 1000	nicht- öffent.	öffent lich	öffentlich		Straßenrand	
						Park bauten	Straßen rand	bewirt sch.	unbe wirtsch
<p>Besch. III: Beschäftigte im tertiären Sektor</p> <p><i>kursive</i> Werte sind keine stadtspezifischen sondern stadttypspezifische Werte</p> <p>alle Werte ohne Quellenangaben sind der Quelle in der Spalte „Quelle mit Jahr“ entnommen</p> <p>¹⁾ Die Gebietsabgrenzung wurde von den befragten Städten definiert [124], ist jedoch nicht in der Veröffentlichung [124] enthalten.</p>									

Daten zum Parkraumangebot in Stadtrandgebieten enthält [35].

Quellenangaben

- [A] Amt für Statistik 19.02.2001, Hr. Lidl, Tel: 0731-7050-325
- [B] Auskunft der Stadtverwaltung Aachen; Frau Ulbert und Herr Jägel (Tel. 0241-432-6811 bzw. 7670 für 1987
- [C] Anfrage beim Statistisches Landesamt Hamburg, Infocenter; Daten aus Arbeitsstättenzählung von 1987
- [D] Anfrage bei der Stadt Bremen, Herr Lange (office@statistikland.bremen.de) für 1991

- [E] Anfrage bei der Stadt Düsseldorf; Herr Demny (Tel. 0211-899-4628) für 1987
- [F] Anfrage bei der Stadt Essen, Herr Jonait (Tel. 0201-2069-610) für 1987
- [G] Anfrage bei der Stadt Freiburg, Herr Hufbauer (Fax 0761-2014797) für 1987
- [H] Anfrage bei der Stadt Hannover, Herr Müller (Fax 0511-16845129) für 1987
- [I] Anfrage bei der Stadt Nürnberg, Herr Schimer, (Fax 0911-231-2844) für 1987
- [K] Büro für Stadt- und Verkehrsplanung, Herr Hebel (Fax 0241-755020) für 1993
- [L] Anfrage bei der Stadt Bonn, Herr Schmitz (Tel. 0228-77-4276) für 1999
- [M] Anfrage bei der Stadt Troisdorf, Frau Hoffmann (Tel. 02241-900-623) für 2000
- [N] Anfrage bei der Stadt Dortmund, Herr Gabriel (Tel. 0231-50-24768) für 1987 bzw. 1998

Anlage 2: Pkw-Fahrten an Werktagen in die Innenstadt

Stadt	Fläche Innenstadt	Pkw-Fahrten	
		Berufs- und Geschäftsverkehr	Einkaufs- und Besucherverkehr
Dortmund	1,7 km ²	16.000	34.000
Duisburg	1,7 km ²	12.000	26.000
Düsseldorf	2,67 km ²	28.000	45.000
Freiburg	1,1 km ²	11.000	18.000
Göttingen	1,0 km ²	7.000	13.000
Hamburg	3 km ²	40.000	50.000
Hannover	2,0 km ²	21.000	27.000
Kassel	1,8 km ²	15.000	20.000
Kiel	1,88 km ²	15.000	25.000
München	2 km ²	22.000	30.000
Münster	1,6 km ²	14.000	25.000
Nürnberg	2,0 km ²	15.000	30.000
Stuttgart	2,54 km ²	33.000	35.000

Quelle: [103, Anhang, Tabelle 5]

Anlage 3: Parkgebühren in Parkbauten

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Aachen		4,66	5,53	140,17	183,375
Aalen		3,50	3,50	97,75	110,20
Altenburg			3,583		85,25
Altenkirchen			2,50		70,00
Andernach		2,25	2,50	80,00	85,00
Arnsberg		2,50	2,50	69,00	81,20
Aschaffenburg		2,565	3,50	101,58	127,60
Attendorn			2,50		38,33
Augsburg		6,50	8,50	271,83	274,20
Backnang			4,375		127,60
Bad Hersfeld		2,50		69,00	
Bad Homburg		3,25	5,00	90,00	150,00
Bad Kissingen			1,50		90,00
Bad Kreuznach		5,835		90,00	
Bad Oeynhausen		2,255	2,25	55,00	76,00
Bad Säckingen		1,25		66,13	
Bad Urach		2,50	2,50	75,00	75,65
Baden-Baden		3,125	4,00	200,48	110,99
Bamberg		1,25	2,50	105,44	62,50
Bayreuth		4,335	4,071	92,00	85,00
Bensheim		2,40		77,00	

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Bergisch Gladbach		3,50		74,75	
Berlin		4,905	6,75	147,28	164,48
Bielefeld		3,97	5,00	122,67	85,00
Böblingen		3,50	2,667	70,25	83,13
Bocholt		3,75	3,75	80,50	92,80
Bonn	3,75	4,71	5,125	166,50	172,504
Bottrop		4,13	3,00	80,88	80,00
Braunschweig		2,60	5,00	103,38	128,00
Bremen	2,5	3,415	3,186	166,23	143,488
Bremerhaven		1,75	3,50	60,00	81,00
Brühl		2,50			
Calw		2,25	3,00	75,00	85,00
Celle		5,00	5,00	130,00	120,00
Chemnitz			3,625		133,00
Darmstadt		4,005	5,55	130,71	156,833
Deggendorf		2,69	3,20	75,00	80,00
Delmenhorst		3,00	3,00	60,25	80,50
Diez		2,50	2,50	52,63	60,00
Dillenburg			3,75		80,00
Dortmund		3,145	3,50	135,00	126,667
Dresden			1,167		85,067
Duisburg		2,785	4,667	100,50	177,775
Düren		5,25	3,75	97,75	81,20

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Düsseldorf	3,375	5,27	5,272	166,05	172,98
Eichstätt		3,50	3,50	80,00	80,00
Elmshorn		3,50			
Erfurt			4,167		135,333
Eschweiler			6,50		69,90
Essen		5,165	4,05	83,50	119,60
Esslingen		3,75	4,875	103,50	127,60
Flensburg		4,27	5,00	140,00	180,00
Frankfurt		5,365	6,696	227,77	252,23
Freiburg i. Br.			5,00	268,33	238,95
Freudenstadt		2,50	3,75	86,25	100,00
Friedberg		1,20		60,00	
Fulda		3,425	4,792	91,98	83,00
Fürth		3,50	5,00	165,00	160,00
Geislingen		2,00		50,00	
Geldern		1,50	1,80	80,50	92,80
Gelsenkirchen		4,755	4,167	93,51	84,216
Gießen		3,75	4,50	115,00	116,00
Gifhorn			2,50		80,00
Göppingen		3,00	3,25	164,90	104,40
Goslar		4,75		97,75	
Göttingen			4,75		135,00
Grevenbroich		3,00	2,50		100,00

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Gummersbach		3,85		74,40	
Gütersloh		3,50		80,00	
Haan			2,75		65,00
Hagen		4,10		72,03	
Halle			3,563		230,00
Hamburg		5,15	5,75	188,57	157,619
Hameln		4,00	5,00	70,61	80,00
Hamm		4,915	3,75	85,00	110,95
Hanau		5,88	5,833	97,75	123,733
Hannover	3,125	4,125	4,75	154,91	168,993
Heidelberg		5,50	4,75		117,50
Heilbronn		3,75	5,00	150,00	127,60
Herbrechting.		1,50	2,00	300,00	39,00
Herford		3,75	3,75	80,50	104,40
Herne		2,50	3,438	69,00	78,30
Hilden		3,125		84,72	
Hildesheim		3,75	5,00	103,50	162,40
Hof		7,50			
Ibbenbüren		2,50	2,50	50,00	50,00
Idar-Oberstein		3,00	3,50	75,65	76,32
Idstein		1,875	2,50	70,18	80,00
Ingolstadt		4,815	3,888	87,50	97,50
Iserlohn		3,75	5,00	87,50	91,06

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Kaiserslautern		6,25			
Karlsruhe		6,25	4,958	140,00	89,733
Kassel		5,625	5,50	109,00	185,867
Kempten		3,75	3,75	80,00	92,80
Kiel		4,70	3,50	139,75	105,00
Koblenz		2,50	4,125	92,00	148,48
Köln	3,125	4,635	4,673	172,97	184,45
Konstanz			5,00		139,20
Krefeld		7,50	4,00		150,80
Kronberg		2,50	3,75	87,72	125,00
Lahr		3,75	3,25	80,50	81,20
Landau		2,50	3,00	80,50	110,20
Landshut		3,50	4,00	100,00	100,00
Leonberg		2,50	4,25	100,88	110,95
Leipzig			5,00		232,00
Leverkusen		3,55	5,00	66,25	
Limburg		5,00	3,667	48,25	87,00
Lingen		2,25	2,50	70,00	60,00
Linz / Rh.		1,50	2,75	60,52	75,40
Lippstadt		3,75	4,375	82,75	93,90
Lohne			2,50		
Lörrach		3,25	5,00	85,00	139,20
Lübeck		5,065	5,00	143,62	109,385

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Ludwigsburg		3,69	3,75	144,57	115,40
Ludwigshafen		2,50	2,917	92,00	62,88
Lünen			3,75		92,80
Mainz	3,375	4,455	4,50	151,98	153,70
Mannheim		5,58	5,50	125,45	144,167
Mayen		3,25	3,125	70,00	90,00
Menden		2,50	3,50	52,90	75,00
Minden			2,833		87,00
Mönchengladbach		4,29	5,333	114,11	130,60
Mörfelden-W.		0,00	2,50	80,00	81,20
Mülheim		7,50			
Mülheim / Ruhr		4,25	4,583	121,90	122,96
München	2,125	5,815	8,594	195,23	177,947
Münster		6,25	3,50	178,25	141,155
Neunkirchen		4,25			
Neuss		5,45	5,00	169,88	182,955
Neustadt		6,00	3,75		92,80
Neustadt am Rbge.		1,50	2,50	35,00	60,00
Neuwied			2,50		120,00
Northeim		3,15		80,50	
Nürnberg		5,69	6,306	183,32	240,714
Nürtingen		5,00	5,00	126,50	127,60
Oberhausen		3,75	3,75	92,00	92,80

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Oberursel		2,50	5,00	103,50	118,90
Offenbach		4,375	3,75	171,75	174,00
Oldenburg		3,00		149,50	
Osnabrück		3,935	3,50	98,00	110,00
Paderborn		3,75	2,75	100,00	80,00
Passau		3,75	5,00	108,25	117,50
Pforzheim		4,50	4,25	126,50	123,54
Pirmasens		4,00		130,00	
Pirna			3,75		69,60
Plauen			2,75		127,60
Ratingen		2,42		75,00	
Ravensburg		3,05	3,625	113,85	137,46
Recklinghausen		5,00	5,00	138,00	143,267
Regensburg		2,50	6,25	86,25	185,60
Remscheid		3,255	3,563	106,25	98,60
Reutlingen		3,835	5,00	95,00	150,80
Rheine		2,50	3,167	79,88	94,333
Rosenheim		3,75	4,833	140,00	138,667
Rüsselsheim		4,25	10,00	115,00	145,00
Saarbrücken	4,063	5,105	5,10	158,13	221,85
Salzgitter		2,375		45,00	
Schramberg		3,75	3,75	92,00	92,80
Schwabach			1,50		70,00

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Schwäbisch Gmünd		3,38	3,667	92,69	93,517
Schwäbisch Hall			2,567		83,914
Schweinfurt		5,00		130,00	
Siegburg		7,50			
Siegen		4,375	5,00	90,00	174,00
Sindelfingen			2,50		92,80
Singen			4,25		98,60
Solingen		4,00		80,50	
Stade		2,50		92,50	
Starnberg			5,00		131,12
Strausberg			1,25		85,00
Stuttgart	4,063	5,315	6,593	194,95	230,126
Suhl			4,625		116,00
Trier		6,50	5,50	190,00	190,00
Tübingen		6,84	3,917	103,50	104,40
Tuttlingen		2,50	5,00	63,25	63,80
Ulm		5,00	4,438	150,00	133,00
Unna		2,25		40,00	
Velbert		4,50	1,50	65,00	37,50
Völklingen		3,50			
Vs-Villingen		2,50	3,00	77,63	92,80
Waiblingen		2,50	1,50	80,50	54,133
Waldshut / Tiengen			3,75		131,13

Stadt	2,5 h Kurzparken			Monatsparkkarte	
	1989	1993	1998	1993	1998
Weimar			4,50		208,80
Weinheim		2,50	3,00	80,50	104,40
Wertheim		1,25		60,00	
Wesel		3,44	2,75	65,17	77,33
Wetzlar		3,75		75,25	
Wiesbaden	3,375	5,75	5,417	157,13	152,917
Wilhelmshaven		2,50	5,00	52,00	70,00
Witten		3,50			
Wolfsburg	1,25	2,19		74,00	
Worms			3,75		80,00
Wuppertal		5,165	5,00	107,33	110,00
Würzburg		5,215	4,833	196,63	212,667
Preisindex	100	150,28	158,75	100	105,98

Quellen: [101], [104], [107]

Bei den angegebenen Werten handelt es sich um das Mittel über alle Parkbauten je Stadt.

Anlage 4: Parkgebühren für Straßenrandparken

Großzentren							
Stadt	1995	1996	1998	Stadt	1995	1996	1998
Berlin	2	3	3,5	Köln	1,5	3	4
Frankfurt	4	6	3,5	München	5	5	4,25
Hamburg	4	3	3,5				
Oberzentren							
Stadt	1995	1996	1998	Stadt	1995	1996	1998
Aachen	2	2	3	Kiel	2	2	
Augsburg	3	3	3	Krefeld			1,5
Baden-Baden	2	3	1,75	Landshut			2
Bamberg			1,5	Ludwigshafen	2	2	
Bielefeld	2	2	2	Lübeck	4		1,5
Braunschweig			2,5	Mainz	2	2	1,4
Bonn	2,25	4	1,5	Mannheim	1,5	2	1,8
Bremen	2	3	2,5	Mönchengladbach	1	1	
Darmstadt	2	2	2,5	Münster	2	4	2
Dortmund	2,5	2,5	2	Nürnberg	5	5	2,1
Düsseldorf	4	2,5		Oberhausen	2	2	
Duisburg	1,5	2		Osnabrück	4	4	2,8
Essen	2	2	2	Passau			1,9
Freiburg	3			Regensburg			1,5
Hagen	2	2		Saarbrücken	2	2	1,5
Hannover	4	3		Stuttgart	2,5	3	3,5

<u>Oberzentren (Fortsetzung)</u>							
Stadt	1995	1996	1998	Stadt	1995	1996	1998
Heidelberg	2	2		Trier			1,5
Heilbronn	2	2		Ulm			1,7
Hof	1	1,2		Wuppertal	2	1,67	
Kassel	1	1,5	2	Würzburg	2	2	1,5
Karlsruhe	4	3	4				
<u>geringe Zentralität</u>							
Stadt	1995	1996	1998	Stadt	1995	1996	1998
Aalen			2	Leonberg			1
Altenburg			1,5	Lingen	1	1	1
Amberg	1	1		Lippstadt			1,5
Andernach	1	1		Lörrach	1,75	2	
Arnsberg	1	1	1	Lüdenscheid	2	2	
Attendorn			1	Ludwigsburg	2	2	1,5
Bad Homburg	2	1		Mayen	1	1	1
Bad Kissingen			1,5	Menden	1	1	1
Bad Kreuznach	2	2		Minden	1	1	1
Bad Oeynhausen	2	2	1,5	Mülheim	1,5	2	
Bad Säckingen	1	1		Neunkirchen	1	1	
Bad Urach			1	Neuss	2	2	
Biberach	1,5	1,5	1	Neustadt	1	1	1
Böblingen	1	1,5		Oberursel	1	1,5	2
Bottrop			1,5	Offenburg	2	2	
Brühl	2	2	1,5	Paderborn	2,5	2,5	1,5

geringe Zentralität							
Stadt	1995	1996	1998	Stadt	1995	1996	1998
Düren	2	2		Pforzheim			2,5
Eichstätt	2	2	1,2	Ravensburg	2	2	2
Eschweiler			2	Recklinghausen	2	2	
Esslingen	3	3		Regen	1	1	
Flensburg	2	2		Remscheid	2	2	2
Freudenstadt			2	Rheine	2	2	1
Fulda	2,5	3	1,75	Rosenheim	2	2	
Fürth			3	Schwabach			1
Gelsenkirchen	2	2	1,2	Schwäbisch Hall			1,7
Gifhorn	1	1	1	Schweinfurt	2	2	
Göppingen	1,5	1,75		Speyer	2	2	
Goslar	2	2		Starnberg			2
Göttingen	2	2,25	3	Tübingen	1,5	3	
Grevenbroich	1	1	1	Villingen	1,5	1,5	1,5
Haan			1,5	Völklingen	1	0,3	
Halle			2	Waiblingen	2	2	1,5
Hameln	1,5	2	1,5	Waldshut			1,75
Hamm			1	Wesel	1	1	
Hanau			3	Wilhelmshaven	2	2	1,7
Ibbebüren			1	Worms			1,5
Konstanz	2	2					

Quellen: [105], [106], [108]

Anlage 5: Verhältnis der Parkkosten je Parkstandstyp

	$\frac{\text{Gebühr Parkbauten für 2,5 h}}{\text{Gebühr Straßenrand für 1 h}}$		$\frac{\text{Preis Dauerparkkarte}}{\text{Gebühr Parkbauten für 2,5 h}}$	
	Mittelwert	Standardabw.	Mittelwert	Standardabw.
alle Städte	2,0	0,6	31,7	7,3
Großzentren	1,5	0,6	35,6	2,7
Oberzentren	2,1	0,6	32,3	8,7
kleine Städte	2,2	0,2	26,4	0,8

Anlage 6: Befragungsergebnisse zum Fahrradverkehr

I Antworten auf die Frage „Welches sind für Sie persönlich die wichtigsten Gründe, die für oder gegen die Nutzung des Fahrrades im Alltag sprechen?“

	Viel-Radler	Viel-Autofahrer	Alle
<u>pro Fahrrad</u>			
ist gesund / hält fit	66 %	79 %	70 %
ist umweltfreundlich	63 %	64 %	64 %
ist schnell im Nahverkehr	61 %	39 %	54 %
macht Spaß	42 %	56 %	47 %
ist kostengünstig	39 %	28 %	36 %
kein Parkplatzproblem	36 %	35 %	35 %
<u>contra Fahrrad</u>			
ist wetterabhängig	63 %	81 %	68 %
zu wenig Platz für Gepäck	45 %	52 %	46 %
Fahrtziele zu weit entfernt	29 %	47 %	33 %
ist gefährlich	31 %	30 %	31 %
Diebstahlgefahr zu groß	19 %	18 %	19 %
ist anstrengend / unbequem	7 %	10 %	9 %
9630 Antworter, davon 6003 „Viel-Radler“ (radeln fast täglich) Mehrfachnennungen möglich			

Quelle: [82, Seite 91]

II Bewertung des „Gesamteindrucks von der Radfahrfreundlichkeit des Wohnortes“

Stadt	Radnote	Stadt	Radnote	Stadt	Radnote
Aachen	3,5	Göttingen	3,0	Mannheim	3,1
Augsburg	4,0	Hagen	4,1	Mönchengladb.	3,7
Berlin	3,5	Halle	4,2	Mülheim/Ruhr	3,9
Bielefeld	3,4	Hamburg	3,6	München	2,9
Bochum	4,0	Hannover	3,0	Münster	1,6
Bonn	2,7	Heidelberg	2,8	Nürnberg	3,3
Braunschweig	3,3	Itzehoe	3,2	Oldenburg	2,2
Bremen	2,7	Jena	3,8	Osnabrück	3,1
Chemnitz	4,2	Kaiserslautern	4,2	Potsdam	3,8
Cottbus	3,5	Karlsruhe	2,7	Regensburg	3,3
Darmstadt	3,6	Kassel	3,4	Rostock	3,5
Dessau	2,4	Kiel	3,5	Saarbrücken	4,2
Dortmund	3,9	Köln	3,6	Siegen	4,4
Dresden	3,6	Krefeld	3,0	Stuttgart	4,1
Duisburg	3,6	Leipzig	3,4	Trier	4,1
Erfurt	3,7	Leverkusen	2,9	Tübingen	3,0
Erlangen	1,9	Lübeck	3,6	Weimar	3,9
Essen	3,8	Ludwigshafen	2,9	Wiesbaden	4,0
Frankfurt	3,5	Magdeburg	3,7	Wuppertal	4,1
Freiburg	2,6	Mainz	3,0	Würzburg	3,4

Quelle: [82, Seite 95]

Anlage 7: Zusammenstellung der entfernungs- unabhängigen Angebotsmerkmale

Stadt	Ein- heit	Aachen	Bo- chum	Bonn	Bonn	Bremen	
Untersuchungsjahr		1990	1990	1991	1999	1991	
Haushaltsnettoeinkommen Haushaltstyp 2	DM	4321,00	4321,00	4581,00	5618,00	4581,00	
Einkommensindex	%	99,5	95,5	117,0	123,3	104,3	
BAföG-Höchstsatz	DM	725	725	810	1030	810	
Anteil Studenten an der Bevölkerung	%	10,0	4,9	6,5	7,6	2,8	
Faktor Fußgänger- verkehr	alle Wege	0,88	1,03	0,98	1,37	1,49	
	Freizeitw.	0,63	0,74	0,48	1,02	1,06	
Faktor Fahrrad- verkehr	alle Wege	1,13	2,68	0,87	0,72	0,43	
	Freizeitw.	0,81	1,91	0,75	0,56	0,31	
ÖPNV-Verkehrsmittel		Bus	Bus	Bus	Bus	Bus	
Abgangszeit ÖPNV	min	2,6	2,8	1,6	1,6	2,0	
Anteil Umsteiger ÖPNV	%	9,2	19,8	33,9	36,0	22,3	
Komfortnote ÖPNV		3,0	3,0	2,7	2,7	2,7	
Besetzungs- grad MIV	alle Wege	Pers	1,26	1,25	1,25	1,24	1,25
	Freizeitw.	Pers	1,51	1,50	1,56	1,45	1,50
Benzinkosten MIV	DM	1,00	1,00	1,25	1,65	1,25	
Betriebskosten MIV	DM	0,164	0,164	0,174	0,188	0,174	
Komfortnote MIV		2,0	1,3	2,0	2,0	2,0	

Stadt	Einheit	Dortmund	Düsseldorf	Essen	Freiburg	Hamburg	
Untersuchungsjahr		1998	1990	1990	1989	1991	
Haushaltsnettoeinkommen Haushaltstyp 2	DM	5460,00	4321,00	4321,00	4014,00	4581,00	
Einkommensindex	%	98,53	136,3	108,0	102,6	110,0	
BAföG-Höchstsatz	DM	1005	725	725	725	810	
Anteil Studenten an der Bevölkerung	%	3,7	4,9	2,8	13,5	2,8	
Faktor Fußgänger- verkehr	alle Wege	1,25	0,86	0,93	1,35	1,20	
	Freizeitw.	0,90	0,46	0,66	0,96	1,06	
Faktor Fahrrad- verkehr	alle Wege	2,92	1,36	2,68	0,66	0,88	
	Freizeitw.	2,10	0,98	1,93	0,47	0,63	
ÖPNV-Verkehrsmittel		U-Bahn	U-Bahn	Bus	U-Bahn	U-Bahn	
Abgangszeit ÖPNV	min	2,5	2,2	in anl2	1,8	2,6	
Anteil Umsteiger ÖPNV	%	11,5	20,2	18,6	22,6	43,3	
Komfortnote ÖPNV		2,7	2,7	3,0	2,7	2,7	
Besetzungs- grad MIV	alle Wege	Pers	1,25	1,22	1,24	1,27	1,25
	Freizeitw.	Pers	1,46	1,53	1,49	1,52	1,45
Benzinkosten MIV	DM	1,50	1,00	1,00	1,06	1,25	
Betriebskosten MIV	DM	0,182	0,164	0,164	0,158	0,174	
Komfortnote MIV		1,3	2,0	1,7	2,0	2,0	

Stadt	Einheit	Hannover	Nürnberg	Recklinghsn.	Saarbrücken	Troisdorf	
Untersuchungsjahr		1990	1989	1990	1996	1988	
Haushaltsnettoeinkommen Haushaltstyp 2	DM	4321,00	4014,00	4321,00	5203,00	3906,00	
Einkommensindex	%	110,3	116,1	86,2	91,9	106,3	
BAföG-Höchstsatz	DM	725	725	725	995	721	
Anteil Studenten an der Bevölkerung	%	6,2	4,0	0,0	6,7	0,0	
Faktor Fußgänger- verkehr	alle Wege	1,36	0,99	1,25	1,76	1,58	
	Freizeitw.	1,04	0,86	0,89	1,27	1,13	
Faktor Fahrrad- verkehr	alle Wege	0,78	0,93	1,62	9,40	0,67	
	Freizeitw.	0,57	0,58	1,16	6,77	0,48	
ÖPNV-Verkehrsmittel		U-Bahn	U-Bahn	Bus	Bus	Bus	
Abgangszeit ÖPNV	min	2,2	2,5	2,3	1,8	2,4	
Anteil Umsteiger ÖPNV	%	25,0	29,9	16,0	4,8	26,5	
Komfortnote ÖPNV		2,7	2,7	3,0	3,0	3,3	
Besetzungs- grad MIV	alle Wege	Pers	1,24	1,24	1,27	1,24	1,24
	Freizeitw.	Pers	1,49	1,48	1,52	1,45	1,49
Benzinkosten MIV	DM	1,00	1,06	1,00	1,56	0,92	
Betriebskosten MIV	DM	0,164	0,158	0,164	0,166	0,155	
Komfortnote MIV		2,0	2,0	1,3	2,0	1,3	

Stadt	Einheit	Ulm	Neu-Ulm	Wiesbaden	Witten	Wuppertal	
Untersuchungsjahr		1992	1992	1990	1992	1990	
Haushaltsnettoeinkommen Haushaltstyp 2	DM	4769,00	4769,00	4321,00	4769,00	4321,00	
Einkommensindex	%	111,9	111,9	118,0	105,1	108,7	
BAföG-Höchstsatz	DM	860	860	725	860	725	
Anteil Studenten an der Bevölkerung	%	4,8	0,0	1,0	0,0	2,0	
Faktor Fußgänger- verkehr	alle Wege	1,24	1,57	0,94	0,85	0,93	
	Freizeitw.	0,89	1,12	0,67	0,61	0,84	
Faktor Fahrrad- verkehr	alle Wege	1,36	1,19	2,80	5,03	19,5	
	Freizeitw.	0,97	0,85	2,00	3,59	13,0	
ÖPNV-Verkehrsmittel		Bus	Bus	Bus	Bus	Bus	
Abgangszeit ÖPNV	min	1,6	2,0	1,9	1,6	2,2	
Anteil Umsteiger ÖPNV	%	18,0	62,1	20,8	18,3	21,5	
Komfortnote ÖPNV		3,0	3,3	3,0	3,3	2,7	
Besetzungs- grad MIV	alle Wege	Pers	1,23	1,22	1,22	1,23	1,25
	Freizeitw.	Pers	1,48	1,46	1,46	1,48	1,42
Benzinkosten MIV	DM	1,35	1,35	1,00	1,35	1,00	
Betriebskosten MIV	DM	0,171	0,171	0,164	0,171	0,164	
Komfortnote MIV		1,3	1,3	1,7	1,3	1,7	

Aachen, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,6	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,6	3,9	4,5
t_{Ff}	min	5,7	5,9	11,3	10,7	15,9	18,9	18,9	25,6	26,6
$t_{U,freiw.}$	min	2,8	2,8	2,9	2,9	3,7	4,8	5,4	5,3	5,3
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	11,8	14,9	14,2	15,8	18,1	18,9	20,1	21,8	21,5
$K_{ÖPNV}$	DM	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	51,75	61,40	62,05
$t_{F,an,MIV}$	min	1,8	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
t_{PS}	min	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$v_{B,MIV}$	km/h	7,2	10,6	15,5	19,8	22,9	25,1	26,8	28,3	29,7
K_P	DM	0,83	0,86	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96
WWHV	%	22,67	19,19	16,72	12,65	9,74	6,98	5,09	3,90	3,08

Bochum, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t _{F,an,ÖPNV}	min	2,8	2,6	2,3	2,0	1,9	2,0	2,0	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3
t _{Ff}	min	12,0	13,3	15,1	17,1	18,4	19,2	20,0	21,3	26,9	32,5	38,2	43,8
t _{U,freiw.}	min	5,3	5,5	5,6	5,9	6,1	6,4	6,6	6,8	7,1	7,3	7,5	7,7
t _{U,Zwang}	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	1,3	2,2	3,4	5,3	7,8	8,0
V _{B,ÖPNV}	km/h	17,7	22,4	24,9	26,1	28,4	31,0	33,1	33,4	25,2	21,1	18,7	17,1
K _{ÖPNV}	DM	55,00	55,00	55,00	55,00	63,70	73,50	73,50	73,50	73,90	76,87	79,83	82,80
t _{F,an,MIV}	min	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t _{F,ab,MIV}	min	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
t _{PS}	min	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
V _{B,MIV}	km/h	6,9	11,8	16,8	21,1	24,0	26,7	28,8	30,3	31,9	33,1	33,5	34,4
K _P	DM	0,67	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,79	0,80	0,81
WWHV	%	18,49	19,37	13,20	10,15	8,74	7,63	5,52	4,46	3,87	3,29	2,82	2,45

Bonn (1991), alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4
t_{Ff}	min	4,3	7,7	9,9	12,2	14,1	15,6	16,9	18,2	19,5	20,7
$t_{U,freiw.}$	min	2,1	2,1	2,1	3,2	4,1	4,6	5,0	5,4	5,8	6,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,3	1,7	2,5
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	17,5	20,1	21,3	21,8	23,2	25,6	27,6	29,1	30,4	31,5
$K_{ÖPNV}$	DM	55,00	55,00	55,00	66,40	74,00	74,00	76,74	80,55	84,36	88,17
$t_{F,an,MIV}$	min	1,6	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
t_{PS}	min	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$v_{B,MIV}$	km/h	6,6	11,1	16,5	21,0	24,4	26,9	28,8	30,4	31,9	33,4
K_P	DM	0,88	0,90	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,99	1,01	1,02
WWHV	%	21,48	20,08	16,16	12,06	8,55	6,26	5,09	4,04	3,40	2,87

Bonn (1999), alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1
t_{Ff}	min	3,9	6,9	7,9	9,0	11,2	14,7	15,7	16,6	17,4	18,1
$t_{U,frei w.}$	min	1,9	1,9	2,3	3,1	3,6	3,8	4,0	4,2	4,3	4,5
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	22,3	22,3	22,3	21,2	23,0	24,2	25,7	27,0	28,0	28,8
$K_{ÖPNV}$	DM	72,90	72,90	72,90	87,93	97,90	97,90	101,78	106,83	111,89	116,94
$t_{F,an,MIV}$	min	1,6	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
t_{PS}	min	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$v_{B,MIV}$	km/h	6,6	11,1	16,5	20,9	24,3	26,8	28,7	30,3	31,8	33,4
K_P	DM	1,74	1,80	1,84	1,87	1,88	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98
WWHV	%	23,51	18,99	15,00	11,43	9,17	7,08	5,12	3,87	3,21	2,62

Bremen, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,0	2,2	2,5	2,9	2,9	2,9	3,0	3,1	3,3	3,4	3,6
t_{FF}	min	5,5	6,5	8,0	9,5	10,2	10,8	11,6	12,8	14,0	15,2	16,4
$t_{U,freiw.}$	min	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,5	4,7	4,8
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2
$V_{B,ÖPNV}$	km/h	9,2	11,9	13,4	14,1	15,4	16,4	17,2	17,7	18,0	18,3	18,6
$K_{ÖPNV}$	DM	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
t_{PS}	min	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
$V_{B,MIV}$	km/h	7,0	10,6	15,2	19,1	23,0	26,1	28,5	30,2	31,5	32,7	33,8
K_P	DM	1,22	1,26	1,29	1,31	1,32	1,34	1,35	1,38	1,41	1,43	1,46
WWHV	%	21,96	17,51	14,54	10,39	8,13	6,41	5,64	4,69	4,27	3,50	2,97

Dortmund, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,5	2,6	2,7	2,9	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5
t_{Ff}	min	5,9	7,4	9,6	12,1	13,3	13,9	14,5	17,5	19,8	22,2
$t_{U,frei w.}$	min	2,5	2,9	3,2	3,6	4,0	4,4	4,9	5,3	5,6	5,9
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,4	0,8	1,3	2,0	2,7	3,2	3,6	3,9	4,2
$V_{B,ÖPNV}$	km/h	15,4	18,5	20,1	20,8	21,3	21,7	22,0	21,0	20,6	20,3
$K_{ÖPNV}$	DM	81,00	81,00	81,00	81,00	81,00	81,00	81,00	81,00	81,00	90,75
$t_{F,an,MIV}$	min	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
t_{ps}	min	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
$V_{B,MIV}$	km/h	9,0	11,8	17,9	22,4	25,4	27,3	28,8	30,3	31,6	32,8
K_P	DM	1,06	1,09	1,12	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24
WWHV	%	15,53	15,53	13,66	9,69	7,71	6,01	5,31	5,08	4,85	4,50

Düsseldorf, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_{F,an,ÖPNV}	min	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9
t_{Ff}	min	7,6	7,6	8,1	8,7	9,5	10,4	11,2	12,0	12,7	13,4
t_{U,freiw.}	min	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4
t_{U,Zwang}	min	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,6	2,7	3,8
v_{B,ÖPNV}	km/h	19,6	20,8	21,3	21,5	21,6	21,6	21,7	22,8	25,0	27,1
K_{ÖPNV}	DM	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,96	58,99	62,01
t_{F,an,MIV}	min	2,0	2,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t_{F,ab,MIV}	min	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
t_{PS}	min	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
v_{B,MIV}	km/h	5,6	9,4	14,4	17,2	20,4	23,8	26,6	28,1	29,6	30,9
K_P	DM	1,27	1,31	1,35	1,37	1,38	1,40	1,42	1,44	1,46	1,49
WWHV	%	21,24	18,58	16,11	13,33	8,38	6,67	5,01	4,13	3,42	3,13

Essen, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,3	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
t_{FF}	min	7,3	7,3	8,7	10,2	11,7	13,2	14,8	16,2	17,6	19,0	20,4
$t_{U,freiw.}$	min	3,7	3,7	3,7	3,7	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9	5,2	5,4
$t_{U,zwang}$	min	0,0	0,0	0,5	1,3	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	13,9	13,9	18,2	20,9	22,5	23,6	25,0	26,2	27,1	27,9	28,6
$t_{F,ab,ÖPNV}$	min	2,5	2,5	3,0	3,6	4,2	4,5	4,7	5,0	5,2	5,5	5,7
$K_{ÖPNV}$	DM	55,00	55,00	55,00	56,26	61,91	73,50	73,50	73,50	73,50	73,50	73,50
$t_{F,an,MIV}$	min	1,8	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
t_{ps}	min	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
$v_{B,MIV}$	km/h	7,0	11,5	16,1	20,9	24,8	28,2	31,2	33,8	36,0	38,1	37,8
K_P	DM	1,02	1,05	1,07	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17
WWHV	%	18,17	18,46	14,66	11,43	8,50	6,74	5,63	4,92	4,40	3,81	3,28

Freiburg, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,8	2,1	2,5	2,9	3,1	3,1	3,0	2,7	2,3
t_{FF}	min	6,3	7,5	9,2	11,0	13,5	16,5	19,6	22,6	25,5
$t_{U,freiw.}$	min	2,8	3,4	3,3	3,6	4,0	4,3	4,6	4,8	5,1
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,3	2,0	2,4	2,7
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	8,9	13,6	17,0	18,8	20,3	21,7	22,8	23,2	23,5
$K_{ÖPNV}$	DM	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
t_{PS}	min	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
$v_{B,MIV}$	km/h	5,2	8,7	13,3	16,7	19,3	21,6	23,9	25,8	27,5
K_P	DM	0,63	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,72	0,73
WWHV	%	19,57	18,40	18,26	15,92	9,64	6,43	4,82	3,89	3,07

Hamburg, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5
t_{Ff}	min	4,7	5,1	5,5	6,0	6,4	7,7	9,0	10,3	11,5	12,7	13,0	13,4	13,7	14,0
$t_{U,freiw.}$	min	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,4
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,2	0,7	1,2	1,7	2,0	2,4	2,7	3,1	3,4	3,8	3,9	4,0	4,1
$V_{B,ÖPNV}$	km/h	26,6	26,6	25,2	24,6	24,4	25,3	25,9	26,4	26,8	27,1	27,8	28,4	28,9	29,3
$K_{ÖPNV}$	DM	63,70	63,70	63,70	63,70	63,70	63,70	63,70	63,70	79,40	79,40	79,40	79,40	79,40	87,50
$t_{F,an,MIV}$	min	2,0	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
t_{ps}	min	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$V_{B,MIV}$	km/h	8,8	13,3	18,4	23,1	25,7	27,5	29,2	31,0	32,8	34,6	36,1	37,4	38,5	39,6
K_P	DM	0,75	0,78	0,79	0,81	0,81	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,93	0,93
WWHV	%	18,38	15,29	12,86	10,37	8,30	6,70	5,63	4,84	3,91	3,50	2,96	2,67	2,37	2,19

Hannover, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,4	2,4	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2
t_{FF}	min	4,0	5,2	6,9	8,7	9,2	9,7	10,2	13,2	16,0	18,7	21,4
$t_{U,freiw.}$	min	1,7	2,0	2,2	2,6	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,4	4,5
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,2	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$V_{B,ÖPNV}$	km/h	23,4	22,8	22,6	22,5	22,5	25,7	26,6	27,1	27,5	27,8	28,0
$K_{ÖPNV}$	DM	55,00	55,00	55,00	55,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00	62,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,8	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
t_{PS}	min	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$V_{B,MIV}$	km/h	6,1	9,8	13,7	18,1	21,5	24,3	26,5	28,1	29,5	30,8	31,7
K_P	DM	1,16	1,20	1,23	1,25	1,26	1,28	1,29	1,32	1,34	1,36	1,39
WWHV	%	19,68	16,49	13,83	10,30	7,99	6,83	6,31	5,73	5,03	4,22	3,59

Neu-Ulm, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,9	2,2	2,7	3,2	3,2	3,3	3,3	3,7	4,0
t_{FF}	min	9,2	10,5	12,2	14,1	19,3	24,6	26,8	27,7	28,5
$t_{U,freiw.}$	min	4,4	4,7	4,9	5,2	5,4	5,7	5,9	6,2	6,4
$t_{U,Zwang}$	min	1,3	1,7	2,4	3,1	4,2	5,3	5,6	5,5	5,4
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	13,0	16,3	18,1	18,9	24,0	30,3	31,5	30,8	30,3
$K_{ÖPNV}$	DM	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,6	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
t_{PS}	min	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
$v_{B,MIV}$	km/h	6,1	11,0	16,0	20,6	24,9	28,9	30,9	32,4	32,6
K_P	DM	0,72	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82
WWHV	%	21,46	23,87	14,56	10,50	9,07	7,04	5,25	4,65	3,58

Nürnberg, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2
t_{FF}	min	4,4	5,6	7,3	9,1	10,2	11,7	13,5	15,9	18,9	22,5	26,7
$t_{U,freiw.}$	min	1,9	2,2	2,3	2,7	3,0	3,3	3,6	4,0	4,3	4,6	4,8
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,1	0,4	0,7	1,2	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	14,6	18,1	19,8	20,7	22,9	24,5	24,9	25,3	25,5	25,7	25,8
$K_{ÖPNV}$	DM	40,00	40,00	40,00	47,70	55,40	63,00	63,00	63,00	63,00	67,80	72,60
$t_{F,an,MIV}$	min	1,9	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
t_{PS}	min	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
$v_{B,MIV}$	km/h	9,7	12,0	17,3	20,7	25,2	28,0	29,8	31,4	33,1	34,6	35,9
K_P	DM	1,04	1,07	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,18	1,19	1,22	1,24
WWHV	%	20,73	17,77	14,10	11,14	8,77	6,64	4,86	4,38	4,21	3,85	3,55

Recklinghausen, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4
t_{FF}	min	15,5	16,1	17,0	17,8	20,1	22,4	24,7	27,1	28,8	29,2	29,1
$t_{U,freiw.}$	min	7,4	7,5	7,5	7,6	7,6	7,7	7,8	7,8	7,9	7,9	8,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,6	2,3	3,1	3,9	4,7	5,6
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	9,6	15,1	19,1	21,5	23,1	24,2	25,0	25,6	24,8	23,5	22,6
$K_{ÖPNV}$	DM	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	60,00	65,00	70,00	73,50	76,00	79,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t_{PS}	min	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$v_{B,MIV}$	km/h	4,4	8,4	13,2	17,5	21,2	24,4	27,0	28,1	29,0	30,9	29,3
K_P	DM	0,75	0,78	0,79	0,81	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85
WWHV	%	22,08	17,67	17,37	11,78	8,72	6,71	4,89	3,59	2,94	2,30	1,94

Saarbrücken, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	2,0	2,3	2,6	2,9
t_{Ff}	min	4,1	4,1	10,1	15,7	19,8	23,9	26,9	29,7	32,4	35,0
$t_{U,freiw.}$	min	1,0	1,0	1,0	1,7	2,9	4,0	5,0	5,7	6,4	7,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	22,1	22,1	18,3	17,1	19,3	21,0	22,20	23,2	24,0	24,6
$K_{ÖPNV}$	DM	61,00	61,00	61,00	61,00	61,00	61,00	61,00	62,49	65,54	68,59
$t_{F,an,MIV}$	min	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
t_{PS}	min	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
$v_{B,MIV}$	km/h	4,8	8,7	13,1	17,4	21,2	24,3	26,7	28,8	30,6	32,2
K_P	DM	1,06	1,09	1,12	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22
WWHV	%	20,69	17,89	14,92	11,54	9,09	7,23	6,18	5,13	4,20	3,15

Troisdorf, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,4	2,5	2,7	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5
t_{FF}	min	14,7	17,2	20,8	24,7	26,9	28,8	30,4	31,8	34,2	36,7	38,8	40,7	42,5
$t_{U,frei w.}$	min	7,8	7,8	7,8	7,8	7,9	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,1	1,7	3,4	5,1	6,8	7,2	7,4	7,5	7,8	7,8
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	23,1	23,1	23,1	23,1	25,2	26,7	27,8	28,7	29,5	30,3	31,0	31,6	32,2
$K_{ÖPNV}$	DM	51,00	51,00	51,00	51,00	57,30	63,60	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
t_{ps}	min	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
$v_{B,MIV}$	km/h	5,5	10,4	15,0	18,8	22,3	25,5	27,8	30,0	31,8	32,9	33,5	34,0	34,6
K_p	DM	0,36	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	0,42	0,43
WWHV	%	21,21	19,12	16,73	11,65	8,24	5,73	4,81	3,23	2,51	2,15	1,79	1,79	1,67

Ulm, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,6	1,9	2,4	2,8	3,0	2,9	3,2	3,5	4,0
t_{Ff}	min	4,2	6,1	8,7	11,2	13,6	15,9	19,6	23,1	26,3
$t_{U,freiw.}$	min	1,6	2,1	2,4	2,9	3,4	3,8	4,2	4,6	4,9
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,3	0,5
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	8,4	12,5	15,8	17,7	18,3	18,6	20,7	22,7	24,4
$K_{ÖPNV}$	DM	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,6	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
t_{PS}	min	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
$v_{B,MIV}$	km/h	6,7	10,6	15,7	21,2	25,7	29,1	31,4	31,8	34,0
K_P	DM	0,72	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82
WWHV	%	26,76	19,38	13,91	10,35	8,74	7,20	5,70	4,52	3,44

Wiesbaden, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,8	2,2	2,5	2,5	2,6	2,0	2,3	2,3	2,3	2,4	1,9	2,6
t_{Ff}	min	4,4	4,8	7,7	7,8	9,4	9,8	11,3	12,9	17,6	16,5	15,6	25,7
$t_{U,frei w.}$	min	2,3	2,3	2,3	2,3	2,8	3,3	3,6	3,6	3,7	3,7	3,9	4,1
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	9,1	14,6	19,0	21,6	23,2	24,3	25,0	25,6	26,1	26,4	26,7	27,0
$K_{ÖPNV}$	DM	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	90,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,4	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
t_{PS}	min	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
$v_{B,MIV}$	km/h	5,9	10,3	14,0	18,8	22,5	25,3	27,3	28,2	29,9	31,4	32,3	33,0
K_P	DM	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,51	0,52	0,52	0,53	0,54
WWHV	%	23,37	17,45	14,21	9,76	6,92	5,62	5,03	4,26	3,79	3,76	3,31	2,61

Witten, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,6	2,0	2,6	3,3	3,3	3,4	3,5	3,6	3,5	3,4	3,4
t_{FF}	min	11,2	13,7	17,1	21,0	21,3	21,7	22,1	23,5	28,9	34,3	39,8
$t_{U,freiw.}$	min	5,0	5,7	5,9	6,3	6,7	7,2	7,6	8,0	8,0	8,0	8,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	4,2	5,8	6,0	6,1	6,3
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	11,3	16,7	20,5	22,5	22,4	22,4	22,4	22,6	23,8	24,9	25,7
$K_{ÖPNV}$	DM	66,00	66,00	66,00	66,00	69,70	77,30	77,00	80,30	84,70	88,00	88,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
t_{PS}	min	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
$v_{B,MIV}$	km/h	8,4	12,3	16,7	21,3	25,1	28,5	31,6	34,6	36,0	36,9	36,6
K_P	DM	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57
WWHV	%	19,73	16,78	16,14	12,60	9,66	7,42	5,30	4,00	3,42	2,71	2,24

Wuppertal, alle Wege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,2	2,2	2,3	2,4	2,9	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6
t_{FF}	min	7,5	8,7	10,4	12,2	12,1	12,9	15,8	18,8	21,7	24,5	27,3
$t_{U,freiw.}$	min	3,4	3,7	3,9	4,2	4,4	4,7	4,9	5,2	5,4	5,7	5,7
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,3	0,6	1,0	1,5	2,3	3,0	3,7	4,5	5,2
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	15,1	15,7	16,0	16,1	18,9	20,3	19,5	18,9	18,5	18,2	18,0
$K_{ÖPNV}$	DM	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	73,50	73,50	73,50	91,00	91,00	91,00
$t_{F,an,MIV}$	min	1,6	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t_{PS}	min	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
$v_{B,MIV}$	km/h	5,4	8,9	13,5	17,8	21,0	23,1	25,0	26,4	27,8	29,2	30,5
K_P	DM	0,83	0,86	0,88	0,90	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97	0,99
WWHV	%	17,25	18,42	14,33	11,35	9,53	7,43	5,56	4,62	4,21	3,80	3,51

Anlage 9: Festlegung des Vergleichssplits – alle Wege

Die zur Festlegung des Vergleichssplits verwendeten Werte sind „fett“ markiert. Falls für den MIV eine solche Markierung fehlt, ergibt sich der Wert als Differenz zwischen der Summe der Anteile der anderen Verkehrsmittel und 100 Prozent.

Aachen		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	28	10	10	52
②	Befragung Wege bis 8,5 km	33,7	12	9,5	44,8
③	Binnenverkehr	32	12	10	46
④	Erhebungen	-	-	12,75	44,7
⑤	Vergleichssplit	34,99	12,46	12,58	39,98

Bochum		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	27,3	5,0	10,1	57,6
②	Befragung Wege bis 11,5 km	31,44	5,76	9,93	52,87
③	Binnenverkehr	31,3	6,1	10,1	52,5
④	Erhebungen	-	-	10,9 – 13,5	-
⑤	Vergleichssplit	31,4	6,0	12,2	50,4

Bonn (1991)		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	27,16	12,65	13,58	46,60
②	Befragung Wege bis 9,5 km	31,6	15,0	14,1	39,2
③	Binnenverkehr	32	15	14	39
④	Erhebungen	-	-	14,33	44,2
⑤	Vergleichssplit	31,7	15,0	14,3	39,0

Bonn (1999)		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	25	17	16	42
②	Befragung Wege bis 9,5 km	29,08	19,48	16,05	35,39
③	Binnenverkehr	29	19	16	36
④	Erhebungen	-	-	17,01	-
⑤	Vergleichssplit	28,70	19,01	17,01	35,28

Bremen		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	21	22	17	40
②	Befragung Wege bis 10,5 km	24,37	25,53	16,91	33,19
③	Binnenverkehr	22	23	18	37
④	Erhebungen	-	-	17,28	-
⑤	Vergleichssplit	24,37	25,53	16,91	33,19

Dortmund		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	20,82	4,93	16,16	58,08
②	Befragung Wege bis 9,5 km	27,91	5,80	16,36	49,94
③	Binnenverkehr	-	-	-	-
④	Erhebungen	-	-	17,03	48,5
⑤	Vergleichssplit	27,91	5,80	17,03	49,26

Düsseldorf		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	30,3	9,1	18,2	42,4
②	Befragung Wege bis 9,5 km	35,41	10,63	17,55	36,42
③	Binnenverkehr	33,50	9,85	19,00	37,65
④	Erhebungen	-	-	19,7	48,8
⑤	Vergleichssplit	34,5	10,3	19,7	35,5

Essen		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	27	5	15	53
②	Befragung Wege bis 10,5 km	32,63	6,04	15,53	45,79
③	Binnenverkehr	31	5	15	49
④	Erhebungen	-	-	15,79	47,2
⑤	Vergleichssplit	32,6	6,0	16,3	45,1

Freiburg		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	22	18	16	44
②	Befragung Wege bis 8,5 km	25,7	21,0	14,6	38,7
③	Binnenverkehr	24	21	18	37
④	Erhebungen	-	-	17,5	40
⑤	Vergleichssplit	25,69	20,99	15,96	37,36

Hamburg		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	21,75	12,28	20,70	45,26
②	Befragung Wege bis 13,5 km	25,78	14,55	18,50	41,17
③	Binnenverkehr	24	13	21	42
④	Erhebungen	-	-	22,8	37,5
⑤	Vergleichssplit	24,0	13,0	20,4	42,6

Hannover		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	23,4	15,96	21,63	39,01
②	Befragung Wege bis 10,5 km	27,15	18,88	21,29	32,68
③	Binnenverkehr	26,33	17,39	22,64	33,64
④	Erhebungen	-	-	21,40	37,30
⑤	Vergleichssplit	24,87	16,43	21,40	37,30

Nürnberg		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	25,25	12,13	18,69	43,93
②	Befragung Wege bis 10,5 km	29,95	13,58	18,76	37,71
③	Binnenverkehr	28	13	20	39
④	Erhebungen	-	-	18,78	39,47
⑤	Vergleichssplit	29,95	13,58	18,76	37,71

Recklinghausen		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	27	9	8	56
②	Befragung Wege bis 10,5 km	32,2	10,7	7,6	49,5
③	Binnenverkehr	32,60	10,73	7,80	48,87
④	Erhebungen	-	-	11,47	49,57
⑤	Vergleichssplit	31,7	10,6	11,0	46,7

Saarbrücken		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	24	2	19	55
②	Befragung Wege bis 9,5 km	28,66	2,39	18,70	50,25
③	Binnenverkehr	-	-	-	-
④	Erhebungen	-	-	17,93	53,5
⑤	Vergleichssplit	28,93	2,41	17,93	50,73

Troisdorf		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	20	16	7	57
②	Befragung Wege bis 11,5 km	24,24	19,39	7,22	49,15
③	Binnenverkehr	27	22	10	41
④	Erhebungen	-	-	10	55,9
⑤	Vergleichssplit	24,24	19,39	7,22	49,15

Ulm		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	28	9	11	52
②	Befragung Wege bis 8,5 km	32,8	10,4	10,2	46,6
③	Binnenverkehr	34	11	12	43
④	Erhebungen	-	-	13,6	52,5
⑤	Vergleichssplit	33,4	10,7	13,6	42,3

Neu-Ulm		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	24	12	6	58
②	Befragung Wege bis 8,5 km	28,06	13,88	6,76	51,30
③	Binnenverkehr	34	17	3	46
④	Erhebungen	-	-	10,3	59
⑤	Vergleichssplit	28,1	13,9	10,3	47,7

Wiesbaden		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	28	4	17	51
②	Befragung Wege bis 11,5 km	33,17	4,74	17,83	44,26
③	Binnenverkehr	-	-	-	-
④	Erhebungen	-	-	> 17	50,4
⑤	Vergleichssplit	33,17	4,74	17,83	44,26

Witten		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	25	3	10	62
②	Befragung Wege bis 10,5 km	30,8	3,7	9,8	55,8
③	Binnenverkehr	33	3	10	54
④	Erhebungen	-	-	10,3	59,8
⑤	Vergleichssplit	33	3	10	54

Wuppertal		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	28,03	0,76	16,67	54,55
②	Befragung Wege bis 10,5 km	32,87	0,89	17,49	48,74
③	Binnenverkehr	33	1	17	49
④	Erhebungen	-	-	17,5	46,5
⑤	Vergleichssplit	32,87	0,89	17,49	48,74

Aachen, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,6	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,6	3,9	4,5
t_{Ff}	min	7,6	7,9	15,0	13,8	20,0	23,3	23,8	31,8	32,9
$t_{U,frei w.}$	min	3,8	3,8	3,8	3,9	4,9	6,4	6,7	6,7	6,7
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	11,6	15,2	14,8	16,2	18,5	19,3	20,5	22,3	22,2
$K_{ÖPNV}$	DM	45,85	46,12	46,68	47,00	23,00	47,78	48,34	56,22	68,94
$t_{F,an,MIV}$	min	1,7	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
t_{PS}	min	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0
$v_{B,MIV}$	km/h	7,9	11,6	16,6	21,0	24,0	26,3	27,9	29,4	30,7
K_P	DM	0,56	0,57	0,59	0,60	0,60	0,61	0,62	0,64	0,65
WWHV	%	22,67	19,19	16,72	12,65	9,74	6,98	5,09	3,90	3,08

Bochum, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t _{F,an,ÖPNV}	min	2,8	2,6	2,3	2,0	1,9	2,0	2,0	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3
t _{Ff}	min	15,8	17,3	19,5	21,9	23,2	23,8	24,4	25,4	30,9	36,3	41,8	47,2
t _{U,freiw.}	min	6,4	6,5	6,6	6,7	6,9	7,0	7,2	7,3	7,4	7,6	7,7	7,8
t _{U,Zwang}	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,1	1,9	2,8	4,0	5,7	7,6	8,0
v _{B,ÖPNV}	km/h	17,5	22,1	24,6	25,8	28,3	31,4	33,9	34,5	25,6	21,3	18,8	17,2
K _{ÖPNV}	DM	56,03	56,37	57,05	66,86	78,047	78,95	79,85	81,20	85,41	89,68	94,03	95,05
t _{F,an,MIV}	min	1,6	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t _{F,ab,MIV}	min	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
t _{PS}	min	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
v _{B,MIV}	km/h	7,7	12,9	18,1	22,4	25,3	28,0	30,1	31,6	33,1	34,3	34,6	35,5
K _P	DM	0,46	0,47	0,49	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56
WWHV	%	18,49	19,37	13,20	10,15	8,74	7,63	5,52	4,46	3,87	3,29	2,82	2,45

Bonn (1991), Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8
t_{Fr}	min	5,1	9,2	11,8	14,6	17,0	19	20,9	22,7	24,5	26,1
$t_{U,freiw.}$	min	2,5	2,5	2,5	3,9	5,0	5,5	6,0	6,4	6,9	7,1
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,2	0,5	0,7	0,9	1,3	1,7	2,2	3,0
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	17,6	20,3	21,5	22,1	23,5	26,0	28,1	29,7	31,1	32,2
$K_{ÖPNV}$	DM	56,03	56,37	57,05	69,69	78,58	79,49	83,37	88,50	93,79	99,04
$t_{F,an,MIV}$	min	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
t_{PS}	min	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
$v_{B,MIV}$	km/h	7,29	12,07	17,74	22,28	25,70	28,20	30,04	31,57	33,08	34,54
K_P	DM	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,68
WWHV	%	21,48	20,08	16,16	12,06	8,55	6,26	5,09	4,04	3,40	2,87

Bonn (1999), Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1
t_{Ff}	min	5,4	9,1	10,2	11,5	14,5	19,4	20,0	20,5	20,7	20,6
$t_{U,freiW.}$	min	2,5	2,5	3,0	4,0	4,7	4,9	5,2	5,4	5,6	5,8
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	2,8	3,2	3,6	4,1	4,5
$V_{B,ÖPNV}$	km/h	21,9	21,9	21,9	21,9	22,7	23,8	25,5	26,9	28,0	29,0
$K_{ÖPNV}$	DM	74,27	74,27	75,61	92,29	103,95	105,16	110,58	117,38	124,31	131,36
$t_{F,an,MIV}$	min	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
t_{ps}	min	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
$V_{B,MIV}$	km/h	7,31	12,07	17,69	22,19	25,61	28,11	29,96	31,49	33,01	34,47
K_P	DM	1,02	1,05	1,08	1,10	1,11	1,12	1,12	1,15	1,16	1,18
WWHV	%	23,51	18,99	15,00	11,43	9,17	7,08	5,12	3,87	3,21	2,62

Bremen, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,0	2,2	2,5	2,9	2,9	2,9	3,0	3,1	3,3	3,4	3,6
t_{Ff}	min	6,9	8,1	9,9	11,8	12,7	13,4	14,3	15,7	17,0	18,4	19,7
$t_{U,frei w.}$	min	3,1	3,4	3,6	3,9	4,3	4,7	5,0	5,4	5,6	5,8	5,9
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	9,2	11,9	13,4	14,1	15,4	16,5	17,2	17,7	18,1	18,4	18,6
$K_{ÖPNV}$	DM	40,75	41,00	41,49	41,98	42,47	42,97	43,46	43,95	44,44	44,93	45,43
$t_{F,an,MIV}$	min	1,7	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
t_{ps}	min	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
$v_{B,MIV}$	km/h	7,8	11,5	16,3	20,2	24,2	27,4	29,8	31,5	32,7	33,9	34,9
K_P	DM	0,81	0,83	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,93	0,95	0,97	0,99
WWHV	%	21,96	17,51	14,54	10,39	8,13	6,41	5,64	4,69	4,27	3,50	2,97

Düsseldorf, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	2,9	2,9	2,9
t_{Ff}	min	9,1	9,1	9,8	10,5	11,4	12,3	13,3	14,0	14,7	15,5
$t_{U,frei w.}$	min	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,8	4,9	5,1	5,2	5,3
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3	2,0	3,1	4,2
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	21,5	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	22,7	25,0	27,1
$K_{ÖPNV}$	DM	55,18	55,63	56,37	57,30	58,31	59,38	60,45	62,55	66,97	71,37
$t_{F,an,MIV}$	min	1,8	1,8	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
t_{PS}	min	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
$v_{B,MIV}$	km/h	6,1	10,2	15,3	18,3	21,5	24,9	27,9	29,3	30,8	32,0
K_P	DM	0,85	0,87	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,97	0,98	1,00
$WWHV$	%	21,24	18,58	16,11	13,33	8,38	6,67	5,01	4,13	3,42	3,13

Dortmund, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,5	2,6	2,7	2,9	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5
t_{Ff}	min	7,8	9,5	11,9	14,5	15,9	16,6	17,3	20,4	22,8	25,2
$t_{U,frei w.}$	min	3,4	3,9	4,1	4,6	5,1	5,6	6,0	6,4	6,6	6,8
$t_{U,Zwang}$	min	0,1	0,6	1,1	1,5	2,1	2,7	3,3	3,6	3,9	4,2
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	15,6	18,7	20,3	21,0	21,5	22,0	22,3	21,2	20,7	20,3
$K_{ÖPNV}$	DM	82,52	83,02	84,02	85,01	86,01	87,00	88,00	89,00	89,99	101,94
$t_{F,an,MIV}$	min	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
t_{PS}	min	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4
$v_{B,MIV}$	km/h	10,2	12,9	19,3	23,9	26,8	28,6	30,0	31,4	32,7	33,9
K_P	DM	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,81
WWHV	%	15,53	15,53	13,66	9,69	7,71	6,01	5,31	5,08	4,85	4,50

Essen, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,3	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
t_{Ff}	min	9,2	9,2	10,8	12,5	14,2	16,1	18,0	19,7	21,4	23,0	24,6
$t_{U,frei w.}$	min	4,6	4,6	4,6	4,6	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,7
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,5	1,3	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	15,2	15,2	19,1	21,4	22,8	23,7	25,2	26,5	27,6	28,5	29,3
$t_{F,ab,ÖPNV}$	min	2,5	2,5	3,0	3,6	4,2	4,5	4,7	5,0	5,2	5,5	5,7
$K_{ÖPNV}$	DM	56,03	56,37	57,05	59,05	65,74	78,95	79,85	80,76	81,66	82,57	83,47
$t_{F,an,MIV}$	min	1,6	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
t_{ps}	min	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$v_{B,MIV}$	km/h	7,8	12,6	17,3	22,3	26,1	29,6	32,7	35,3	37,5	39,6	39,2
K_P	DM	0,66	0,68	0,70	0,71	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77
$WWHV$	%	18,17	18,46	14,66	11,43	8,50	6,74	5,63	4,92	4,40	3,81	3,28

Freiburg, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,8	2,1	2,5	2,9	3,1	3,1	3,0	2,7	2,3
t_{Ff}	min	7,8	9,2	11,2	13,3	16,1	19,6	23,0	26,3	29,6
$t_{U,freiW.}$	min	3,5	3,9	4,1	4,5	4,9	5,2	5,5	5,7	6,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,1	1,8	2,5	3,1
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	9,1	13,8	17,1	18,9	20,4	21,8	22,9	23,5	23,9
$K_{ÖPNV}$	DM	38,71	38,95	39,41	39,88	40,35	40,82	41,28	41,75	42,22
$t_{F,an,MIV}$	min	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
t_{PS}	min	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7
$v_{B,MIV}$	km/h	5,7	9,3	14,2	17,6	20,2	22,6	24,9	26,8	28,4
K_P	DM	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47
WWHV	%	19,57	18,40	18,26	15,92	9,64	6,43	4,82	3,89	3,07

Hamburg, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t _{F,an,ÖPNV}	min	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5
t _{Ff}	min	5,5	5,8	6,2	6,7	7,2	8,8	10,4	12,0	13,6	15,0	15,3	15,7	16,1	16,4
t _{U,freiW.}	min	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	3,9
t _{U,Zwang}	min	0,0	0,2	0,8	1,4	2,0	2,3	2,7	3,1	3,4	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3
v _{B,ÖPNV}	km/h	26,9	26,9	25,4	24,9	24,6	25,5	26,1	26,6	26,9	27,3	27,9	28,5	29,0	29,5
K _{ÖPNV}	DM	64,90	65,29	66,07	66,86	67,64	68,42	69,21	69,99	88,22	89,19	90,17	91,15	92,12	102,6
t _{F,an,MIV}	min	1,8	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t _{F,ab,MIV}	min	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8
t _{PS}	min	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
v _{B,MIV}	km/h	10,0	14,7	19,8	24,6	27,1	28,8	30,5	32,2	34,1	35,8	37,4	38,6	39,7	40,8
K _P	DM	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,60	0,61	0,62	0,62	0,62
WWHV	%	18,38	15,29	12,86	10,37	8,30	6,70	5,63	4,84	3,91	3,50	2,96	2,67	2,37	2,19

Hannover, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,4	2,4	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2
t_{Ff}	min	4,5	5,8	7,9	10,0	10,6	11,2	11,7	14,7	17,7	20,6	23,4
$t_{U,frei w.}$	min	1,9	2,2	2,4	2,9	3,2	3,6	3,9	4,3	4,7	5,0	5,1
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,01	0,02	0,03	0,75	1,47	2,19	2,41	2,63	2,86	3,08
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	23,2	22,7	22,6	22,5	24,4	25,6	26,5	27,2	27,7	28,2	28,5
$K_{ÖPNV}$	DM	56,03	56,73	57,05	57,72	65,83	66,60	67,36	68,12	68,88	69,65	70,41
$t_{F,an,MIV}$	min	1,7	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
t_{PS}	min	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
$v_{B,MIV}$	km/h	6,7	10,6	14,6	19,2	22,7	25,5	27,7	29,7	30,6	31,9	32,8
K_P	DM	0,76	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93
WWHV	%	19,68	16,49	13,83	10,30	7,99	6,83	6,31	5,73	5,03	4,22	3,59

Neu-Ulm, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,9	2,2	2,7	3,2	3,2	3,3	3,3	3,7	4,0
t_{Ff}	min	11,7	13,3	15,5	17,7	23,9	30,4	33,5	35,0	36,1
$t_{U,frei w.}$	min	5,4	5,7	5,9	6,1	6,4	6,6	6,8	6,9	7,1
$t_{U,Zwang}$	min	1,7	2,2	3,0	3,8	4,8	5,7	5,9	5,7	5,6
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	12,6	16,2	18,2	19,1	24,3	30,4	31,7	31,0	30,6
$K_{ÖPNV}$	DM	56,03	56,37	57,05	57,72	58,40	59,08	59,75	60,43	61,11
$t_{F,an,MIV}$	min	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
t_{PS}	min	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
$v_{B,MIV}$	km/h	6,7	12,0	17,1	21,9	26,2	29,8	32,3	33,8	33,9
K_P	DM	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,56	0,57
WWHV	%	21,46	23,87	14,56	10,50	9,07	7,04	5,25	4,65	3,58

Nürnberg, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2
t_{Ff}	min	5,4	6,9	9,0	11,3	12,6	14,3	16,5	19,3	23,0	27,3	32,3
$t_{U,frei w.}$	min	2,3	2,7	2,9	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,4	5,8	6,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,2	0,5	0,8	1,4	2,0	2,4	2,9	3,3	3,7	4,1
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	14,79	18,0	19,7	20,5	22,8	24,4	25,0	25,9	25,7	25,9	26,2
$K_{ÖPNV}$	DM	40,75	41,00	41,49	50,06	58,83	67,67	68,45	69,22	70,00	76,16	82,45
$t_{F,an,MIV}$	min	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
t_{ps}	min	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
$v_{B,MIV}$	km/h	11,1	13,2	18,7	22,0	26,6	29,5	31,2	32,7	34,4	35,8	37,1
K_P	DM	0,69	0,71	0,73	0,74	0,74	0,76	0,76	0,78	0,80	0,81	0,83
WWHV	%	20,73	17,77	14,10	11,14	8,77	6,64	4,86	4,38	4,21	3,85	3,55

Recklinghausen, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_{F,an,ÖPNV}	min	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4
t_{Ff}	min	17,0	18,1	19,6	21,2	23,4	25,6	27,8	30,0	33,9	36,3	37,0
t_{U,frei.w.}	min	7,7	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9	8,0	8,0
t_{U,Zwang}	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,5	2,2	3,0	3,8	4,6	5,5
v_{B,ÖPNV}	km/h	9,7	15,3	19,6	22,1	22,7	23,1	23,3	23,5	23,1	22,6	22,1
K_{ÖPNV}	DM	56,03	56,37	57,05	57,72	58,40	64,45	70,62	76,91	81,66	85,37	89,72
t_{F,an,MIV}	min	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t_{F,ab,MIV}	min	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
t_{ps}	min	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
v_{B,MIV}	km/h	4,8	9,0	14,0	18,5	22,3	25,5	28,2	29,3	30,1	32,0	30,2
K_P	DM	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48
WWHV	%	22,08	17,67	17,37	11,78	8,72	6,71	4,89	3,59	2,94	2,30	1,94

Saarbrücken, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	2,0	2,3	2,6	2,9
t_{Fr}	min	4,9	4,9	12,7	19,6	23,3	26,9	30,4	33,6	36,6	39,4
$t_{U,freiw.}$	min	1,0	1,0	1,0	2,0	3,5	5,1	6,1	6,6	7,1	7,4
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	22,6	22,6	18,4	17,1	19,3	20,8	22,1	23,0	23,8	24,4
$K_{ÖPNV}$	DM	62,15	62,52	63,27	64,02	64,77	65,52	66,27	68,66	72,82	77,04
$t_{F,an,MIV}$	min	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
t_{PS}	min	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
$v_{B,MIV}$	km/h	5,2	9,4	14,0	18,4	22,4	25,5	28,0	30,0	31,9	33,4
K_P	DM	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,76
WWHV	%	20,69	17,89	14,92	11,54	9,09	7,23	6,18	5,13	4,20	3,15

Troisdorf, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,4	2,5	2,7	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5
t_{Ff}	min	17,5	20,5	24,6	28,9	31,1	33,1	34,8	36,1	38,7	41,4	43,7	45,6	47,6
$t_{U,frei w.}$	min	7,9	7,9	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	3,5	5,2	6,9	7,4	7,5	7,6	7,8	7,9
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	22,8	22,8	22,8	22,8	25,1	26,6	27,8	28,7	29,8	30,9	31,8	32,6	33,4
$K_{ÖPNV}$	DM	51,96	52,27	52,90	53,53	60,84	67,67	76,05	76,91	77,77	78,63	79,49	80,36	81,22
$t_{F,an,MIV}$	min	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t_{ps}	min	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$v_{B,MIV}$	km/h	6,0	11,2	16,0	19,9	23,5	26,7	29,0	31,2	33,0	34,1	34,7	35,1	35,6
K_P	DM	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27
WWHV	%	21,21	19,12	16,73	11,65	8,24	5,73	4,81	3,23	2,51	2,15	1,79	1,79	1,67

Ulm, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,6	1,9	2,4	2,8	3,0	2,9	3,2	3,5	4,0
t_{Ff}	min	5,3	7,9	11,1	14,1	17,0	19,8	24,7	29,0	36,5
$t_{U,frei w.}$	min	1,9	2,6	3,0	3,7	4,4	4,8	5,2	5,5	6,1
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,2	0,5	0,3	0,0	0,6	1,2	1,7
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	8,4	12,5	15,8	17,7	18,1	18,3	20,5	22,5	24,3
$K_{ÖPNV}$	DM	56,03	56,37	57,05	57,72	58,40	59,08	59,75	60,43	61,11
$t_{F,an,MIV}$	min	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
t_{PS}	Min	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
$v_{B,MIV}$	km/h	7,5	11,6	16,9	22,5	27,2	30,6	32,9	33,2	35,5
K_P	DM	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,56	0,60
WWHV	%	26,76	19,38	13,91	10,35	8,74	7,20	5,70	4,52	3,44

Wiesbaden, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t _{F,an,ÖPNV}	min	1,8	2,2	2,5	2,5	2,6	2,0	2,3	2,3	2,3	2,4	1,9	2,6
t _{Ff}	min	6,5	6,9	10,7	10,7	12,7	12,6	14,3	16,2	20,7	20,3	19,0	30,2
t _{U,freiw.}	min	3,3	3,3	3,3	3,3	4,1	4,6	4,8	4,9	4,9	4,9	5,1	5,2
t _{U,Zwang}	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
v _{B,ÖPNV}	km/h	9,1	14,7	19,2	21,9	23,5	24,7	25,5	26,1	26,6	27,0	27,3	27,5
K _{ÖPNV}	DM	61,13	61,50	62,23	62,97	63,71	64,45	65,91	65,92	66,66	67,40	68,14	103,31
t _{F,an,MIV}	min	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t _{F,ab,MIV}	min	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
t _{PS}	min	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
v _{B,MIV}	km/h	6,5	11,1	14,9	19,8	23,7	26,5	28,5	29,3	31,0	32,5	33,4	34,8
K _P	DM	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33
WWHV	%	23,37	17,45	14,21	9,76	6,92	5,62	5,03	4,26	3,79	3,76	3,31	2,61

Witten, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	1,6	2,0	2,6	3,3	3,3	3,4	3,5	3,6	3,5	3,4	3,4
t_{Ff}	min	13,5	16,4	20,6	25,1	25,5	26,0	26,4	27,9	33,7	39,4	45,2
$t_{U,frei.w.}$	min	5,9	6,8	6,9	7,1	7,3	7,6	7,8	8,0	8,0	8,0	8,0
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	4,4	6,2	6,2	6,3	6,3
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	11,2	16,7	20,4	22,5	22,5	22,6	22,6	22,9	24,1	25,1	26,0
$K_{ÖPNV}$	DM	67,24	67,65	68,46	69,27	74,01	78,73	83,66	88,23	94,10	98,85	99,94
$t_{F,an,MIV}$	min	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
t_{ps}	min	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$v_{B,MIV}$	km/h	9,5	13,6	18,0	22,8	26,5	30,1	33,2	35,7	37,6	38,4	38,1
K_P	DM	0,33	0,31	0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,36
WWHV	%	19,73	16,78	16,14	12,60	9,66	7,42	5,30	4,00	3,42	2,71	2,24

Wuppertal, Freizeitwege

	Einheit	0,5	1,1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{F,an,ÖPNV}$	min	2,2	2,2	2,3	2,4	2,9	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6
t_{Fr}	min	9,5	11,0	13,1	15,1	14,9	15,4	18,4	21,4	24,3	27,2	30,1
$t_{U,freiw.}$	min	4,3	4,7	4,9	5,1	5,4	5,6	5,8	6,1	6,3	6,5	6,5
$t_{U,Zwang}$	min	0,0	0,0	0,5	1,1	1,6	2,2	3,1	4,0	4,9	5,8	6,7
$v_{B,ÖPNV}$	km/h	15,1	15,7	16,0	16,1	19,0	20,4	19,5	19,0	18,6	18,3	18,0
$K_{ÖPNV}$	DM	56,03	56,37	57,05	57,72	58,40	78,95	79,85	80,76	101,10	102,22	103,34
$t_{F,an,MIV}$	min	1,5	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$t_{F,ab,MIV}$	min	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
t_{PS}	min	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
$v_{B,MIV}$	km/h	5,9	9,6	14,4	18,8	22,0	24,1	26,0	27,4	28,7	30,11	31,4
K_P	DM	0,56	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,66	0,67	0,68
WWHV	%	17,25	18,42	14,33	11,35	9,53	7,43	5,56	4,62	4,21	3,80	3,51

Anlage 11: Festlegung des Vergleichssplits – Freizeitwege

Die zur Festlegung des Vergleichssplits verwendeten Werte sind „fett“ markiert. Falls für den MIV eine solche Markierung fehlt, ergibt sich der Wert als Differenz zwischen der Summe der Anteile der anderen Verkehrsmittel und 100 Prozent.

Bonn (1991)		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	33	11	8	48
②	Befragung Wege bis 9,5 km	39,1	12,8	8,2	39,9
③	Binnenverkehr	38,2	12,1	8,0	41,6
④	Vergleichssplit	38,65	12,45	8,2	40,7

Düsseldorf		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	35	9	14	42
②	Befragung Wege bis 9,5 km	41,1	10,5	13,5	35,0
③	Binnenverkehr	38,1	9,4	14,9	37,6
④	Vergleichssplit	39,11	9,82	15,25	35,83

Hamburg		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	19	13	17	51
②	Befragung Wege bis 13,5 km	23,0	15,7	15,5	45,8
③	Binnenverkehr	23,4	14,9	18,1	43,7
④	Vergleichssplit	23,39	14,88	17,60	44,12

Hannover		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	24	15	18	43
②	Befragung Wege bis 10,5 km	28,4	17,7	18,0	35,9
③	Binnenverkehr	27,3	18,6	18,1	36,0
④	Vergleichssplit	25,57	17,38	17,08	39,97

Nürnberg		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	24	14	13	49
②	Befragung Wege bis 10,5 km	29,0	16,9	13,0	41,1
③	Binnenverkehr	27,7	14,8	14,0	43,5
④	Vergleichssplit	29,0	16,9	13,0	41,1

Wuppertal		zu Fuß	Fahrrad	ÖPNV	MIV
①	Wege bis 100 km	27	1	12	60
②	Befragung Wege bis 10,5 km	32,5	1,2	12,9	53,3
③	Binnenverkehr	31,3	0,8	12,2	55,7
④	Vergleichssplit	32,55	1,20	12,95	53,30

Lebenslauf

Name	Andreas Oetting
geboren	22.11.1969 in Aachen
Familienstand	verheiratet
1976 - 1980	Grundschule
1980 - 1989	Gymnasium
Mai 1989	Abitur
1989 - 1990	Zivildienst
1990 - 1995	Studium des Bauingenieurwesens an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen)
1995 - 1997	Fakultätsassistent, RWTH Aachen
1997 - 2001	Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen
seit 2001	DB AG