

Martin Kagerbauer

**Mikroskopische Modellierung
des Außenverkehrs eines
Planungsraums**

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen Band 70/2010

Martin Kagerbauer

**Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs
eines Planungsraums**

**Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen
Band 70**

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch

Eine Übersicht über alle bisher in dieser Schriftenreihe erschienenen
Bände finden Sie am Ende des Buchs.

Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs eines Planungsraums

von
Martin Kagerbauer

Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie
Fakultät für Bau-, Geo- und Umweltwissenschaften
Tag der mündlichen Prüfung: 21. Juli 2010
Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Kunibert Lennerts

Impressum

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.ksp.kit.edu

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales
Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft



Diese Veröffentlichung ist im Internet unter folgender Creative Commons-Lizenz
publiziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>

KIT Scientific Publishing 2010
Print on Demand

ISSN: 0341-5503
ISBN: 978-3-86644-553-6

Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs eines Planungsraums

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für

Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) – Campus Süd
genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Martin Kagerbauer
aus Zwiesel

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Juli 2010

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Kunibert Lennerts

Karlsruhe 2010

Kurzfassung

Martin Kagerbauer

Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs eines Planungsraums

137 Seiten, 27 Abbildungen, 22 Diagramme, 20 Tabellen

Im Vergleich zur makroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung gewinnt die mikroskopische Verkehrsnachfragemodellierung wegen der zunehmenden intrapersonellen Differenzierung der Mobilitätsbedürfnisse mehr und mehr an Bedeutung. Durch Abbildung der individuellen Verkehrsnachfrage können Akzeptanz und Auswirkungen zukünftiger Verkehrsangebote, die das individuelle Verhalten beeinflussen, besser prognostiziert werden. Mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle, welche die Mobilität der Einwohner eines Planungsraums beschreiben, werden derzeit in der Praxis eingesetzt. Der Verkehr im Planungsraum, der durch Nicht-Einwohner verursacht wird, wird dagegen meist durch Abschätzungen, aufwendige Verkehrsbefragungen oder makroskopisch durch großräumige Modelle ermittelt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Modell vorgestellt, das auf mikroskopischer Ebene den für den Planungsraum relevanten Verkehr der in den Außenzellen wohnenden Personen abbildet. Wegen der räumlichen Ausdehnung der Außenzellen übersteigt die Anzahl der Einwohner in den Außenzellen die des Planungsraums bei weitem. Durch die zur Verfügung stehenden Rechnerleistungen und Rechnerkapazitäten ist es nicht praktikabel, sämtliche Wege der Einwohner der Außenzellen mikroskopisch zu modellieren.

Voraussetzung für die Modellierung der Einwohner der Außenzellen eines Planungsraums ist die Übertragbarkeit von individuellen Mobilitätsdaten, die auf Basis der Daten des Deutschen Mobilitätspanels (MOP) analysiert wurde. Anschließend wurde auf Landkreisebene eine Methode entwickelt, um die Abgrenzung von Untersuchungsgebieten für beliebige Planungsräume in Deutschland durchführen zu können. Das darauf aufbauende mikroskopische Verkehrsnachfragemodell für die Einwohner der Außenzellen eines Planungsraums berücksichtigt nur die Wege dieser Personen, die den Planungsraum betreffen. Da alle anderen Wege der Einwohner der Außenzellen, die für den Planungsraum nicht relevant sind, nicht modelliert werden, kann die Rechnerleistung optimiert eingesetzt und die Rechenzeit minimiert werden, ohne dass daraus qualitative Einschränkungen in den Ergebnissen resultieren.

Das Modell wurde in der Praxis für den Verkehrsentwicklungsplan der Metropolregion Rhein-Neckar angewendet, so dass neben dem Verkehr der Einwohner des Planungsraums auch der relevante Verkehr der Einwohner der Außenzellen ohne zusätzliche Befragungen mikroskopisch abgebildet werden konnte.

Abstract

Martin Kagerbauer

The microscopic transport demand modeling of the outer planning area

137 Pages, 27 Figures, 22 Diagrams, 20 Tables

Microscopic transport modeling is becoming more and more important due to intra-personal differentiation of travel behavior. Modeling individual travel behavior allows a more detailed forecasting of the impact and the acceptance of traffic supply in terms of people's needs.

Existing microscopic transport demand models describe the mobility of all inhabitants of the inner planning area. Until now trips by people living in the outer planning area which enter the inner planning area were not modeled in detail. They were either modeled using rough assumptions, models describing a larger-scale area or extensive traffic surveys.

This thesis develops a microscopic model which simulates all trips that residents of the outer planning area make in the inner planning area. Because of limited computer memory storage and processor power, it is not necessary to model all trips of inhabitants of the whole outer planning area. Due to spatial spread, the number of the inhabitants in the outer planning area is much higher than those of the inner planning area.

This thesis begins by analyzing the possibility of transferring individual mobility data from the German Mobility Panel to other areas within Germany. That is the prerequisite for the presented transport model. A method is then explained which localizes the spatial delimitation of the whole planning area; this contains all counties in Germany. Finally, a microscopic transport demand model simulates all trips made in the inner planning area by people living in the outer planning area. Only the trips of inhabitants of the outer planning area, which enter the inner planning area, are modeled; all other trips are not taken into consideration. This makes it possible to reduce computational load and minimize memory storage requirements without affecting quality.

This developed microscopic transport demand model was already used in transportation planning in the Rhine-Neckar Region around the cities of Mannheim, Heidelberg and Ludwigshafen. With this method, all relevant trips of non-inhabitants of the inner planning area could be modeled without expensive and additional travel surveys at regional borders.

Vorwort

Die hier vorliegende Arbeit ist im Rahmen meiner Tätigkeit als akademischer Angestellter am Institut für Verkehrswesen (IfV) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), vormals Universität Karlsruhe (TH), entstanden. Während meiner Zeit am IfV hatte ich die Gelegenheit vielfältige empirische Daten zu nutzen und Erfahrungen in der Verkehrsmodellierung zu sammeln. Das in dieser Arbeit entwickelte Modell entstand im Projekt „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“, das ich in den letzten drei Jahren als Projektleiter bearbeitet hatte, und wurde dort angewendet.

Bei der Erstellung dieser Arbeit wurde mir vielfältige Unterstützung zuteil. Mein besonderer Dank gilt dem Hauptreferenten Herrn Prof. Dirk Zumkeller für die wohlwollende Betreuung dieser Arbeit und die Unterstützung in den Jahren meiner beruflichen Tätigkeit. Weiterer Dank gebührt Herrn Prof. Kunibert Lennerts für die Übernahme des Korreferats. Darüber hinaus bedanke ich mich bei den Herren Professoren Hermann H. Hahn und Ralf Roos, die Mitglieder meiner Promotionskommission waren sowie bei Herrn Prof. Peter Vortisch. Ich bedanke mich auch bei allen, die mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben. Besonders erwähnen möchte ich dabei Dr. Wilko Manz für seine hilfreichen Gespräche und Hinweise und Carsten Schlosser sowie die Kollegen am IfV Dr. Bastian Chlond, Dr. Tobias Kuhnimhof, Ulrike Leyn, Peter Ottmann und Matthias Wirtz für die fachlichen Tipps und die Freude an der Arbeit.

Mein Dank gilt auch der PTV AG in Karlsruhe, die mir freundlicherweise die Lizenz für die Software VISUM zur Verfügung gestellt hat, sowie dem Verband Region Rhein-Neckar (VRRN) als Auftraggeber des Projekts. Bei der Stadt Mannheim und beim Verkehrsverbund Rhein-Neckar (VRN) bedanke ich mich für die Zurverfügungstellung der empirischen Daten zur Kalibrierung des Modells.

Ein besonderes Anliegen ist es mir auch meiner Familie und meinen Freunden zu danken. Allen voran meinen Eltern Anna und Rudolf, die mir meine Ausbildung ermöglicht und mich jederzeit in allen Lebenslagen uneingeschränkt unterstützt haben. Bedanken möchte ich mich last but not least bei meiner Freundin Anke, die mir die Phase der Promotion zu einer unvergesslichen Zeit machte.

Martin Kagerbauer

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	iv
Diagrammverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	vii
Abkürzungen	viii
1 Einleitung	1
1.1 Aufbau der Arbeit	1
1.2 Definitionen	2
2 Ausgangslage und methodische Herangehensweise	5
2.1 Ausgangslage	5
2.2 Methodische Herangehensweise	6
3 Stand der Forschung	9
3.1 Raumstruktur	9
3.1.1 Raumtypisierung nach BBR	9
3.1.2 Raumtypisierung nach BIK	12
3.2 Verkehrsverhaltensforschung	14
3.2.1 Empirische Verkehrserhebungen	14
3.2.1.1 SrV – Mobilität in Städten	16
3.2.1.2 MiD – Mobilität in Deutschland	17
3.2.1.3 MOP - Deutsches Mobilitätspanel	17
3.2.1.4 Verwendete Datenbasis	19
3.2.2 Verhalten der Verkehrsteilnehmer	20
3.3 Verkehrsmodellierung	23
4 Übertragbarkeit von Individualverhaltensdaten	33
4.1 Raumtypisierung	33
4.2 Analyse von Mobilitätskennziffern in unterschiedlicher Raumtypisierung ...	38

4.2.1	Auswertungen auf Haushaltsebene	39
4.2.2	Auswertungen auf Personenebene.....	41
4.2.2.1	Mobile Personen	41
4.2.2.2	Wegeanzahl.....	43
4.2.2.3	Verkehrsleistung.....	45
4.2.2.4	Unterwegszeit	47
4.2.3	Auswertungen auf Wegeebe.....	49
4.2.3.1	Modal Split	49
4.2.3.2	Durchschnittliche Wegedauer	51
4.2.3.3	Durchschnittliche Wegelänge.....	54
4.2.3.4	t-Test der Wegelängenmittelwerte in den Raumtypisierungen	56
4.2.4	Analyse der Wegelängenverteilung	61
4.2.4.1	Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung BIK und BBR	61
4.2.4.2	Chi ² -Test (χ^2 -Test)	63
4.2.4.2.1	Homogenitätstest der Raumtypen	64
4.2.4.2.2	Homogenitätstest der Raumtypisierung nach Erhebungsjahren..	66
4.3	Analyse der Aktivitätenmuster	67
4.4	Schlussfolgerung.....	71
5	Abgrenzung des Untersuchungsgebiets	73
5.1	Auswertung der Pendlerverflechtungen.....	74
5.2	Räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiets an Beispielen.....	78
5.2.1	Beispiel 1: Untersuchungsgebiet für die Gebietskörperschaft „Kreisfreie Stadt Mannheim“.....	79
5.2.2	Beispiel 2: Untersuchungsgebiet für die Gebietskörperschaft „Neckar-Odenwald-Kreis“	80
5.3	Zusammenfassung.....	80
6	Verfahren zur Ermittlung der für den Planungsraum relevanten Verkehrsnachfrage.....	83
6.1	Vorüberlegungen	84

6.2	Modellüberblick	85
6.3	Modellierung des Verkehrs der Einwohner der Außenzellen	88
6.3.1	Relevante Wege für den Planungsraum	88
6.3.2	Anteil der Berührung des Planungsraums	90
6.3.3	Modellierung der Einwohner der Außenzellen mit relevantem Pol für den Planungsraum.....	94
6.3.4	Modellierung der Einwohner der Außenzellen ohne relevanten Pol für den Planungsraum.....	96
6.3.4.1	Zielwahlmodell für die Einwohner der Außenzellen	97
6.3.4.2	Verkehrsmittelwahlmodell.....	100
6.3.4.3	Routenwahl bzw. Umlegung und Kalibrierung der Nachfrageergebnisse.....	101
7	Anwendung des Modells.....	103
7.1	Inputdaten für die Modellanwendung	104
7.2	Praxistest des Modells in Mannheim.....	111
7.2.1	Empirische Daten.....	111
7.2.2	Modellanwendung.....	113
7.2.3	Vergleich der Erhebung (Kordonbefragung) und des Modells.....	116
7.2.4	Schlussfolgerung.....	118
7.3	Praxisanwendung des Modells in der Metropolregion Rhein-Neckar	118
8	Zusammenfassung und Ausblick	125
	Literatur.....	129
	Glossar: Erläuterung der wichtigen verwendeten Begriffe.....	135

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Definition der räumlichen Struktur des Untersuchungsgebiets	2
Abbildung 2:	Untersuchungsstruktur	8
Abbildung 3:	Raumtypisierung nach BBR (Siedlungsstrukturelle Gebietstypen)	11
Abbildung 4:	Historie von MID/ KONTIV und SrV	15
Abbildung 5:	MOP und MID im Vergleich	16
Abbildung 6:	Stichprobenplan im Deutschen Mobilitätspanel	19
Abbildung 7:	Verkehrsverhaltensbestimmende Einflüsse	21
Abbildung 8:	Ablauf der mikroskopischen Nachfragesimulation in mobiTopp.....	27
Abbildung 9:	Lage eines flexiblen Ziels in räumlichen Bereichen	29
Abbildung 10:	Raumtypisierung nach BIK – Regionsgrößenklassen	35
Abbildung 11:	Raumtypisierung nach BBR – Siedlungsstrukturelle Kreistypen	37
Abbildung 12:	Schematische Darstellung eines t-Tests	57
Abbildung 13:	Pendlerverflechtungen in Deutschland	74
Abbildung 14:	Untersuchungsgebiet der Kreisfreien Stadt Mannheim nach Pendlerverflechtungen.....	79
Abbildung 15:	Untersuchungsgebiet des Neckar-Odenwald-Kreises nach Pendlerverflechtungen.....	80
Abbildung 16:	Überblick zur mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung.....	86
Abbildung 17:	Ablauf der Verkehrsnachfragemodellierung	87
Abbildung 18:	Schematische Darstellung von für den Planungsraum relevanten Wegen	89
Abbildung 19:	Ermittlung des Anteils der Berührung des Planungsraums	90
Abbildung 20:	Ablaufdiagramm der Zielwahl für die Einwohner der Außenzellen...	99
Abbildung 21:	Abgrenzung des Untersuchungsgebiets für die Metropolregion Rhein- Neckar	104
Abbildung 22:	Zelleneinteilung.....	106
Abbildung 23:	Operationale Netzmodelle für MIV und ÖV	108

Abbildung 24: Lage des Planungsraums der Testanwendung	112
Abbildung 25: Planungsraum der Testanwendung im Norden von Mannheim mit Kordonbefragungsstellen	112
Abbildung 26: Belastungen am Kordon des Planungsraums im MIV.....	120
Abbildung 27: Belastungen der Kanten nach Nachfragesegmenten (Einwohner des Planungsraums und der Außenzellen sowie Fernverkehr).....	122

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1:	Durchschnittlicher Pkw-Besitz nach Raumtypisierung: BIK	39
Diagramm 2:	Durchschnittlicher Pkw-Besitz nach Raumtypisierung: BBR	40
Diagramm 3:	Durchschnittlicher Anteil mobiler Personen nach Raumtypisierung: BIK	41
Diagramm 4:	Durchschnittlicher Anteil mobiler Personen nach Raumtypisierung: BBR	42
Diagramm 5:	Durchschnittliche Wegeanzahl nach Raumtypisierung: BIK	43
Diagramm 6:	Durchschnittliche Wegeanzahl nach Raumtypisierung: BBR	44
Diagramm 7:	Durchschnittliche Verkehrsleistung nach Raumtypisierung: BIK	45
Diagramm 8:	Durchschnittliche Verkehrsleistung nach Raumtypisierung: BBR	46
Diagramm 9:	Unterwegszeit pro Person nach Raumtypisierung: BIK	47
Diagramm 10:	Unterwegszeit pro Person nach Raumtypisierung: BBR	48
Diagramm 11:	Modal Split der Wege nach Raumtypisierung: BIK	50
Diagramm 12:	Modal Split der Wege nach Raumtypisierung: BBR	51
Diagramm 13:	Durchschnittliche Wegedauer nach Raumtypisierung: BIK	52
Diagramm 14:	Durchschnittliche Wegedauer nach Raumtypisierung: BBR	54
Diagramm 15:	Durchschnittliche Wegelänge nach Raumtypisierung: BIK	55
Diagramm 16:	Durchschnittliche Wegelänge nach Raumtypisierung: BBR	56
Diagramm 17:	Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung: BIK	62
Diagramm 18:	Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung: BBR	63
Diagramm 19:	Verteilung der Aktivitätenmuster nach Raumtypisierung: BIK	68
Diagramm 20:	Verteilung der Aktivitätenmuster nach Raumtypisierung: BBR	69
Diagramm 21:	Pendelentfernungen aus Erhebungen zu INVERMO, MID und MOP .	76
Diagramm 22:	Wegelängenverteilung der für den Planungsraum relevanten Verkehre der Einwohner der Außenzellen nach Zweck.....	123

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	BIK-Regionen: Nomenklatur der Regionsgrößenklassen.....	34
Tabelle 2:	BBR-Regionen: Nomenklatur der Siedlungsstrukturellen Kreistypen	36
Tabelle 3:	t-Test der Wegelängenmittelwerte nach Raumtypisierung: BIK.....	58
Tabelle 4:	t-Test der Wegelängenmittelwerte nach Raumtypisierung: BBR.....	59
Tabelle 5:	t-Test der Wegelängenmittelwerte von Städten in einem Raumtyp	.60
Tabelle 5:	Einteilung der Wegelängenklassen für den χ^2 -Test.....	64
Tabelle 6:	χ^2 -Test der Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung: BIK.....	65
Tabelle 7:	χ^2 -Test der Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung: BBR.....	66
Tabelle 8:	χ^2 -Test der Wegelängenverteilung nach Erhebungsjahren in der BBR- Typisierung 1 (Kernstädte in Agglomerationsräumen)	67
Tabelle 9:	χ^2 -Test der 12 häufigsten Aktivitätenmuster in der BIK-Typisierung..	70
Tabelle 10:	χ^2 -Test der 12 häufigsten Aktivitätenmuster in der BBR-Typisierung	71
Tabelle 11:	Summierte Pendelanteile in km-Klassen aus den Erhebungen zu INVERMO, MID (2002) und MOP (Jahrgänge 1994 bis 2006).....	77
Tabelle 12:	Anzahl der Wege zwischen zwei weit entfernten Zielen im MOP.....	85
Tabelle 13:	Modal Split nach Verkehrsmittel und Wegelänge im MOP.....	93
Tabelle 14:	Zielwahlparameter für die Testanwendung	114
Tabelle 15:	Eckwerte der modellierten und erhobenen Daten nach Verkehrsmitteln	116
Tabelle 16:	Eckwerte der modellierten und erhobenen Daten nach Zweck im Verkehrsmittel MIV.....	117
Tabelle 17:	Zielwahlparameter für die Praxisanwendung	119
Tabelle 18:	Belastungen im Kordon um den Planungsraum nach Nachfragesegmenten (Einwohner des Planungsraums und der Außenzellen sowie Fernverkehr).....	121
Tabelle 20:	Modal Split der für den Planungsraum relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen.....	124

Abkürzungen

A	Arbeit (Gelegenheit)
ab	Anteil der Berührung des Planungsraums
AZ	Außenzellen
AP	Arbeitsplatz
BAA	Bundesagentur für Arbeit
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Bel.	Belastungen
BIK	Einteilung von Raumtypen durch das Büro BIK Aschpurwis + Behrens GmbH, die sogenannten BIK-Raumtypen
Einw.	Einwohner
Ek	Einkaufen (Gelegenheit)
EVS	Einkommens- und Verbrauchsstichprobe
EW	Einwohner
Fa.	Fahrten
$F_{i,j}$	Fahrtbeziehungen zwischen einer Zelle i und einer Zelle j
FUSS	Verkehrsmittel: zu Fuß
Fz	Fahrzeuge
FZ	Fernzellen
HH	Haushalte
IfV	Institut für Verkehrswesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) vormals Universität Karlsruhe (TH)
Kfz	Kraftfahrzeuge
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
km	Kilometer
KONTIV	Kontinuierliche Erhebungen zum Verkehrsverhalten

MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MOP	Deutsches Mobilitätspanel
MRN	Metropolregion Rhein-Neckar
n	Anzahl
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
Pab	Wahlwahrscheinlichkeit (einer Zelle) unter der Maßgabe, dass der Planungsraum betroffen ist
Pers.	Person
Pkw	Personenkraftwagen
PR	Planungsraum
PW _{PR}	Wahlwahrscheinlichkeit der den Planungsraum betreffenden Wege
QZG	Quell-Ziel-Gruppen
RAD	Verkehrsmittel: Rad oder Fahrrad
SGTYP	Strukturtyp der Gemeinde nach BIK
Sp.	Verkehrsspinnen(berechnung)
SrV	System repräsentativer Verkehrsbefragungen
SV	Sozialversicherungspflichtige (Beschäftigte)
TH	Technische Hochschule
U	Nutzen
UG	Untersuchungsgebiet
VM	Verkehrsmittel
VRN	Verkehrsverbund Rhein-Neckar
VRRN	Verband Region Rhein-Neckar
ZW	Zählwerte

1 Einleitung

Wie entsteht Verkehr? Welche Beweggründe haben Personen, Ortsveränderungen durchzuführen? Welche Personen fahren zu welchen Zielen? Diese und viele andere derartige Fragen sollen mit Hilfe der Verkehrsmodellierung geklärt werden. Ein Verkehrsmodell dient grundsätzlich dazu, ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit zu erstellen. „A model can be defined as a simplified representation of a part of the real world [...] which concentrates on certain elements considered important for its analysis from a particular point of view“ (Ortuzar & Willumsen 2005). Der Modellbegriff wird in der Wissenschaft in verschiedenen Disziplinen in dieser Definition verwendet.¹

Mit Hilfe dieser Arbeit sollen bei der mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung die Quelle-Ziel-Beziehungen inklusive Verkehrsmittelwahl aller Personen identifiziert werden, die sich in einem bestimmten Gebiet bewegen. Die Verkehrsnachfragemodellierungen der Einwohner eines bestimmten Planungsraums ((Kuhnimhof 2007) oder (Schnittger & Zumkeller 2006)) und des Fernverkehrs² (Manz 2005) erfolgen in der Praxis bereits mit mikroskopischen Modellen. Für die Einwohner außerhalb des Planungsraums, die keine Fernverkehrsfahrten durchführen, existieren derzeit keine mikroskopischen Modelle, welche die für den Planungsraum relevanten Verkehre abbilden.

1.1 Aufbau der Arbeit

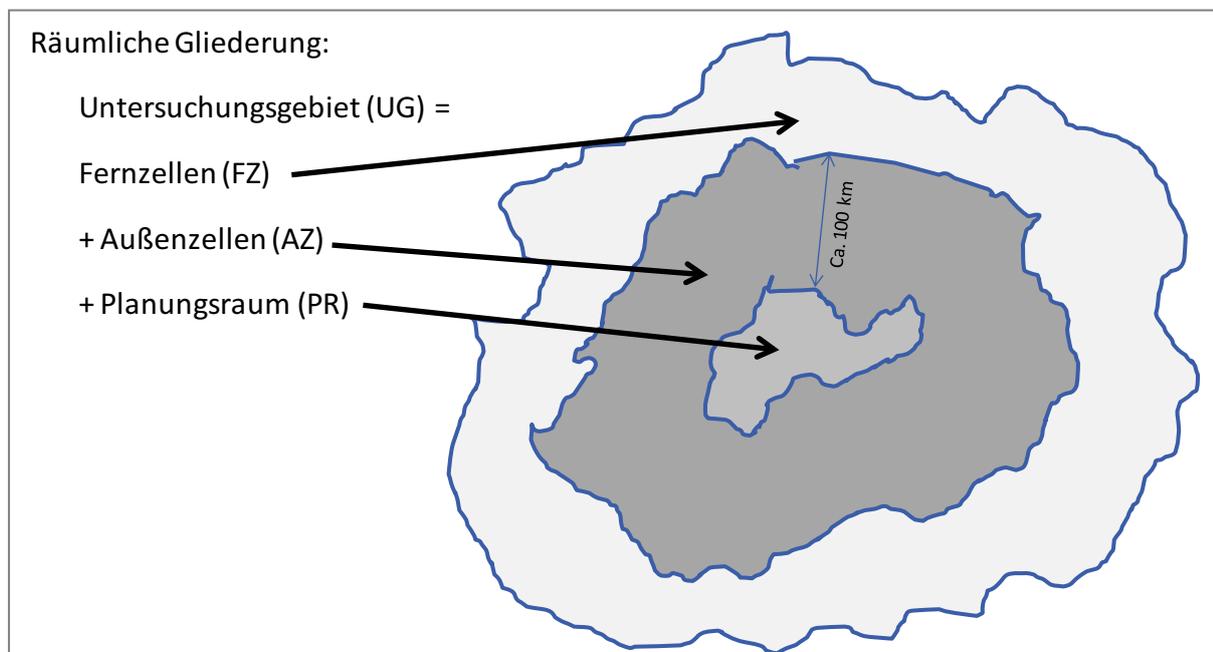
Die vorliegende Dissertation ist nach einer Darstellung der Aufgabenstellung und der Zielsetzung sowie des derzeitigen Forschungsstands (Kapitel 2 und 3) wie folgt gegliedert. Kapitel 4 der Arbeit beschäftigt sich mit der Übertragbarkeit von Individualdaten bezogen auf verschiedene Raumtypisierungen. Anschließend wird eine Methode zur Abgrenzung eines Untersuchungsgebiets vorgestellt, um den räumlichen Mindestumfang der Modellierung festzulegen (Kapitel 5). Der Hauptteil der vorliegenden Arbeit in Kapitel 6 beschreibt ein Modell zur Abbildung der Verkehrsnachfrage von Personen, die nicht in dem untersuchten Planungsraum leben, aber dort Wege unternehmen. Kapitel 7 zeigt die Anwendung dieses Modells in zwei praxisnahen Beispielen. Mit der Zusammenfassung und dem Ausblick (Kapitel 8) wird die Arbeit abgerundet.

¹ Vgl. dazu RICHTER (Richter 1995).

² Fernverkehr wird hier definiert als Fahrten mit einer Distanz von mindestens 100 km.

1.2 Definitionen

Da in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen die Begriffe Untersuchungsgebiet und Planungsraum unterschiedlich verwendet werden, zeigt Abbildung 1 die für das Verkehrswesen gebräuchlichen Definitionen,³ wie sie auch in der vorliegenden Arbeit verwendet werden.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 1: Definition der räumlichen Struktur des Untersuchungsgebiets

Der Planungsraum (PR) beinhaltet den räumlichen Bereich, für dessen verkehrliche Ordnung Handlungskonzepte erarbeitet werden sollen.

Die Außenzellen (AZ) stellen den Bereich außerhalb des Planungsraums bis zu den Fernzellen dar. Darin werden die Verkehre abgebildet, die durch Einwohner der Außenzellen entstehen und Bezug zum Planungsraum haben. Bezug zum Planungsraum bedeutet, dass der Verkehr im Planungsraum endet, beginnt oder diesen durchquert.

Die Fernzellen (FZ) spiegeln den „Rest der Welt“ wider. Hier sind ebenfalls nur die Fernverkehre zu berücksichtigen, die Bezug zum Planungsraum haben.

In der Literatur werden die Außenzellen auch als Umland und die Fernzellen als erweitertes Umland bezeichnet (Schnabel & Lohse 1997b).

³ Vgl. Empfehlung für Verkehrserhebungen EVE 1991 (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1991).

Das Untersuchungsgebiet (UG) schließt die Fernzellen, die Außenzellen und den Planungsraum ein.

Des Weiteren werden diese Begriffe wie folgt verwendet:

- Berührung des Planungsraums: Eine Fahrt berührt den Planungsraum, wenn diese außerhalb des Planungsraums beginnt und im Planungsraum endet oder diesen durchquert.
- Feste Ziele = Pol: Räumlicher Schwerpunkt des individuellen Mobilitätsgeschehens, der regelmäßig aufgesucht wird, um die Aktivitäten Wohnen, Arbeiten oder Ausbildung durchzuführen.
- Flexible Ziele: Räumliche Ziele von Aktivitäten, die nicht an einen festen Ort gebunden sind. Darunter fallen alle Aktivitäten mit Ausnahme von Wohnen, Arbeit und Ausbildung.

2 Ausgangslage und methodische Herangehensweise

Im Folgenden wird das Themengebiet umrissen, in dem sich diese Arbeit bewegt. Es umfasst den derzeitigen Stand der Modellierung, die Aufgabenstellung sowie die Intention dieser Arbeit.

2.1 Ausgangslage

Derzeit existieren in der Verkehrsplanung zwei grundsätzlich verschiedene Arten der Verkehrsmodellierung. Zum einen gibt es die makroskopische Verkehrsmodellierung und zum anderen die mikroskopische Verkehrsmodellierung. Der Grad der Detaillierung des Modells entscheidet darüber, ob ein Modell als makroskopisch oder mikroskopisch zu bezeichnen ist. Aggregierte Gruppenverhaltensmodelle sind stets makroskopisch und werden häufig als „first generation models“ bezeichnet. Als „second generation models“ werden mikroskopische Personenverkehrsnachfragemodelle bezeichnet, die einzelne Individuen modellieren (Ortuzar & Willumsen 2005).

Bei makroskopischen Modellen werden Personen zu elementaren und im Verkehrsverhalten ähnlichen Teilgruppen zusammengefasst. Diese werden als verhaltenshomogene Gruppen bezeichnet und gliedern sich z. B. nach Erwerbstätigkeit und Pkw-Besitz. Die Verkehrsnachfrage dieser Gruppen hinsichtlich Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung sowie der anschließenden Umlegung werden nach dem klassischen 4-Stufen-Algorithmus modelliert (Lohse & Schneider 1997). Bei den mikroskopischen Verkehrsmodellen hingegen werden die Zielwahl, die Verkehrsmittelwahl und die Routenwahl einzelner Personen modelliert (Schnittger & Zumkeller 2006).

Die mikroskopische Modellierung stellt höhere Anforderungen an Computerleistung und Speicherkapazitäten als die makroskopische Modellierung, da alle Wege jeder einzelnen Person mit ihren individuellen Aktivitätenketten einer Ziel- und Verkehrsmittelwahl unterzogen wird. Die mikroskopische Modellierung der Einwohner eines abgegrenzten Planungsraums ist derzeit der Stand der Forschung. Verschiedene Tools und Arbeiten liegen dazu vor und werden in der Praxis eingesetzt.⁴

⁴ Programmpaket mobiTopp (vgl. dazu (Schnittger & Zumkeller 2006)) oder Dissertationsmodell von KUHNIMHOF (Kuhnimhof 2007) sowie TAPAS (vgl. dazu (Varschen & Wagner 2006)) und MATSim (vgl. dazu (Nagel 2005) oder (Institute for Land and Sea Transport Systems - Technische Universität Berlin & Institute for Transport Planning and Systems (IVT) - Swiss Federal Institute of Technology Zurich 2009)).

Die für den Planungsraum relevanten Verkehre der Nicht-Einwohner des Planungsraums werden derzeit entweder aus einem makroskopischen Gesamtmodell, das zum Teil für eine größere Region vorliegt, entnommen (z. B. Validate⁵), oder es werden kostenintensive Kordonbefragungen an den Grenzen des Planungsraums durchgeführt. Bei diesen empirischen Erhebungen werden Quelle und Ziel der Wege sowie weitere Daten, wie z. B. Zweck der Fahrt oder Zeitpunkt der Abfahrt, abgefragt, ausgewertet und zu Belastungen hochgerechnet.

Die mikroskopische Modellierung aller Einwohner der Außenzellen ist auf Grund der Berechnungsdauer bei der Mikromodellierung nur begrenzt möglich. Ein mikroskopischer Verkehrssimulationslauf eines Planungsraums, wie z. B. der Metropolregion Rhein-Neckar mit etwa 2,3 Mio. Einwohnern, dauert ca. 24 Stunden.⁶ Würde man nun die Einwohner der Außenzellen bei einem derartigen Projekt von ca. 16 Mio. Einwohnern vollständig modellieren wollen, so stößt man an die Grenzen der Rechenzeit, der Rechnerkapazität und damit der Praktikabilität.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein Modell zu entwickeln, das alle für den Planungsraum relevanten Verkehre der Nicht-Einwohner des Planungsraum abbildet und dabei Rechenzeit und Rechnerleistung so optimiert, dass angemessene Simulationsdauern erreicht werden. Es soll geklärt werden, welche Ortsveränderungen von Personen durchgeführt werden, die nicht im Planungsraum wohnen, aber den Planungsraum betreffen. Dabei kann es sich sowohl um Quell- und Zielverkehr, als auch um Durchgangsverkehr, bezogen auf den Planungsraum, handeln. Das Modell soll darüber hinaus ermöglichen, dass die Wirkungen von Maßnahmen, wie z. B. Neubau einer Straße, in der Abbildung der Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen Berücksichtigung finden und Prognosen analog zum Planungsraum erstellt werden können.

2.2 Methodische Herangehensweise

Die vorliegende Arbeit soll es ermöglichen, die Wege zu identifizieren, die von den Personen, die in den Außenzellen leben, durchgeführt werden und den Planungsraum betreffen. Dieser Teil der Modellierung ist neben der Modellierung der Wege der

⁵ Validate[®] ist ein europaweites Verkehrsmodell der PTV AG, Karlsruhe, das die Verkehrsmengen des motorisierten Individualverkehrs auf den Straßen Deutschlands und des benachbarten Auslands abbildet (PTV AG 2009).

⁶ Software mobiTopp und Computer mit 32 GB RAM, Dual Core CPU mit 2 mal 3,0 GHz.

Einwohner des Planungsraums und des Fernverkehrs⁷ der dritte Teil der Modellkette, um eine ganzheitliche Modellierung des Untersuchungsgebiets⁸ zu ermöglichen (vgl. Abbildung 1).

Für die Modellierung der für den Planungsraum relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen sind folgende Überlegungen bzw. Voraussetzungen notwendig:

- Wie unterscheiden sich Individualdaten (Mobilitätsverhaltensdaten) in verschiedenen Raumtypisierungen?
- Können Mobilitätsverhaltensdaten aus vergleichbaren Räumen für die Modellierung übernommen werden?
- Wie kann das Untersuchungsgebiet sinnvoll abgegrenzt werden?
- Welche außerhalb des Planungsraums wohnenden Personen führen Wege im Planungsraum durch?

In der Regel ist es zur Kalibrierung eines Modells notwendig in einem Planungsraum Mobilitätsdatenbasen zu erheben. Darüber hinaus sind diese empirischen Daten auch zur Schätzung des Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells nötig. Aus Kostengründen ist es in der Praxis unwirtschaftlich, Erhebungen auch außerhalb des Planungsraums durchzuführen. So ist es aus wirtschaftlichen Überlegungen sinnvoll, Mobilitätsdaten aus anderen vergleichbaren Regionen zu übertragen, um eine Grundlage für die Modellierung zu erhalten. Im ersten Teil der Arbeit wird auf Basis der empirischen Daten des Deutschen Mobilitätspanels (MOP) untersucht, inwieweit sich Mobilitätseckwerte in den Raumtypen unterscheiden. Dabei sind neben den soziodemografischen Daten, wie z. B. Pkw-Besitz, auch Wegehäufigkeiten und Modal-Split-Verteilungen zu untersuchen. Mit Hilfe dieses Arbeitsschrittes soll dargelegt werden, ob es möglich ist,

⁷ Die Modellierung der Einwohner des Planungsraums und des Fernverkehrs werden in dieser Arbeit nicht behandelt, da es in der Forschungslandschaft schon einige Arbeiten darüber gibt (vgl. (Kuhnimhof 2007) bzw. (Manz 2005)).

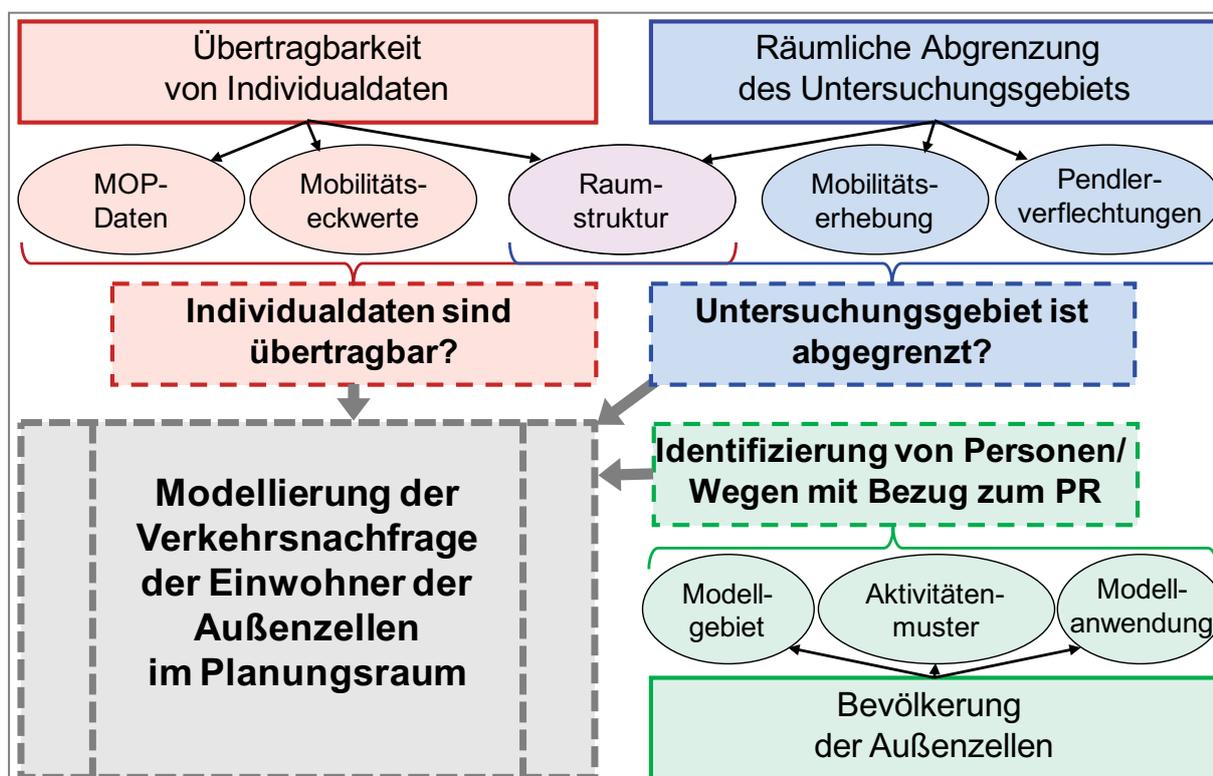
⁸ Obwohl ca. 50-95% des Verkehrs in einem Planungsraum durch die Modellierung der Einwohner des Planungsraums abgebildet werden, sind die Verkehre der Nicht-Einwohner des Planungsraums nicht zu vernachlässigen. Diese Zahlen sind jedoch sehr von der räumlichen Struktur und Abgrenzung des betrachteten Planungsraums abhängig. Zum Beispiel beträgt der für den Planungsraum Stadt Karlsruhe einströmende Verkehr von Nicht-Einwohnern ca. 50%, für den Planungsraum Karlsruhe (Landkreis und Stadtkreis) ca. 20% und für die Region Mittlerer Oberrhein (Stadtkreise Karlsruhe und Baden-Baden sowie Landkreise Karlsruhe und Rastatt) ca. 10-15%. Diese Zahlen beziehen sich auf den Zweck Arbeit und stammen aus den Pendlerverflechtungen der Bundesagentur für Arbeit (Bundesagentur für Arbeit 2006).

Mobilitätsmuster, die nicht in den Außenzellen erhoben wurden, aus gleichen Raumtypen zu übernehmen.

Anschließend wird im zweiten Teil der Arbeit eine Methode entwickelt, mit der das Untersuchungsgebiet räumlich sinnvoll abgegrenzt werden kann. Dabei spielt die räumliche Ausdehnung der Außenzellen eine maßgebende Rolle. Auf Basis der bundesweiten Pendlerverflechtungen der Bundesagentur für Arbeit (Bundesagentur für Arbeit 2006) wird ein Algorithmus entwickelt, der das verkehrlich relevante Einzugsgebiet eines beliebigen Planungsraums deutschlandweit identifiziert. Darin fließen auch Raumstrukturgrößen und vorhandene Mobilitätshebungen ein. Das Ergebnis dieses Schrittes stellt die räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiets dar.

Der dritte und Hauptteil der Arbeit beschreibt die Erstellung eines Mikrosimulationsmodells, in dem die für den Planungsraum relevanten Verkehre der Einwohner der Außenzellen modelliert werden. Dabei liegen Mobilitätsdaten des Deutschen Mobilitätspanels sowie soziodemografische Strukturdaten als Inputdaten für das entwickelte Modell zu Grunde.

Abbildung 2 verdeutlicht grafisch die geplante Vorgehensweise.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 2: Untersuchungsstruktur

3 Stand der Forschung

Zur Einordnung der Arbeit in die Forschungslandschaft wird in diesem Kapitel der Wissensstand in den für die Dissertation wichtigen Bereichen erläutert.

3.1 Raumstruktur

Das Ziel von Raumtypisierungen ist die Gewinnung einer Systematik mit vergleichbaren Raumeinheiten, die eine Analyse von Strukturen und Entwicklungsprozessen in diesen sozioökonomisch und siedlungsstrukturell abgegrenzten Räumen gestattet. In Deutschland finden derzeit aus raumplanerischer Sicht in der Regel die Raumtypisierungen nach

- BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) und
- BIK (Ingenieurbüro Aschpurwis + Behrens GmbH)

Anwendung. Daneben existieren weitere Verfahren wie z. B. nach politischen Ortsgrößenklassen, Beschreibung der Lage nach Standort- oder Umfeldfaktoren sowie nach Erreichbarkeit.

Die hier vorliegende Arbeit betrachtet die beiden oben genannten Raumtypisierungen.

3.1.1 Raumtypisierung nach BBR

Die Einteilung nach

- Regionsgrundtypen,
- Differenzierten Regionstypen,
- Kreistypen und
- Gemeindetypen

des BBR stellt ein räumliches Analyseraster dar, das eine breite Akzeptanz in regionalwissenschaftlichen Fragestellungen gefunden hat. Nach den Kreisgebietsreformen in den östlichen Bundesländern wurde auf Basis des Analyserasters des BBR eine einheitliche Raumtypisierung erarbeitet und in Abstimmung mit den Bundesländern eine bundesweit vergleichbare Abgrenzung funktionalräumlicher Regionen vorgenommen. Diese Raumtypisierung beschränkt sich weitgehend auf die Dimension Siedlungsstruktur und erfasst diese mit einigen wenigen zentralen Indikatoren. Die zentralen Merkmale zur Kennzeichnung der Siedlungsstruktur sind die Bevölkerungsgröße der

Zentren, die Bevölkerungsdichte der Region und die intraregionale Streuung der Bevölkerung.

Dabei wird auf eine hierarchische Typisierung, d. h. die Einordnung von Gebietstypen niedrigen Aggregationsniveaus (z. B. Kreis) in die jeweils vorgelagerte Typik höherer Aggregation (z. B. Region), Wert gelegt. Ausgangspunkte der Siedlungsstrukturklassifikation sind die landesscharf abgegrenzten Raumordnungsregionen. Mit Ausnahme der Stadtstaaten bilden sie in akzeptabler Annäherung den funktionalräumlichen Zusammenhang von oberzentralen Kernen und deren Umland ab. Bei den Stadtstaaten erfolgt eine entsprechende bundeslandübergreifende Abgrenzung des Umlands, um zu bundesweit vergleichbaren Analyseregionen zu gelangen.

Auf Kreisebene werden zum Teil analytisch orientierte Zusammenfassungen vorgenommen, um zu bundesweit vergleichbaren Raumeinheiten zu kommen: Außerhalb der großen Kreisfreien Städte (> 100.000 Einwohner) werden Kreisregionen als Aggregate kleinerer Kreisfreier Städte mit ihren zugeordneten Landkreisen gebildet. Diese Kreisregionen werden nach ihrer Bevölkerungsdichte sowie nach ihrer Lage zueinander und innerhalb der Regionstypen klassifiziert (vgl. (BBR 2009)).

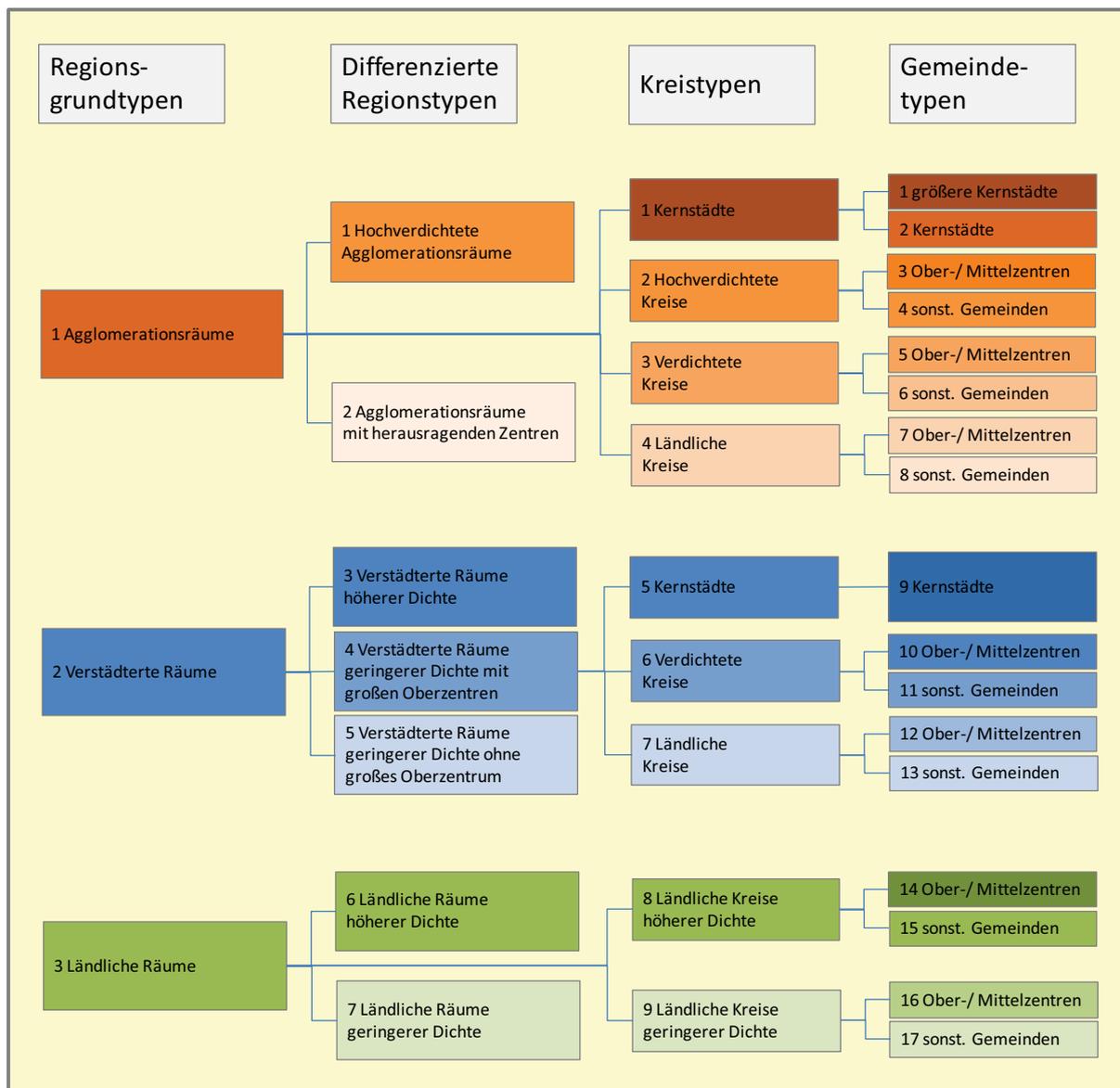
Bei der Einteilung der Regionsgrundtypen (vgl. Abbildung 3) werden die Bevölkerungsgröße und die Bevölkerungsdichte einbezogen:

- Regionsgrundtyp I (Agglomerationsräume)
Oberzentren > 300.000 Einwohner oder Bevölkerungsdichte > 300 Einwohner/km²
- Regionsgrundtyp II (Verstädterte Räume)
Oberzentren > 100.000 Einwohner oder Bevölkerungsdichte > 150 Einwohner/km², bei einer Minstdichte von 100 Einwohner/km²
- Regionsgrundtyp III (Ländliche Räume)
Bevölkerungsdichte < 150 Einwohner/km² und ohne Oberzentrum > 100.000 Einwohner sowie Regionen mit Oberzentrum > 100.000 Einwohner und einer Dichte < 100 Einwohner/km²

Innerhalb der drei Regionsgrundtypen werden die Regionen nach ihren siedlungsstrukturellen Unterschieden in differenzierte Regionstypen untergliedert (vgl. Abbildung 3):

- Regionsgrundtyp I wird nach dem Verdichtungsgrad des Umlands unterschieden in Hochverdichtete Agglomerationsräume (Nummer 1) und Agglomerationsräume mit herausragenden Zentren (2).

- Regionsgrundtyp II wird nach seinem Verdichtungsgrad unterschieden in Verstärkte Räume höherer Dichte (3), Verstärkte Räume mittlerer Dichte mit großen Oberzentren (4) und Räume mittlerer Dichte ohne große Oberzentren (5).
- Regionsgrundtyp III wird ebenfalls nach der Dichte unterschieden in Ländliche Räume höherer Dichte (6) und Ländliche Räume geringerer Dichte (7), wobei hier das Niveau geringer ist.



Quelle: Eigene Darstellung nach (BBR 2005)

Abbildung 3: Raumtypisierung nach BBR (Siedlungsstrukturelle Gebietstypen)

Die Typisierung der Kreisregionen basiert außerhalb der Kernstädte auf der Bevölkerungsdichte. Diese korreliert hoch mit der Siedlungsdichte, der Größe und Erreichbar-

keit von Zentren, der Arbeitsplatzdichte, der verfügbaren Infrastruktur bzw. generell den vorhandenen oder erreichbaren Gelegenheiten. Dabei werden vier Dichtekategorien gebildet. Um diesen großräumigen siedlungsstrukturellen Kontext zu berücksichtigen, werden die nach Dichte klassifizierten Kreise bzw. Kreisregionen nach ihrer Zugehörigkeit zu den funktional abgegrenzten Analyseregionen bzw. nach der Zugehörigkeit zu den großräumigen Regionsgrundtypen differenziert. Die daraus resultierenden Kreistypen sind der Abbildung 3 zu entnehmen.

Die Gemeinden werden je nach ihrer Lage im Kontext klassifiziert, also nach dem Siedlungsstrukturellen Regions- und Kreistyp. Auf der Gemeindeebene wird lediglich nach raumordnerischer Perspektive unterschieden: Große Kernstädte, Kernstädte bzw. Ober- und Mittelzentren oder Sonstige Gemeinden.

In der hier vorliegenden Arbeit wird die Einteilung nach Kreistypen verwendet.

3.1.2 Raumtypisierung nach BIK

Die Methode zur Erstellung der BIK-Regionen orientiert sich an den Boustedt-Regionen (Boustedt 1970). Dabei wird die Stadt-Umland-Beziehung über Berufspendler und Strukturmerkmale klassifiziert. Im Jahr 2000 wurden diese BIK-Regionen neu erarbeitet. Sie stellen für ganz Deutschland die Einzugsbereiche von Städten bis zu Unterzentren gemeindegerecht dar.

Um unterschiedlich große BIK-Regionen zu unterscheiden, erfolgt eine Einteilung nach ihrer Größe in fünf Regionstypen:

BIK-Regionstyp 1-5

- 1: Ballungsraum (≥ 750.000 Einwohner)
- 2: Stadtregion (100.000 bis unter 750.000 Einwohner)
- 3: Mittelzentrengebiet (25.000 bis unter 100.000 Einwohner)
- 4: Unterzentrengebiet (< 25.000 Einwohner)
- 5: Keine BIK-Region

Da funktional zusammengehörige Räume heterogen sein können, z. B. durch unterschiedliche Siedlungsstrukturen und Gebäudetypen, untergliedert man auch nach Strukturtypen. Dabei wird die Nutzungsdichte, die flächendeckend auf Gemeindeebene vorhanden ist, herangezogen. Analog der Boustedt-Regionen aus dem Jahr 1970 berechnet sich das Strukturierungskriterium Einwohner-/ Arbeitsplatzdichte (EW-AP-Dichte) wie folgt:

$$EW - AP - Dichte = \frac{\text{Bevölkerung} + \text{sozialversicherungspfl. Beschäftigte am Arbeitsort}}{\text{Fläche [km}^2\text{]}}$$

Formel 1: Berechnung der Einwohner-/ Arbeitsplatzdichte

Daraus resultieren fünf BIK-Strukturtypen, die sich nach der Zuordnung der Gemeinde zu einem Strukturtyp und ihrer Verflechtungsfunktion unterscheiden:

BIK-Strukturtyp (SGTYP) 1-5

- 1: Kernbereich (EW-AP-Dichte ≥ 1000)
- 2: Verdichtungsbereich ($500 \leq \text{EW-AP-Dichte} < 1000$)
- 3: Übergangsbereich ($150 \leq \text{EW-AP-Dichte} < 500$)
- 4: Peripherer Bereich (EW-AP-Dichte < 150)
- 5: Keine BIK-Region (alle Gemeinden außerhalb der Einzugsbereiche)

Zur Raumklassifizierung werden die BIK-Regionsgrößenklassen definiert. Diese klassifizieren die BIK-Regionen gemäß ihrer Bevölkerungszahl. Weiterhin werden Pendlerpriorität (Arbeitsort der größten Fraktion der Auspendler) und weitere Schwellenwerte, wie z. B. Mindesteinwohnerzahl der Kernstadt und der Region, berücksichtigt. Darüber hinaus werden Kernstädte mit einer Pendlerpriorität von 5 % oder mehr mit ihrem Umland der BIK-Region der jeweils hierarchisch höher stehenden Kernstadt zugeordnet. Laut BIK ASCHPURWIS UND BEHREND'S (BIK Aschpurwis + Behrens GmbH 2001) werden diese nach folgenden Regeln gebildet:

- Wenn die Gemeinde zu einer BIK-Region gehört, erhält die Gemeinde die Größenklasse, die sich aus der Summe der Bevölkerung aller Gemeinden der BIK-Region (Kern und Umland) ergibt.
- Nur wenn die Gemeinde nicht zu einer BIK-Region gehört, wird die Gemeinde nach ihrer tatsächlichen Bevölkerung klassifiziert.

Es existieren zwei Einteilungen von Regionsgrößenklassen, die Siebener- und Zehner-Systematik. Die Siebener-Systematik klassifiziert die Gemeinden nur nach der Bevölkerung.

Siebener Systematik: Gemeindegröße (Regionsgrößenklassen) BIK 1-7

- 1: Unter 2.000 Einwohner
- 2: 2.000 bis unter 5.000 Einwohner
- 3: 5.000 bis unter 20.000 Einwohner
- 4: 20.000 bis unter 50.000 Einwohner
- 5: 50.000 bis unter 100.000 Einwohner
- 6: 100.000 bis unter 500.000 Einwohner
- 7: 500.000 Einwohner und mehr

Als weitere Unterteilung und zur Spezifikation der Gemeinden wird meist die 10er-Einteilung der BIK-Regionsgrößenklassen verwendet. Hierbei wird die Siebener-Systematik mit dem BIK-Strukturtyp weiter differenziert, so dass eine feinere Abgrenzung und Vergleichbarkeit möglich wird.

Zehner Systematik: Gemeindegröße (Regionsgrößenklassen) BIK 1-10

- 1: Unter 2.000 Einwohner + SGTYP 5
- 2: 2.000 bis unter 5.000 Einwohner + SGTYP 5
- 3: 5.000 bis unter 20.000 Einwohner + SGTYP 1/2/3/4/5
- 4: 20.000 bis unter 50.000 Einwohner + SGTYP 1/2/3/4
- 5: 50.000 bis unter 100.000 Einwohner + SGTYP 2/3/4
- 6: 50.000 bis unter 100.000 Einwohner + SGTYP 1
- 7: 100.000 bis unter 500.000 Einwohner + SGTYP 2/3/4
- 8: 100.000 bis unter 500.000 Einwohner + SGTYP 1
- 9: 500.000 Einwohner und mehr + SGTYP 2/3/4
- 10: 500.000 Einwohner und mehr + SGTYP 1

Diese differenzierte BIK-Einteilung wird in dieser Arbeit verwendet.

3.2 Verkehrsverhaltensforschung

Im Folgenden wird der Forschungsstand hinsichtlich empirischer Verkehrserhebungen, des Verkehrsverhaltens von Personen und der Verkehrsmodellierung dargelegt.

3.2.1 Empirische Verkehrserhebungen

In der Bundesrepublik Deutschland werden drei bundesweite Erhebungen in regelmäßigen Abständen durchgeführt, um empirische Daten der heutigen und Determinanten der zukünftigen Verkehrsnachfrage zu erhalten.

Neben der Stichtagserhebung Mobilität in Deutschland – MiD (bis 1989: KONTIV), die erstmals 1976 und bisher insgesamt fünf Mal durchgeführt wurde, existiert die Stichtagserhebung Mobilität in Städten – SrV (bis 1987: System repräsentativer Verkehrsbefragungen), die seit 1972 zuerst in einer Reihe von Städten der Deutschen Demokratischen Republik und nach der Wende in ausgewählten Städten in ganz Deutschland durchgeführt wurde (vgl. Abbildung 4).



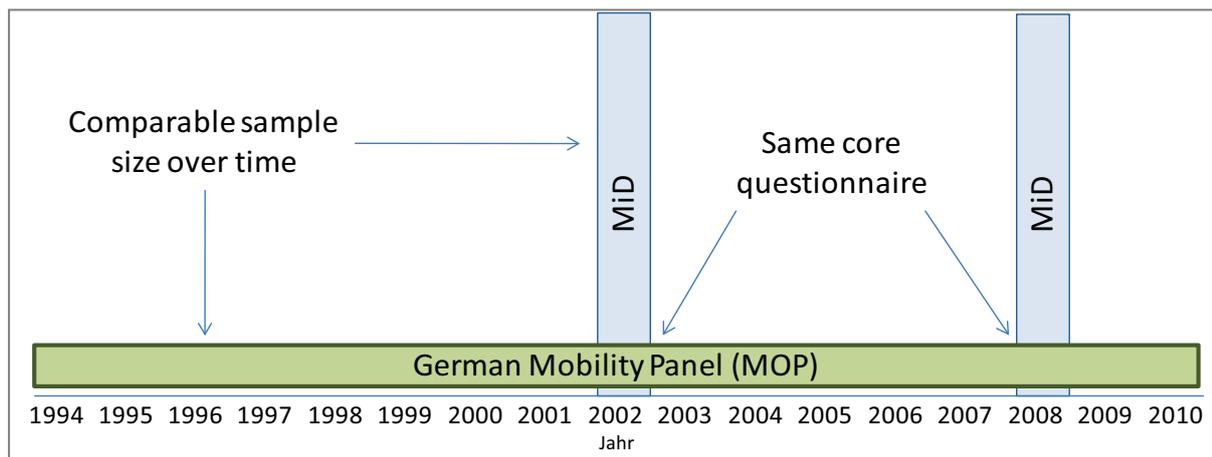
Quelle: (Ahrens et al. 2007)

Abbildung 4: Historie von MID/ KONTIV und SrV

Darüber hinaus werden seit 1994⁹ jährlich die Erhebungen zum Deutschen Mobilitätspanel (MOP) durchgeführt, bei dem die Alltagsmobilität über den Zeitraum einer Woche erhoben wird. Das MOP ist als rollierendes Panel konzipiert, in dem jeder Proband über drei Jahre in der Erhebung verbleibt und jährlich identische Fragestellungen beantwortet. So ist es möglich, neben Querschnittswerten auch Veränderungen im Verhalten der Probanden über einen längeren Zeitraum zu analysieren.

Der Ansatz aus Stichtagserhebungen in bestimmten Zeitabständen mit großer Stichprobe und einer kontinuierlich angelegten Längsschnitterhebung mit kleiner Stichprobe (vgl. Abbildung 5) wird von der internationalen Fachwelt durchaus positiv bewertet: „Perhaps a hybrid approach similar to Germany, where there is a larger scale cross sectional mobility survey, coupled with a smaller sample sized panel is the optimal solution“ (Raimond 2008).

⁹ In den Jahren 1994 bis 1998 wurden nur Haushalte in den alten Bundesländern befragt. Seit dem Jahr 1999 findet die Erhebung in Gesamtdeutschland statt.



Quelle: Eigene Darstellung nach (Zumkeller 2009)

Abbildung 5: MOP und MID im Vergleich

Diese drei deutschlandweit stattfindenden Erhebungen werden im Folgenden detailliert beschrieben, wobei MiD und MOP im Gegensatz zur SrV die Grundgesamtheit der Bundesrepublik Deutschland beschreiben.

3.2.1.1 SrV – Mobilität in Städten

Das Ziel der SrV liegt in der Gewinnung von Kennziffern des Personenverkehrs in ausgewählten Städten. Die erhobenen Mobilitätsdaten dienen als Grundlage für stadtbezogene und stadtübergreifende Analysen der Verkehrsentwicklung. Im Rahmen einer Stichtagsbefragung werden alle Mitglieder eines ausgewählten Haushalts über alle Wege abgefragt, die sie an einem vorgegebenen Stichtag unternehmen. Neben den soziodemografischen Daten des Haushalts bzw. der Personen werden alle Wege mit den benutzten Verkehrsmitteln und den Wegezwecken sowie der Start- und Endzeit der Wege, deren Entfernung und Zieladresse abgefragt.

Der Erhebungszeitraum erstreckte sich im Jahr 2008 erstmals über ein Jahr. Die Befragung wurde in 74 Städten und Gemeinden in dreizehn Bundesländern durchgeführt. Die SrV 2008 ist eine Kombination aus telefonischer und schriftlicher Haushaltsbefragung, bei der alle Personen eines Haushalts teilnehmen sollen. Die Befragung kann telefonisch, schriftlich-postalisch oder über eine Onlinebefragung erfolgen. Die Stichprobe wird aus den Einwohnermelderegistern gezogen. Alle Haushalte, denen eine Telefonnummer zugeordnet werden kann, werden telefonisch befragt. Haushalte ohne zuordenbare Telefonnummer werden schriftlich-postalisch befragt. Darüber hinaus haben alle Haushalte der Stichprobe die Möglichkeit, die Onlinebefragung zu nutzen.

Die SrV 2008 wird wissenschaftlich betreut vom Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung (vip) der Technischen Universität Dresden. Die Erhebung wurde von omniphon GmbH in Leipzig durchgeführt.

3.2.1.2 MiD – Mobilität in Deutschland

Die MiD wurde ebenfalls im Jahr 2008 durchgeführt. Die zentrale Aufgabe der Studie besteht darin, repräsentative und verlässliche Informationen zum Alltagsverkehr von Personen und Haushalten (z. B. Wege nach Zwecken und Verkehrsarten) zu erhalten. Der Erhebungszeitraum erstreckte sich über ein Jahr, so dass auch saisonale Unterschiede im Verkehrsverhalten abgeleitet werden können.

Die MiD ist eine Haushaltsbefragung, die stichtagsorientiert ist. Die Stichprobe von ca. 25.000 Haushalten in Deutschland ist nahezu über alle Tage des Jahres gleichverteilt. Dabei wurde die Methode der schriftlich-telefonischen Erhebung angewendet. Bei der Stichprobenziehung wurden nach einem leicht disproportionalen Ansatz getrennt für jedes Bundesland nach einem Zufallsverfahren Gemeinden ausgewählt, aus denen die Haushalte gezogen wurden. Dieser Ansatz wurde gewählt, um auch Auswertungen getrennt nach Bundesländern oder Teilregionen durchführen zu können.

Nach einer schriftlichen Kontaktaufnahme zu den Haushalten wurde unterschieden, ob für diese eine Telefonnummer ermittelt werden konnte. Falls für Haushalte keine Telefonnummern zur Verfügung standen, wurden diese schriftlich gebeten, Telefonnummern mitzuteilen bzw. am Online-Interview teilzunehmen. Jedem teilnahmebereiten Haushalt wurde ein Stichtag mitgeteilt, an dem jede Person ihre Wege berichten soll. Das eigentliche Personen- und Wegeinterview fand dann für alle Personen im Haushalt unmittelbar nach dem Stichtag telefonisch statt. Bis auf Kinder unter zehn Jahren wurden alle Personen, wenn möglich, direkt befragt.

Die MiD 2008 wurde vom DLR in Berlin wissenschaftlich betreut. Die Feldarbeit wurde von infas in Bonn durchgeführt.

3.2.1.3 MOP - Deutsches Mobilitätspanel

Neben diesen Stichtagserhebungen, die in zeitlichen Abständen von etwa sieben Jahren durchgeführt werden, existiert in Deutschland eine Erhebung, die, wenn auch mit einer relativ geringen Stichprobe, jährlich durchgeführt wird. Dabei handelt es sich um das Deutsche Mobilitätspanel (MOP), das als rollierendes Panel angelegt ist.

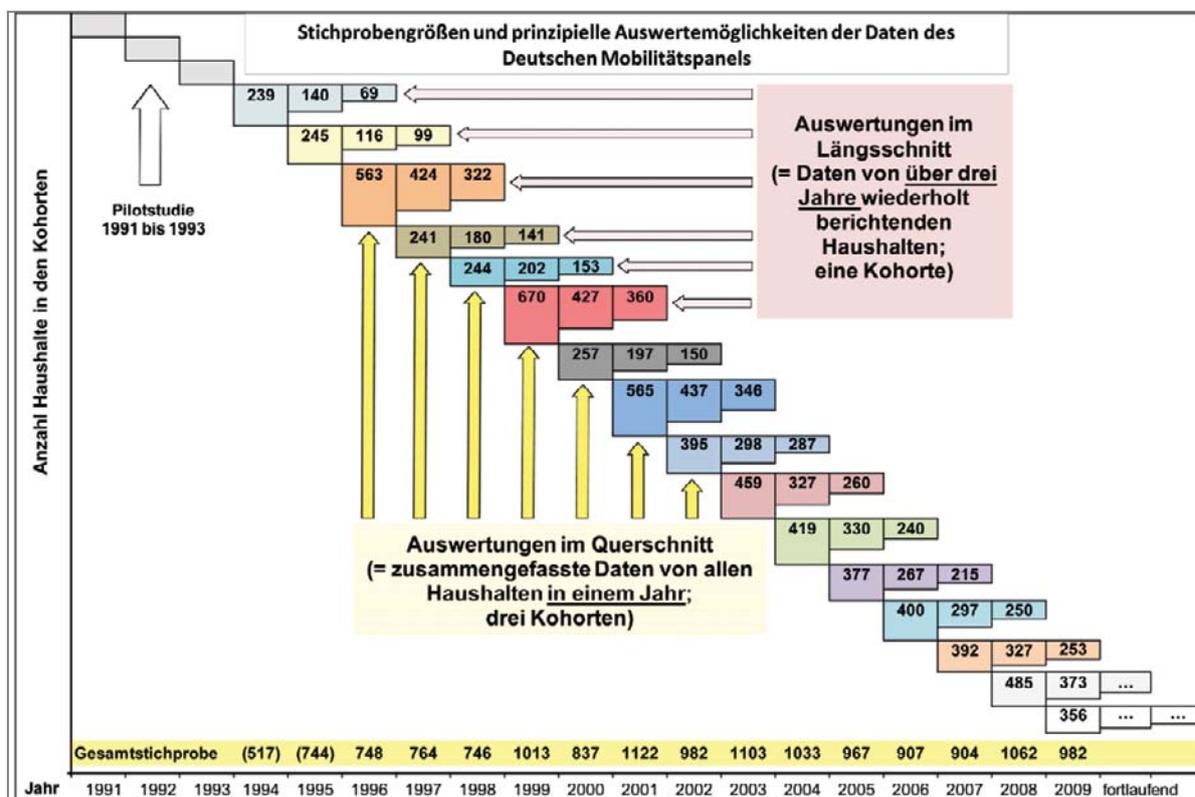
Im Rahmen des Deutschen Mobilitätspanels werden die Haushalte eine Woche lang zu ihrem Mobilitätsverhalten befragt. Die Probanden berichten sämtliche Wege, die

sie im Erhebungszeitraum durchführen. Dabei werden Datum, Anfangs- und Endzeit, Zweck, Verkehrsmittel sowie Dauer und geschätzte Entfernung der Fahrt dokumentiert. Darüber hinaus sind in dem Datensatz sozioökonomische und soziodemografische sowie räumliche Informationen über die Haushalte und die darin lebenden Personen enthalten (z. B. Einkommen, Haushaltsgröße, Pkw-Besitz, Zeitkartenbesitz, Beruf, Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes mit öffentlichen Verkehrsmitteln, nächste ÖV-Haltestellen etc.). Die Stichprobengewinnung erfolgt über ein telefonisches Screening-Interview. Personen, die nach dem Interview bereit sind an der Erhebung teilzunehmen, weisen hinsichtlich ihrer soziodemografischen Eigenschaften eine gewisse Schiefe im Vergleich zur Grundgesamtheit auf. Zum einen werden gesamte Haushalte mit den soziodemografischen Strukturen in der Stichprobe erfasst, so dass die aus der Anwerbung resultierenden Schiefen weitgehend kompensiert werden. Dies ist gegenüber Stichproben, bei denen jeweils nur eine Zielperson befragt wird, ein entscheidender Vorteil (Zumkeller et al. 2003). Zum anderen können die noch in der Stichprobe bestehenden Schiefen in der Gewichtung ausgeglichen werden.

Eine Panelbefragung zeichnet sich dadurch aus, dass die identischen Probanden in einem bestimmten Abstand wiederholt zum gleichen Sachverhalt befragt werden, um Verkehrsverhaltensveränderungen feststellen zu können. Um auch Veränderungen in der Gesellschaft über die Zeit erfassen zu können, verbleiben die Probandenhaushalte drei Jahre in der Erhebung und werden anschließend durch neue Haushalte ersetzt. Jedes Jahr fließen so neue Haushalte in die Erhebung ein. Mit diesem Konzept können nicht nur Veränderungsprozesse über längere Zeiträume identifiziert werden, sondern die Altersstruktur der Stichprobe passt sich durch den rollierenden Stichprobenansatz auch ihrer Grundgesamtheit an. So sind demografische Veränderungen in der Grundgesamtheit auch in der Stichprobe zu finden.

Wegen des Befragungszeitraums von einer Woche sind im Unterschied zu einer Stichtagsbefragung verbesserte Analysen von Routinen im Alltag sowie von typischen Alltagsaktionsräumen einzelner Personen möglich. Darüber hinaus können Aktivitätenmuster über mehrere Tage identifiziert und detaillierte Aussagen über das Mobilitätsverhalten (z. B. mehrtägige Fahrten oder Kurzurlaub) getroffen sowie die Verhaltensvielfalt, Spielräume und Sachzwänge der Probanden analysiert werden. Aus längeren Befragungszeiträumen können damit intrapersonelle Variationen im Mobilitätsverhalten von Tag zu Tag bei derselben Person analysiert werden. Das sind z. B. Aussagen über den intrapersonellen Modal Split, Multimodalität, Variationen im Verhalten und Zeitbudget etc. Dabei sind auch Aussagen über Stabilität, Flexibilität und (Un-)Regelmäßigkeiten des Mobilitätsverhaltens möglich.

In Abbildung 6 ist der Stichprobenplan des MOP zu sehen. Dieser verdeutlicht, dass durch den Ansatz des rollierenden Panels sowohl Aussagen im Längsschnitt als auch Aussagen im Querschnitt innerhalb eines Erhebungsjahres möglich sind.



Quelle: Aktualisierte Darstellung nach (Chlond et al. 2009)

Abbildung 6: Stichprobenplan im Deutschen Mobilitätspanel

Das MOP, das jährlich in den Monaten September bis Oktober erhoben wird, wird vom Institut für Verkehrswesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wissenschaftlich betreut. Die Erhebungsdurchführung lag bei tns infratest in München und infas in Bonn.

3.2.1.4 Verwendete Datenbasis

Da sich die vorliegende Arbeit mit der mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung beschäftigt, ist es notwendig, Daten auf Personenebene zu verwenden. LIPPS wies nach: „Die Variation des ungestörten, individuellen Verhaltens lässt sich mit einer längsschnittbasierten Datenbasis untersuchen.“ (Lipps 2001). Bei der mikroskopischen Nachfragemodellierung ist jede einzelne zu simulierende Person von Bedeutung. Analog dazu stellt WITWER fest: „Für die Verkehrsnachfragemodellierung stehen dem Planer sehr differenzierte Modellansätze zur Verfügung. [...] Mikroskopische Modelle versuchen mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen Tages- oder Wochenplä-

ne von (statistischen) Einzelpersonen abzubilden. Vor diesem Hintergrund sind insbesondere die Daten von Längsschnitterhebungen, wie dem Deutschen Mobilitätspanel, von wesentlicher Bedeutung. Mit den Paneldaten kann für eine längsschnittorientierte Mikrosimulation mittlerweile eine ausreichende Varianz des Verhaltens generiert werden. Durch das mikroskopische Vorgehen unter Zugrundelegung von Längsschnittdaten ergeben sich andere Anforderungen an das empirische Datenmaterial als bei makroskopischer Verkehrsnachfragemodellierung.“ (Wittwer 2008).

Das Deutsche Mobilitätspanel wurde im Jahr 2009 zum 16. Mal erhoben.¹⁰ Somit ist eine ausreichende Datenquantität vorhanden, um raumtypspezifische Auswertungen an einem längsschnittorientierten Datensatz durchzuführen und Datensätze im Hinblick auf Übertragbarkeit für die mikroskopische Modellierung zu untersuchen. Untersuchungen zum Verkehrsverhalten im Stadtverkehr (vgl. (Wittwer 2008)) auf Basis von MiD und SrV zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen Ortsgrößen und Tagesganglinien besteht. Die Überprüfung der Übertragbarkeit von Verhaltensdaten aus Längsschnitterhebungen nach verschiedenen Raumtypen, die für die Aufgabenstellung dieser Arbeit von Bedeutung ist, wird im Folgenden mit Hilfe der MOP-Daten durchgeführt.

3.2.2 Verhalten der Verkehrsteilnehmer

Um die Aktivitäten und Wege von Personen oder Personengruppen modellieren zu können, ist es notwendig das Verkehrsverhalten der Personen zu analysieren.

Nach SCHWARZMANN (Schwarzmann 1995), AXHAUSEN ET AL. (Eurotopp Consortium 1990) und LIPPS (Lipps 2001) können die Verkehrsteilnehmer in verschiedenen Verhaltensebenen reagieren, um ihre Entscheidungen zu beeinflussen oder ihr Verhalten an Gegebenheiten anzupassen:

- **Aktivitätenebene:**
Modifikation der Aktivitäten und Aktivitätenabfolge oder Umverteilung der Aktivitäten z.B. innerhalb der Familie
- **Zeitebene:**
Zeitliche Verschiebung der Aktivitäten
- **Modalwahlebene:**
Verwendung von verschiedenen Verkehrsmitteln

¹⁰ In dieser Arbeit werden die Daten der Jahre 1994 bis 2006 ausgewertet.

- Routenwahlebene:
Nutzung von alternativen Strecken
- Alle Ebenen:
Verzicht oder Generierung neuer Aktivitäten

Mit Hilfe der Auswertungen des Deutschen Mobilitätspanels konnte LIPPS (Lipps 2001) feststellen, dass bei Personen freie Zeitkapazitäten vorhanden sind und eine nur geringe Routinisierung des Verhaltens einer Person innerhalb einer Woche existiert. Personen haben unterschiedliche Aktivitätsrhythmen und die Zeitbudgets für Pflicht- und fakultative Aktivitäten weisen starke Variationen zwischen den Tagen auf. In Bezug auf die Raumtypisierung stellte LIPPS zwar fest, dass unter ceteris paribus-Bedingungen die Verkehrsverhaltensvariation eine untergeordnete Rolle spielt. Allerdings beinhalten die soziodemografischen Größen der berücksichtigten Personen raumstrukturelle Einflüsse, wie z. B. Pkw-Besitz und Verkehrsmittelpräferenzen.

AHRENS (Ahrens 2009) beschreibt als verhaltensbestimmende Merkmale für Mobilität Pkw-Verfügbarkeit, Alter, Gesundheit und Geschlecht sowie Berufstätigkeit, habitualisiertes Verhalten und Wohnstandort (vgl. Abbildung 7). Der Wohnstandort beinhaltet dabei auch Elemente der Raumstruktur.



Quelle: (Ahrens 2009)

Abbildung 7: Verkehrsverhaltensbestimmende Einflüsse

HERZ (Herz 1981) analysierte die KONTIV 1976 und stellte fest, dass Personen in Großstädten werktags länger unterwegs sind als in ländlichen Bereichen. Daneben haben Personen auf dem Land höhere Entfernungsbudgets als die Stadtbewohner, da dort größere räumliche Distanzen zu überwinden sind. Die Unterschiede, die dargestellt wurden, sind zum Teil jedoch nicht signifikant. Hingegen sind die verkehrsmittel-spezifischen Ortsveränderungen und der Außer-Haus-Anteil in den Raumtypen (Stadtbevölkerung und Landbevölkerung) signifikant unterschiedlich. Zusammenfas-

send stellte HERZ fest, dass die Unterschiede auch durch Merkmale des Aktionsraums erklärt werden, aber vielmehr noch durch die sozioökonomischen Merkmale der Personen. „Die regionalen Unterschiede ergeben sich in erster Linie aus ihrer unterschiedlichen sozioökonomischen Struktur. [...] Das Alltagsverhalten wird offenbar durch externe Regelungen und vorgegebene Verhaltensmuster soweit vorgeprägt, daß auf der analytischen Ebene von Personenaggregaten der Verhaltenseffekt des Umfeldes kaum mehr nachgewiesen werden kann.“ (Herz 1981). HERZ stellte weiter fest, dass die Verhaltensparameter von Personen auf verschiedene Raumtypen übertragbar sind, jedoch beim Außer-Haus-Anteil zwischen den Raumtypen unterschieden werden soll. Die restlichen Verkehrsverhaltensmerkmale unterschieden sich in den Personengruppen allerdings kaum.

ZUMKELLER UND SEITZ (Zumkeller & Seitz 1994) werteten die KONTIV '89 bezüglich Personengruppen und räumlicher Struktur aus. Als Personengruppen wurden Kinder unter zehn Jahre, Schüler bis 17 Jahre und Studierende, Erwerbstätige, Hausfrauen/ Hausmänner und Rentnerinnen/ Rentner jeweils mit und ohne Pkw definiert. Als Raumstruktur wurden die Stadttypen mit mehr als 100.000 Einwohnern mit U-/ S-Bahn, Trambahn und Bussen, Gemeinden zwischen 20.000 und 100.000 Einwohnern mit und ohne schienengebundenem ÖV und Gemeinden unter 20.000 Einwohnern mit und ohne schienengebundenem ÖV untersucht. Dabei konnte die These nicht verworfen werden, dass die Mobilität, die Anzahl der Wege und das Zeitbudget pro Personengruppe räumlich invariant sind. Bei der Analyse der Aktivitätenmuster je Personengruppe musste die These der räumlichen Invarianz bei den Studierenden verworfen werden. Das bedeutet, dass hier die Ortsspezifika berücksichtigt werden müssen. Daneben sind die Verkehrsmittelnutzung und die zurückgelegten Wegelängen räumlich variant.

SCHLICH (Schlich 2004) untersuchte die intrapersonelle Variabilität von Verkehrsverhalten anhand von Längsschnitterhebungen mit Clusteranalysen. Seine Berechnungen zeigen, „[...]“, dass man nicht mit einigen wenigen typischen Tagen das Verhalten der Personen ausreichend beschreiben kann, sondern erst mit 10 Tagestypen etwa 75 Prozent der Verhaltensvariabilität erfasst hat. Die Bildung von typischen Tagesprogrammen ist somit ein Werkzeug, mit dem sich nur bedingt die Vielfältigkeit des menschlichen Verhaltens abbilden lässt.“¹¹ Beim Versuch Personengruppen zu bilden, konnten zwar mittels einer Clusteruntersuchung Personengruppen identifiziert werden, die ähnliches Verkehrsverhalten aufweisen, allerdings keine ähnlichen soziodede-

¹¹ Tagestypen definiert SCHLICH als typische Aktivitätenmuster eines Tages für eine Person.

mografischen Eigenschaften besitzen. Hinsichtlich des Verkehrsverhaltens zusammengefasste Personengruppen besitzen demnach einen großen Anteil von Restvarianz.

Diese Untersuchungen bestätigen, dass die interpersonelle Varianz im Verkehrsverhalten beträchtlich ist. Durch die mikroskopische Modellierung wird es möglich, einzelne Individuen abzubilden und so die in der Realität vorhandene Verhaltensvarianz modelltechnisch abzubilden.

3.3 Verkehrsmodellierung

Die Grundlagen für die Verkehrsmodellierung wurden bereits in den 1950er Jahren geschaffen. PIRATH (Pirath 1949), KORTE (Korte 1958) und MÄCKE (Mäcke 1964) legten den Grundstein für modelltechnische Überlegungen in Deutschland. Modelle und empirische Daten als Grundlage und Kalibrierungsmittel stehen seit je her in engem Zusammenhang. So ging seit den 1960er Jahren Modellentwicklung mit der Erhebung der empirischen Daten einher. Die ersten Modelle waren makroskopischer Art. Nachdem zuerst bei der Nachfragemodellierung nur Relationen zwischen Zellen berücksichtigt wurden, wurden später Personen zu Gruppen zusammengefasst, denen ein ähnliches Verkehrsverhalten unterstellt wurde (Kutter 1972). In den letzten Jahrzehnten wurden zunehmend mikroskopische Modelle entwickelt, bei denen das Individuum im Mittelpunkt der Modellierung steht.

Analog ORTUZAR UND WILLUMSEN (Ortuzar & Willumsen 1990) kann die Art des Verkehrsmodells (makroskopisch oder mikroskopisch) nach dem Grad der Aggregation und dem Modellierungsgegenstand unterschieden werden. Während makroskopische Modelle verhaltenshomogene Gruppen als Aggregat modellieren, sind bei der mikroskopischen Modellierung Einzelpersonen der Modellierungsgegenstand. Daneben gibt es eine Unterscheidung zwischen den „Trip-based approaches“, den „Tour-based approaches“ und den „Activity-based approaches“ (vgl. (Timmermans & Arentze 2005)).

Makroskopische Modelle bestehen im Wesentlichen aus den vier Stufen Verkehrserzeugung, -verteilung, -aufteilung und -umlegung. Rückkopplungen zwischen den einzelnen Modellstufen sind derzeit Stand der Technik. Vereinfacht ausgedrückt arbeiten diese Modelltypen mit Wahrscheinlichkeiten des Eintretens von Aktivitäten verhaltenshomogener Gruppen. Eingangsgrößen sind dabei Erwartungswerte von Verhaltensweisen dieser Gruppen, die aus Erhebungen abgeleitet werden. Dabei gibt es

auch hier Unterschiede in den Eingangsgrößen: Während z. B. VISEM¹² mit Wegeketten arbeitet, werden in VENUS¹³ oder VISEVA¹⁴ Ausschnitte aus Wegeketten verwendet. In VISEVA, eines der gebräuchlichsten Modelle, werden diese Quell-Ziel-Gruppen (QZG) genannt. Dabei wird davon ausgegangen, dass Ortsveränderungen an einem Ort (Quelle) entstehen und an einem anderen Ort (Ziel) enden. QZG sind z. B. Wohnen-Arbeiten (W-A), Einkaufen-Wohnen (E-W) oder Arbeiten-Einkaufen (A-E). Grundsätzlich wird in drei QZG-Typen unterschieden: Der Heimatstandort ist die Quelle der Ortsveränderung (Typ 1), der Heimatstandort ist das Ziel der Ortsveränderung (2) und der Heimatstandort ist weder Quelle noch Ziel der Ortsveränderung (3). Es existieren derzeit verschiedene Einteilungen von QZG – gebräuchlich ist die Verwendung der 15er-Systematik (Schiller 2007).

Die mikroskopische Modellierung simuliert im Gegensatz zu den makroskopischen Ansätzen einzelne Individuen in einem Planungsraum über einen bestimmten Zeitraum.

Die Mikrosimulation in Deutschland auf Basis von Aktivitätsketten begann mit einer Modellanwendung im Rahmen der Generalverkehrsplanung in Nürnberg (Zumkeller & Poeck 1976). Die theoretischen Grundlagen dazu lieferte KUTTER (Kutter 1973). Anschließend entstand das Modell ORIENT (Sparmann 1980). Der Ansatz des Individualverhaltensmodells (SOLO) wurde durch ZUMKELLER (Zumkeller 1989) umgesetzt. mobiTopp (Schnittger & Zumkeller 2006) ist eine Weiterentwicklung eines Individualverhaltensmodells und wird am IfV angewendet und optimiert. Derzeit sind auch weitere mikroskopische Modelle im Einsatz, die von der TU Berlin und der ETH Zürich (MATSim) sowie vom DLR (TAPAS) entwickelt werden. Ebenso existieren mikroskopische Modelle im internationalen Raum wie z. B. PCATS (Kitamura et al. 2000), CEM-DAP (Bhat et al. 2004), ALBATROSS (Arentze & Timmermans 2000), SMART (Stopher et al. 1996) oder TASHA (Miller et al. 2005).

Die im deutschsprachigen Raum verwendeten mikroskopischen Modelle werden im Folgenden vorgestellt:

MATSim ist ein aktivitätenbasiertes Verkehrsmodell und arbeitet mit der Annahme, dass der Verkehr ein Nebenprodukt der menschlichen Aktivität ist und durchgeführt wird, um bestimmte Bedürfnisse zu befriedigen (Meister et al. 2010). Die Verkehrs-

¹² VISEM[®] ist ein Produkt der PTV AG, Karlsruhe.

¹³ VENUS[®] ist ein Produkt der IVV GmbH & Co. KG, Aachen.

¹⁴ VISEVA[®] ist ein Produkt der PTV AG, Karlsruhe.

nachfrage wird durch Agenten modelliert, die jeweils eine Person widerspiegeln und Entscheidungen über das individuelle Verhalten treffen. Dabei sind bei jedem Agenten Aktivitätenpläne hinterlegt. Diese Aktivitätenpläne werden in einem integrierten Verkehrsnachfrage- und Verkehrsflussmodell simuliert und solange iterativ verändert, bis ein Nash-Gleichgewicht im Verkehrsnetz herrscht. Die Veränderungen der Aktivitätenpläne und die daraus resultierende Veränderung der Widerstände im Verkehrsnetz werden in Form von Nutzenberechnungen bewertet.

Im Folgenden wird der Modellablauf beschrieben: Im Rahmen der Verkehrsentstehung wird eine künstliche Population (Alter, Geschlecht, Erwerbstätigkeit) mit Verkehrsmittelverfügbarkeit erzeugt. Anschließend werden die Aktivitätenketten und die typischen Aktivitätsdauern aus empirischen Erhebungen auf die Agenten gewichtet verteilt. Danach erfolgt mittels Monte-Carlo-Simulation die Zuordnung der sogenannten Primärstandorte Arbeit und Ausbildung zu den Agenten. Die sekundären Aktivitätsstandorte Freizeit und Einkaufen werden mit einer Nachbarschaftssuche ermittelt. Hierbei wird je nach Anzahl der sekundären Aktivitäten ein Kreis um den aktuellen Standort des Agenten gezogen und ein Ziel zufällig gewählt. Anschließend erhält jeder Agent einen Satz an Mobilitätswerkzeugen. Diese spiegeln die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln bzw. den ÖV-Zeitkartenbesitz wider. Auf dessen Basis wird ein Logit Modell zur Verkehrsmittelwahl aus empirischen Daten geschätzt und angewendet. Anschließend findet die Routenwahl im Verkehrsnetz statt. Das Modell wird konfiguriert mit Hilfe eines Zeitwahlmoduls, das die Aktivitätsdauern und Abfahrtszeiten variiert, und mit Hilfe eines Routenwahlmoduls, mit dem der kürzeste Weg zwischen Quelle und Ziel unter Berücksichtigung der zu dieser Zeit vorliegenden Widerstände im Verkehrsnetz (Dijkstra-Algorithmus) ermittelt wird. Nach einer Simulation des Verkehrsflusses im Netzmodell mit einem Warteschlangenmodell (first-in-first-out-Schlange) werden für jeden Agenten über eine Nutzenberechnung die realisierten Aktivitäten bewertet. Die Aktivitätenpläne aller Agenten werden solange iterativ verändert, bis ein Gleichgewichtszustand im System erreicht ist. Eine detaillierte Beschreibung ist in RANEY UND NAGEL (Raney & Nagel 2006) zu finden.

Ein weiteres mikroskopisches Modell ist TAPAS (Travel Activity Patterns Simulation), das vom DLR (vgl. (Cyganski & Justen 2007)) entwickelt wird. TAPAS beschäftigt sich mit der Abbildung der modellierten Personen, der Integration der räumlichen und zeitlichen Abfolge der Aktivitäten, der Ziel- und Verkehrsmittelwahl sowie der Abbildung der Wirkungen von Maßnahmen hinsichtlich zeitlicher und finanzieller Budgetrestriktionen. Bei der Erzeugung der synthetischen Population wird der Haushaltskontext gewahrt. Nach einer regelbasierten Generierung der Personen (aus Daten der

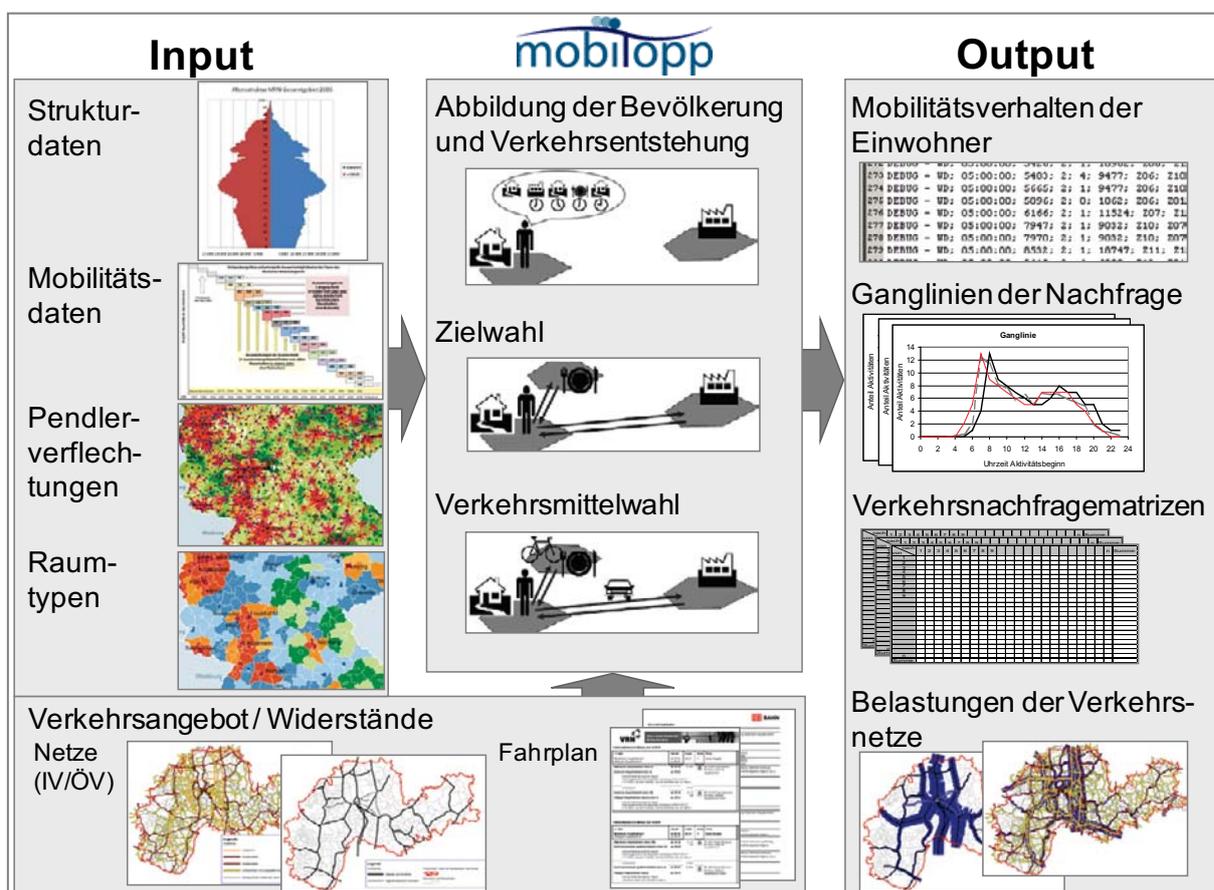
Meldeämter) mit Erwerbsstatus (aus Mikrozensus) werden diese zu Haushalten zusammengefasst, wobei hier verschiedene Annahmen bezüglich der Haushaltszusammensetzung zu Grunde liegen (z. B. Höchstalter der Mutter etc.). Nach der Zuordnung von Mobilitätswerkzeugen (aus MiD), des Einkommens (aus Mikrozensus) und der Mobilitätsbudgets (aus EVS) beginnt die räumliche Verteilung der Haushalte im Untersuchungsraum. Basierend auf Untersuchungen zur Zeitverwendung werden die Aktivitätenmuster der synthetisch generierten Personen mittels einer Kombination von Sequenz- und Clusteranalysen in Gruppen ähnlicher Aktivitätenmuster eingeteilt. Mit Hilfe einer Clusteranalyse werden Kategorien, sog. Tagebuchklassen, ermittelt, hinter denen verschiedene Aktivitätenpläne liegen. Diese Aktivitätenpläne werden dann der Bevölkerung, die in 32 Personengruppen unterteilt wurde, unter Verwendung von Wahrscheinlichkeiten zugeordnet. Anschließend wird die Zielwahl mit Hilfe eines Gelegenheitsmodells und die Verkehrsmittelwahl mit einem multinomialen Logit Ansatz ermittelt. In TAPAS wird versucht, diese beiden Schritte miteinander zu koppeln, um Wechselwirkungen abbilden zu können. Dabei werden sukzessiv zuerst für die höherwertigen Aktivitäten die Ziele und die Verkehrsmittel bestimmt. Im weiteren Verlauf werden anschließend in einem iterativen Prozess die Aktivitäten in der zweiten usw. Hierarchieebene unter Berücksichtigung der bereits bestimmten Ziele und Verkehrsmittel modelliert. Die erstellten Tagespläne mit der Ziel- und Verkehrsmittelwahl werden hinsichtlich der zeitlichen Durchführbarkeit und der Vereinbarkeit mit dem zeitlichen und finanziellen Budget überprüft. Falls „Verstöße“ bei mindestens einem der drei genannten Kriterien festgestellt werden, werden entweder die Tagespläne durch Anpassung der Start- oder Zielzeitpunkte bzw. Austausch des Aktivitätenplans verändert oder die Ziel- und Verkehrsmittelwahl modifiziert.

Der in der hier vorliegenden Arbeit verwendete Ansatz der Mikrosimulation beruht auf Arbeiten von ZUMKELLER (Zumkeller 1989), in denen das autonome individuelle Verkehrsverhalten als Ausgangspunkt der Verkehrsvorgänge betrachtet wurde. Dabei wurden die Wechselwirkungen zwischen der subjektiven Erfahrung des Einzelnen und der durch die Planung gestalteten Rahmenbedingungen (objektive Gegebenheiten) erforscht und modelliert. Zum einen fand dabei das Autonomieprinzip (Individuen reagieren autonom auf Rahmenbedingungen und Maßnahmen) und zum anderen das Querschnittprinzip (sozioökologische Zusammensetzung der Population) Anwendung. Intrapersonelle Zusammenhänge wurden analysiert, um auf Verhaltensänderungen zu schließen.

Am Institut für Verkehrswesen wurde ein Modellkonzept entwickelt, das empirische Daten des Deutschen Mobilitätspanels (vgl. Kapitel 3.2.1.3) nutzt. Hierbei handelt es

sich um ein integriertes raumplanerisches und verkehrstechnisches mikroskopisches Verkehrsnachfrage- und -ablaufsimulationsmodell (mobiTopp). Es werden neben den Daten des Deutschen Mobilitätspanels, aus dem die Aktivitätenmuster abgeleitet werden, raumstrukturelle Einflüsse, die soziodemografische Struktur der Bevölkerung (Einwohner nach Alter, Geschlecht, Erwerbstätigkeit, Haushaltsgröße und Pkw-Besitz) sowie Pendlerverflechtungen¹⁵ des Untersuchungsgebiets verwendet.

Die Hauptkomponenten des Modells sind in mikroskopischen Versionen an die klassischen vier Stufen des Vier-Stufen-Algorithmus angelehnt: Entstehung der Verkehrsnachfrage, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl. Alle Teile sind mikroskopisch miteinander verflochten, so dass sich ein in den genannten Diskretisierungsschritten unterteilter chronologischer Ablauf ergibt. Die Verknüpfung der Inputdaten mit der Verkehrsentstehung, Ziel- und Verkehrsmittelwahl zeigt Abbildung 8.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 8: Ablauf der mikroskopischen Nachfragesimulation in mobiTopp

¹⁵ Die Pendlerverflechtungen resultieren aus einer Anwendung eines Gelegenheitsmodells auf die Daten zum Wohn- und Erwerbort der Deutschen Bevölkerung der Bundesagentur für Arbeit (Bundesagentur für Arbeit 2006).

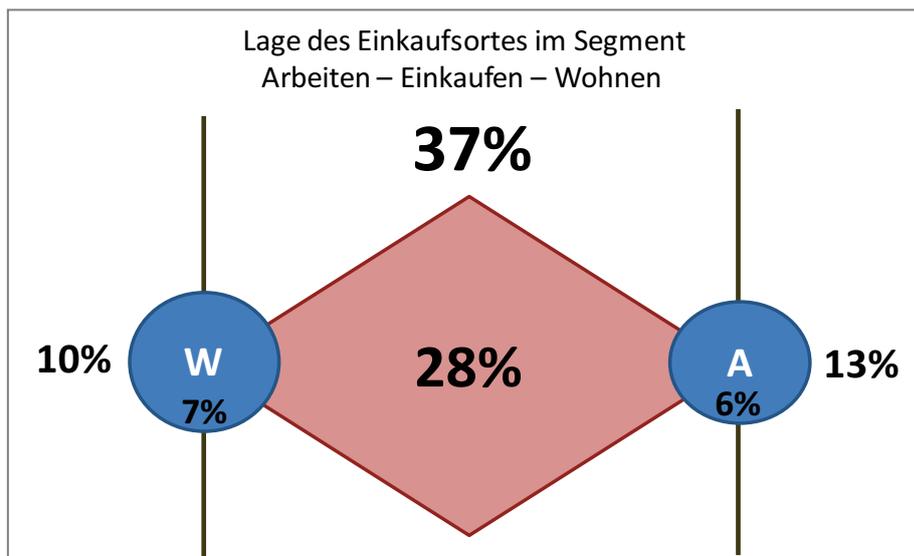
Im Einzelnen ergibt sich daraus folgender Ablauf:

Auf Basis der soziodemografischen Strukturdaten je Verkehrszelle wird eine synthetische Bevölkerung generiert. Dabei wird aus dem Deutschen Mobilitätspanel eine gezielte Unterstichprobe ermittelt. Die soziodemografische Struktur der Unterstichprobe entspricht im Rahmen einer Toleranz der der Bevölkerung je Verkehrszelle. Als Auswahlkriterien für die Unterstichprobe werden Raumtyp des Wohnortes, Größe kreuz Pkw-Besitz der Haushalte, Alter kreuz Geschlecht sowie Status der Erwerbstätigkeit der Personen verwendet.

In diesem Schritt wird auch bereits für den Arbeits- bzw. Ausbildungsort (= Pol¹⁶) einer Person eine Verkehrszelle gewählt. Die modellierte Wohnort-Arbeitsort-Relation entspricht im Aggregat den Randverteilungen der Statistik der Arbeitsagentur für den untersuchten Raum und den Pendelweiten der selektierten Personen aus dem MOP. Zu diesem Zeitpunkt der Simulation liegen für jede Verkehrszelle die synthetisierten Haushalte mit den darin lebenden Personen mit ihren soziodemografischen Eigenschaften, dem Wohnort, dem Arbeits- bzw. Ausbildungsort sowie ihrem Aktivitätenmuster mit Beginn, Ende und Zweck vor.

Nach dem Synthetisieren der Haushalte und Personen findet die Simulation der flexiblen Ziele (Freizeit, Einkauf, usw.) statt. Dabei wird die Verkehrsnachfrage im Minutentakt modelliert. Startet eine Aktivität einer Person, so wird ausgehend von deren Standort mittels eines Gelegenheitsmodells das Ziel unter Berücksichtigung des minimalen Widerstands jeder Quelle-Ziel-Relation je nach Verkehrsmittelverfügbarkeit der Person ermittelt. Hier steht ein gekoppeltes Verfahren zur Zielwahl von WASSMUTH (Waßmuth 2001) zur Verfügung, bei dem in die Auswahl eines flexiblen Ziels auch der Widerstand zum nächsten Pol (Arbeit oder Wohnen) eingeht, da die meisten flexiblen Ziele zwischen den Polzellen liegen (vgl. Abbildung 9). Die Zielwahl flexibler Ziele beinhaltet so eine gewisse Verteilungswahrscheinlichkeit zwischen den Polzellen, die empirisch belegt ist.

¹⁶ Ein Pol ist ein räumlicher Bezugspunkt einer Person. Neben der eigenen Wohnung werden Arbeits- oder Ausbildungsstätten regelmäßig von Personen aufgesucht und als Pol bezeichnet.



Quelle: Eigene Darstellung nach WASSMUTH (Waßmuth 2001)

Abbildung 9: Lage eines flexiblen Ziels in räumlichen Bereichen

Nach der Zielwahl findet die Verkehrsmittelwahlmodellierung statt. Hier wird ein multinomiales Logit Modell angewendet, das in der Regel auf Basis einer lokalen empirischen Erhebung geschätzt wird. Für jede aus der Zielwahl ermittelte Quelle-Ziel-Relation wird ein Verkehrsmittel modelliert, das der Person zum Zeitpunkt des Wegbeginns zur Verfügung steht. Das bedeutet z. B., dass eine Person, die keinen Führerschein besitzt, nicht als Pkw-Fahrer unterwegs sein kann oder eine Person, die sich ohne Pkw an einem aushäusigen Ziel befindet, nicht mit dem Pkw weiterfahren kann.

Nach diesen Schritten steht nun eine sogenannte Mikroliste zur Verfügung, in der neben den synthetisierten Haushalten und Personen mit ihren Eigenschaften auch die Aktivitäten jeweils mit Beginn und Ende sowie die Wege mit den jeweiligen Zielen und Verkehrsmitteln hinterlegt sind.

KUHNIMHOF (Kuhnimhof 2007) verfeinerte das mikroskopische Modellkonzept, indem er die Verkehrsnachfragesimulation über eine vollständige Woche ausdehnte und ermöglichte, neue Zusammenhänge bezüglich des Zeitbudgets zu modellieren und zu interpretieren. Dies bedingt die Abbildung eines längeren Zeitraums, da die individuelle Zeitverwendung von Tag zu Tag variiert. Dabei wurde nicht nur eine Differenzierung des Zeitbudgets über eine Woche, sondern auch die Ganglinien der Verkehrsnachfrage modelliert. Das Modell hat seine Stärke in der Abbildung der Varianz und Stabilität der Verkehrsmittelwahl. Mit Hilfe dieses Modells werden mikroskopisch multimodale und monomodale Personen und Personengruppen abgebildet. Somit können Verkehrsmittelnutzerkreise und Nutzungshäufigkeiten zuverlässig analysiert werden.

MANZ (Manz 2005) entwickelte ein mikroskopisches Fernverkehrsmodell, das den zeitlichen Längsschnitt berücksichtigt. Der Modellzeitraum erstreckt sich über ein Jahr, da die Fernverkehrsereignisse¹⁷ einer sehr großen Variabilität unterliegen und eher seltene Ereignisse darstellen. Das modulare Konzept der mikroskopischen Simulation der Fernverkehrsnachfrage besteht aus sieben Modulen. Im ersten Modul zur Haushalts- und Personengenerierung finden soziodemografische Daten der zu simulierenden Personen und regionale Spezifika der zu modellierenden Gemeinden Einfluss. Im zweiten Modul „Reisehäufigkeiten“ werden, aufbauend auf den Haushalts- und Personendaten, alle Fernreisen für ein vollständiges Kalenderjahr für die Personen modelliert. Das dritte Modul „Fernreisetypen“ unterteilt die Reisen nach In- und Ausland, Anzahl der Übernachtungen und Art der Reise, wie Pauschal-/ Gruppenreise oder private Reise. Im vierten Modul „Saisonalität“ werden dann die Reisen im Jahreszyklus modelliert. Nach dem fünften Modul „Reiseeigenschaften“, das die Anzahl der Mitreisenden, die Anzahl der Etappen der Reise, die Reiseunterbrechungen, die Ausflüge am Reiseziel und die Gepäckmitnahme beinhaltet, werden mit Hilfe eines erweiterten Zielwahlmodells im sechsten Modul die Ziele der Reisen der generierten Personen bestimmt. Abschließend wird im siebten Modul „Verkehrsmittelwahl“ mit Hilfe eines Logit Modells das Verkehrsmittel der Reise modelliert.

Diese hier beschriebenen mikroskopischen Modelle ermitteln den Alltagsverkehr der Personen in einem abgegrenzten Planungsraum oder Fernverkehrsreisen. „Die anhaltenden Zersiedelungstendenzen bzw. die flächenhafte Ausdehnung der Städte und Stadtregionen und die damit verbundenen verkehrlichen Wirkungen erfordern es jedoch zunehmend, das Umland eines Planungsgebietes in Modellierungsaufgaben detailliert abzubilden.“ (Wittwer 2008). Für eine gesamtheitliche mikroskopische Modellierung der Verkehrsnachfrage eines Planungsraums sind dafür die Verkehre der Nicht-Einwohner des Planungsraums von essentieller Bedeutung. Modelle, die auf mikroskopische Art die vollständigen Verkehre abbilden, die in einem Planungsraum von den Nicht-Einwohnern durchgeführt werden, existieren derzeit nicht.

Bei der Anwendung von mikroskopischen Modellen wurden bisher die Verkehre der Nicht-Einwohner entweder extern aus makroskopischen Untersuchungen oder aus Kordonzählungen zugespielt. Diese Abbildung der Verkehre der Einwohner der Außenzellen ist nicht mikroskopisch und im Falle der Kordonzählung nur möglich, wenn die räumliche Ausdehnung des Planungsraums nicht allzu groß ist. Als weitere Möglichkeit wurden im Rahmen einer mikroskopischen Simulation die Einwohner der Au-

¹⁷ Fernreisen sind definiert als Fahrten mit einer Netzentfernung von mindestens 100 km.

ßenzellen solange in ihrer Quantität variiert, bis die Einfahrquerschnitte an den Grenzen des Planungsraums mit Zählwerten übereinstimmen (Schnittger 2007). Diese bisher genannten Methoden beinhalten keine Kausalität hinsichtlich der Prognosefähigkeit und Maßnahmensensitivität von Verkehrsmodellen, die zur Beurteilung von zukünftigen Entwicklungen oder zur Evaluierung von Maßnahmen dienen.

Eine Modellierung des Mobilitätsverhaltens sämtlicher Einwohner der Außenzellen übersteigt meist die Leistungsfähigkeit der Computerhardware und ist darüber hinaus nicht erforderlich, da viele Wege simuliert werden, die für den Planungsraum nicht von Interesse sind. Für eine ganzheitliche mikroskopische Nachfragemodellierung ist es daher zielführender, ein Verfahren zu entwickeln, das nur die den Planungsraum betreffenden Verkehre der Nicht-Einwohner des Planungsraums modelltechnisch abbildet.

4 Übertragbarkeit von Individualverhaltensdaten

Bei der in dieser Arbeit verwendeten mikroskopischen Modellierung der Verkehrsnachfrage werden empirisch erhobene Individualverhaltensdaten synthetisch generierten Personen zugeordnet, die ähnliche soziodemografische Strukturen aufweisen. Da für die Modellierung der Einwohner der Außenzellen meist keine empirisch erhobenen Wegeketten vorhanden sind, ist es notwendig, Mobilitätsstrukturen zu übertragen.

Mit dem Deutschen Mobilitätspanel liegen empirische Daten über das Mobilitätsverhalten der deutschen Bevölkerung vor. Die Modellierung der Einwohner der Außenzellen in dieser Arbeit sieht vor, Aktivitätenketten von Einwohnern aus vergleichbaren Räumen aus dem Deutschen Mobilitätspanel zu übernehmen. In diesen Daten sind Informationen über Raumtypisierungen enthalten, in denen sich die Haushalte der Personen befinden.

4.1 Raumtypisierung

Mit den in Kapitel 3.1 erläuterten Raumtypisierungen wird im Folgenden überprüft, inwieweit Individualverhaltensdaten wie Aktivitätenmuster und andere Mobilitätskennwerte im Raum übertragbar sind. Dabei werden die Raumtypisierungen nach

- BIK (10er Systematik der Regionsgrößenklassen) und
- BBR (Siedlungsstruktureller Kreistyp)

verwendet.

Die BIK-Typisierung gibt nicht nur die Größe einer Gemeinde selbst an, sondern orientiert sich an der Menge der Bevölkerung des Raums und den Pendlerverflechtungen. Dabei wird der Strukturtyp der Gemeinde (SGTYP) berücksichtigt.¹⁸

Die 10 verschiedenen BIK-Regionsgrößenklassen sind in Tabelle 1 zu sehen:

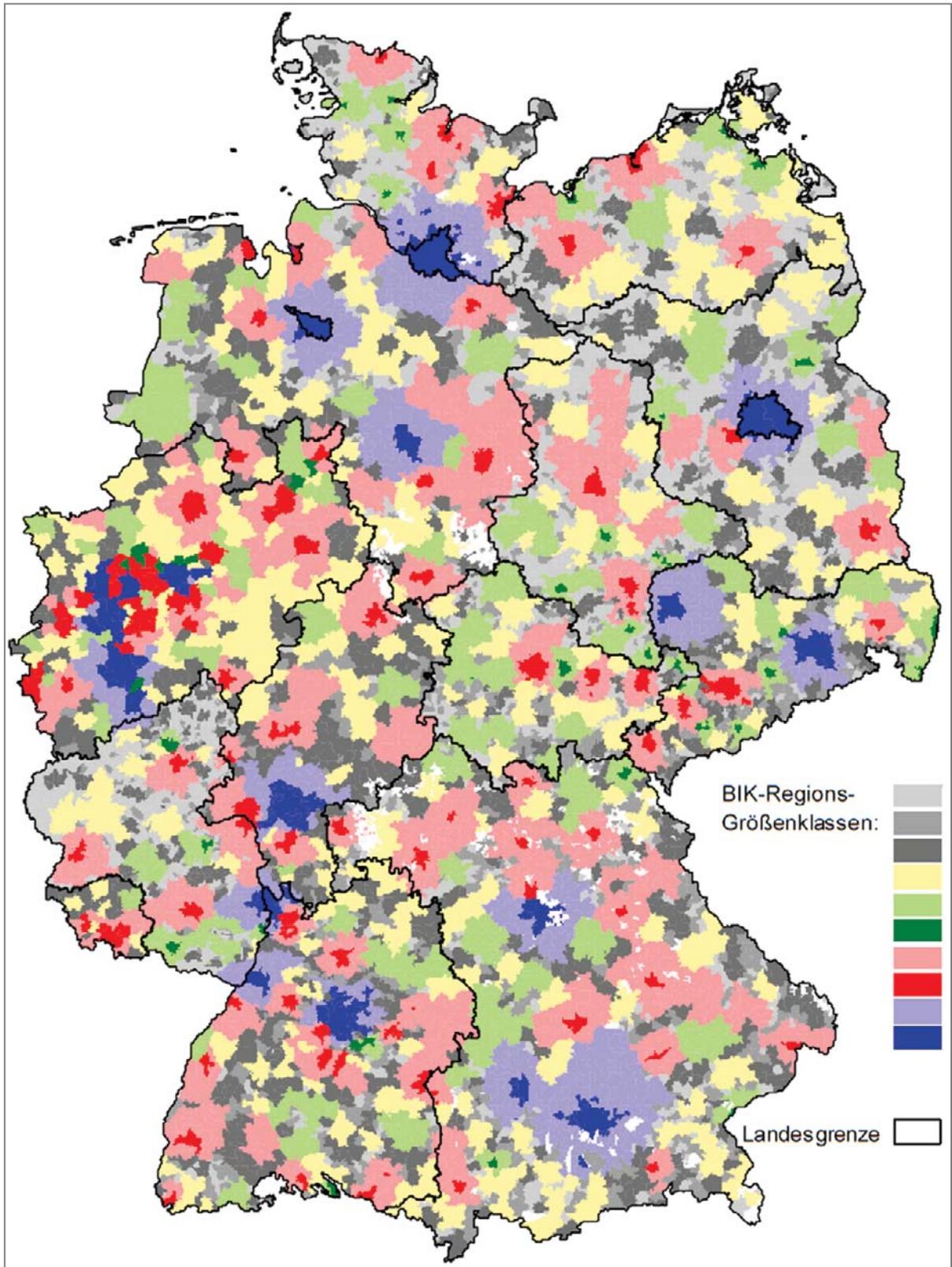
¹⁸ Es wird unterschieden in: Kernbereich, Verdichtungsbereich, Übergangsbereich, Peripherer Bereich

BIK	Gemeindegröße (Regionsgrößenklasse) BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einwohner
2	2.000 bis unter 5.000 Einwohner
3	5.000 bis unter 20.000 Einwohner
4	20.000 bis unter 50.000 Einwohner
5	50.000 bis unter 100.000 Einwohner + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einwohner + SGTyp 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einwohner + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einwohner + SGTyp 1 (Ortskern)
9	500.000 Einwohner und mehr + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einwohner und mehr + SGTyp 1 (Ortskern)

Quelle: Eigene Darstellung nach (BIK Aschpurwis + Behrens GmbH 2001)

Tabelle 1: BIK-Regionen: Nomenklatur der Regionsgrößenklassen

In Abbildung 10 sind die Regionsgrößenklassen grafisch für Deutschland dargestellt:



Quelle: (BIK Aschpurwis + Behrens GmbH 2001)

Abbildung 10: Raumtypisierung nach BIK – Regionsgrößenklassen

Die Typisierung nach Siedlungsstrukturellen Kreistypen des BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) beinhaltet die Auflösung auf Kreisebene, da diese räumliche Einheit zur Darstellung von intraregionalen Raumstrukturen geeignet ist (Bucher et al. 2006). Dabei wird unterschieden in

- Agglomerationsräume (4 Klassen),
- Verstädterte Räume (3 Klassen) und
- Ländliche Räume (2 Klassen).

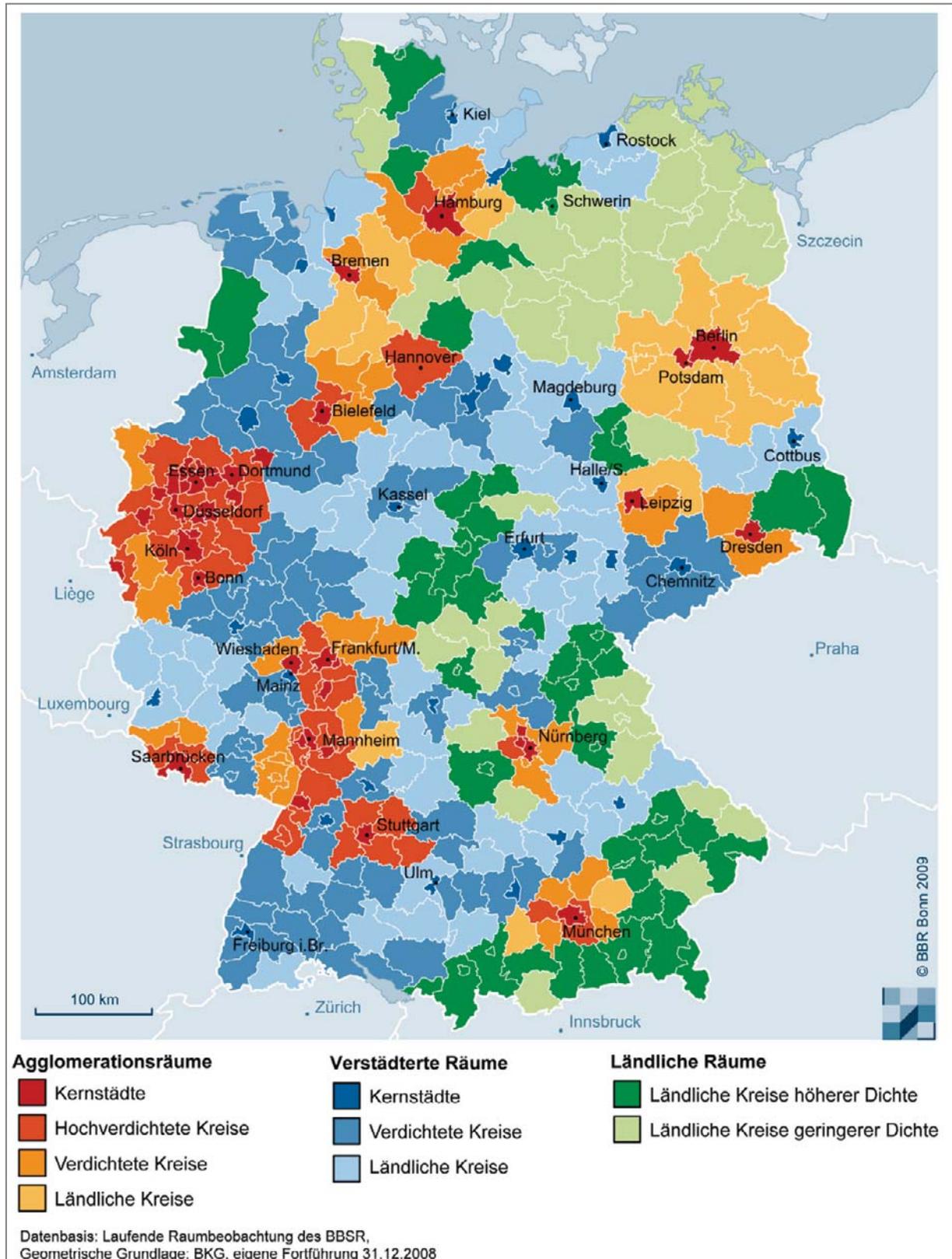
In Tabelle 2 ist die Klassifizierung zu sehen:

BBR	Gemeindegröße (Siedlungsstruktureller Kreistyp) BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

Quelle: Eigene Darstellung nach (BBR 2009)

Tabelle 2: BBR-Regionen: Nomenklatur der Siedlungsstrukturellen Kreistypen

Abbildung 11 zeigt die Einteilung der Kreise in Deutschland nach Siedlungsstrukturellen Kreistypen:



Quelle: (BBR 2009)

Abbildung 11: Raumtypisierung nach BBR – Siedlungsstrukturelle Kreistypen

4.2 Analyse von Mobilitätskennziffern in unterschiedlicher Raumtypisierung

Aus den jährlichen Erhebungen zum Deutschen Mobilitätspanel (Deutsches Mobilitätspanel 2007) stehen Daten über ca. 140.000 berichtete Personentage von 20.150 Personen aus 10.850 Haushalten zur Verfügung, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Mobilitätskennwerte in unterschiedlichen Raumtypisierungen untersucht werden.¹⁹

Obwohl in den Daten des Deutschen Mobilitätspanels die Wege über 100 km Entfernung nur einen geringen Prozentsatz von 1,3% aufwiesen²⁰ und ggf. spezielle Auswertungen verfälschen können, wurden diese dennoch in den Auswertungen beibehalten, da Wege über 100 km eine Aussagekraft bezüglich der räumlichen Struktur haben. So sind in ländlichen Gebieten zum Teil Fahrten mit einer Distanz von mehr als 100 km notwendig, um in einen Ballungsraum zu gelangen, z. B. für spezielle Einkäufe oder für kulturelle Freizeitaktivitäten.

Zur Auswertung der Mobilitätskennziffern auf

- Haushalts-,
- Personen- und
- Wegeebene

wurden die empirischen Daten der Jahrgänge 1994 bis 2006 zu einem Datensatz zusammengefasst und hinsichtlich der in Kap. 4.1 beschriebenen Raumtypisierung ausgewertet.

Ziel dieser Auswertungen ist es, festzustellen inwieweit sich das Verkehrsverhalten der Einwohner bestimmter Raumtypen unterscheidet bzw. ähnlich ist, um daraus abzuleiten, ob Verkehrsverhaltensmuster auf vergleichbare Raumtypen übertragbar sind.

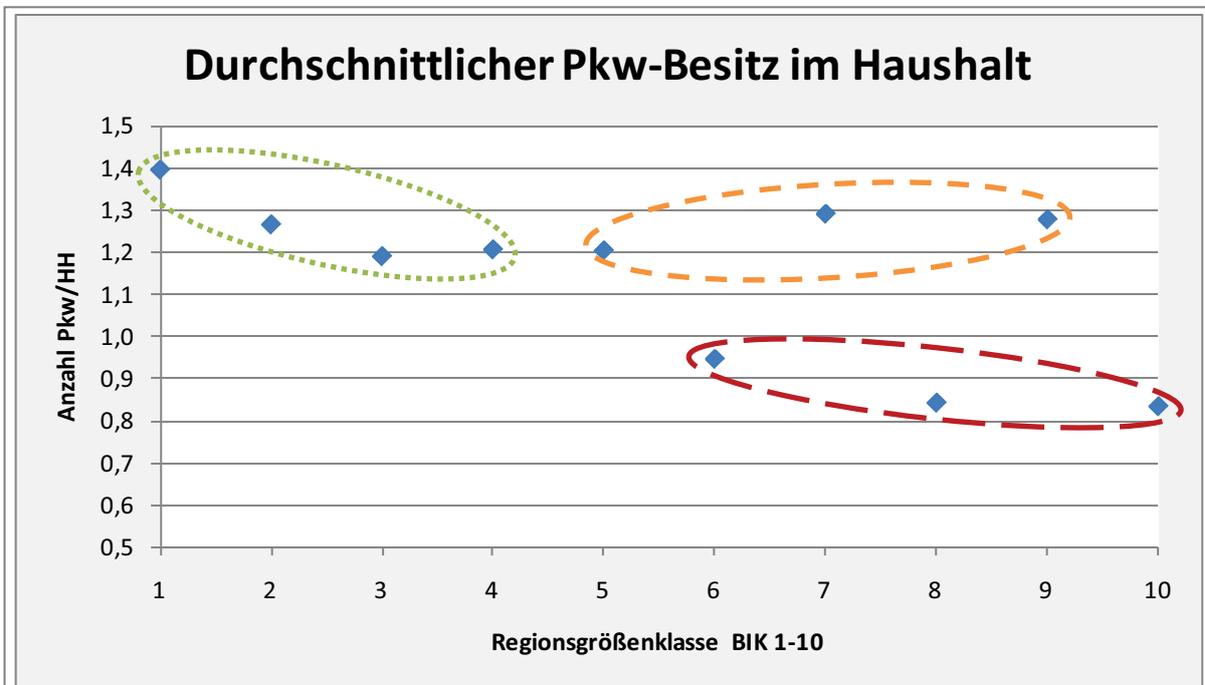
Zur besseren Lesbarkeit sind in den folgenden Auswertungen teilweise farbige Markierungen enthalten.

¹⁹ Diese Zahlenangaben beziehen sich auf die Jahre 1994-2006.

²⁰ Vgl. dazu (Manz 2005)

4.2.1 Auswertungen auf Haushaltsebene

Auf Haushaltsebene wird der Pkw-Besitz in den Raumtypisierungen ausgewertet, der eine mobilitätsrelevante Eigenschaft eines Haushalts darstellt. Diagramm 1 zeigt den durchschnittlichen Pkw-Besitz untergliedert nach den BIK-Raumtypen.



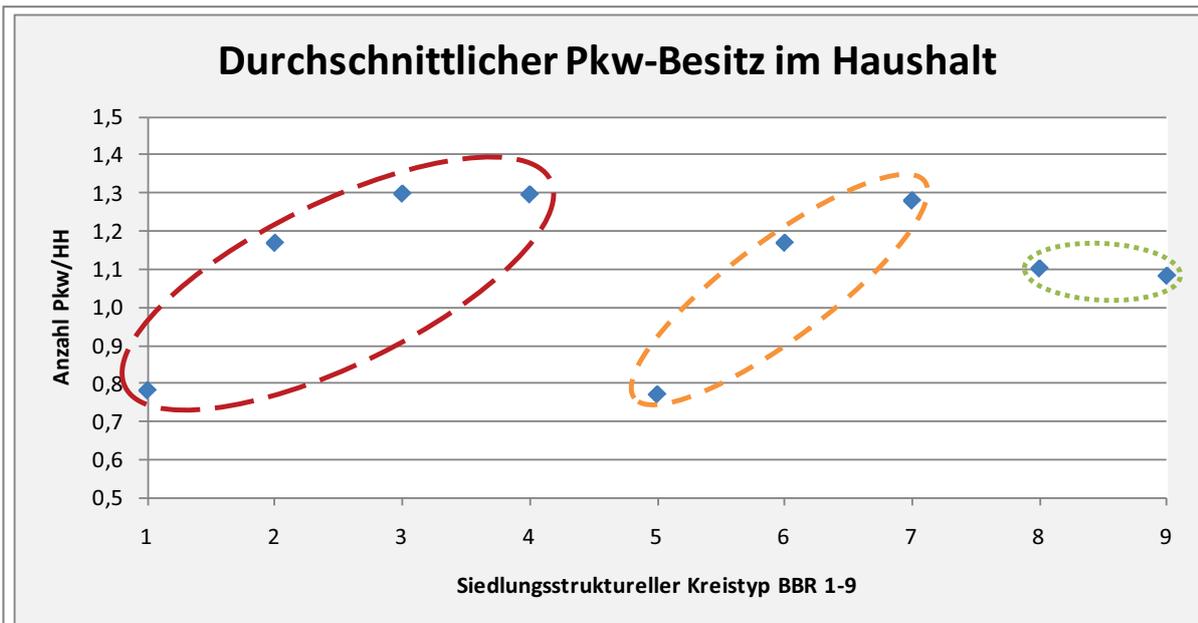
Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 1 (Ortskern)

Diagramm 1: Durchschnittlicher Pkw-Besitz nach Raumtypisierung: BIK

Hier zeigt sich zum einen, dass der Pkw-Besitz abnimmt, je größer eine Gemeinde ist (BIK-Typen 1 bis 4 sowie 6, 8 und 10). Zum anderen wird aber deutlich, dass sich die Lage der Wohnung und der Pkw-Besitz beeinflussen. Der Pkw-Besitz von Haushalten, die am Ortsrand von Gemeinden über 50.000 Einwohner wohnen, ist höher als bei denen im Ortskern. Während der Pkw-Besitz von Haushalten, die in Gemeinden zwi-

schen 50.000 und 100.000 Einwohner am Ortsrand wohnen (BIK 5), geringer ist als bei Haushalten in Gemeinden am Ortsrand mit mehr als 100.000 Einwohnern (BIK 7 und 9), ist der Pkw-Besitz bei Gemeinden zwischen 50.000 und 100.000 Einwohner am Ortskern (BIK 6) höher als bei Haushalten in Gemeinden am Ortskern mit mehr als 100.000 Einwohnern (BIK 8 und 10). Der Pkw-Besitz in Haushalten innerhalb der Raumtypen BIK 7 und 9 (mehr als 100.000 Einwohner am Ortsrand) und der Raumtypen BIK 8 und 10 (mehr als 100.000 Einwohner im Ortskern) ist ähnlich.



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

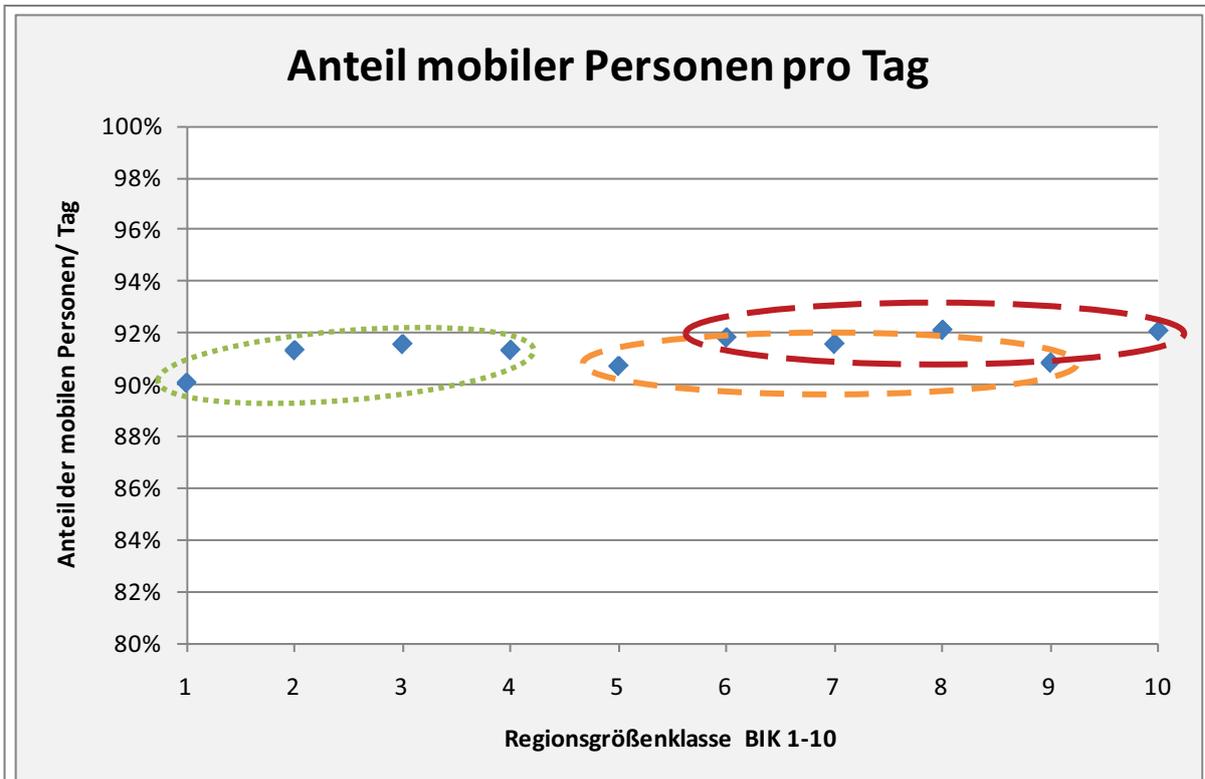
Diagramm 2: Durchschnittlicher Pkw-Besitz nach Raumtypisierung: BBR

Bei der Auswertung des Pkw-Besitzes in der Raumtypisierung nach BBR zeigt sich ein ähnliches Bild: Je ländlicher die Kreise bezogen auf die Siedlungsstruktur (BBR-Kreistyp 1 bis 4 und 5 bis 7) sind, desto größer ist der Pkw-Besitz der Haushalte. Bei Ländlichen Kreisen außerhalb von Agglomerations- und Verstädterten Räumen ist der Pkw-Besitz vom Raumtyp nahezu unabhängig.

4.2.2 Auswertungen auf Personenebene

Als Mobilitätskenngrößen, die auf Personenebene wirken, werden der Anteil der mobilen Personen, die durchschnittliche Anzahl der Wege pro Person, die Verkehrsleistung und das Verkehrszeitbudget in den o.g. Raumtypisierungen betrachtet.

4.2.2.1 Mobile Personen



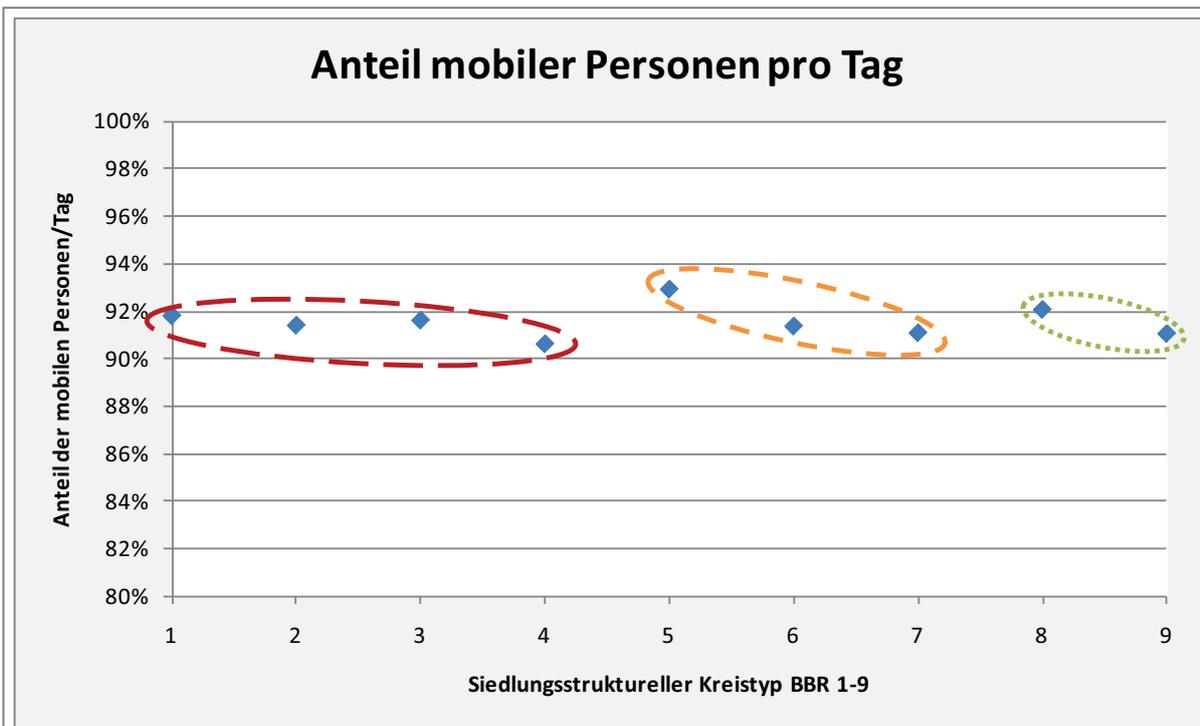
Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 1 (Ortskern)

Diagramm 3: Durchschnittlicher Anteil mobiler Personen nach Raumtypisierung: BIK

Als mobile Personen werden die Personen betrachtet, die an einem Tag mindestens ein Mal das Haus verlassen. Der Mittelwert des Anteils der mobilen Personen pro Tag

über alle Raumtypen liegt in den MOP-Daten des Jahres 1994 bis 2006 bei 92%. In Diagramm 3 ist zu sehen, dass der Anteil der mobilen Personen differenziert nach der BIK-Raumtypisierung relativ ähnlich ist, wobei tendenziell festzustellen ist, dass je größer die Gemeinde ist, der Anteil der mobilen Personen zunimmt. Des Weiteren ist zu konstatieren, dass der Anteil der mobilen Personen, die am Ortsrand einer großen Gemeinde leben, geringer ist, als der im Ortskern lebenden Personen.



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

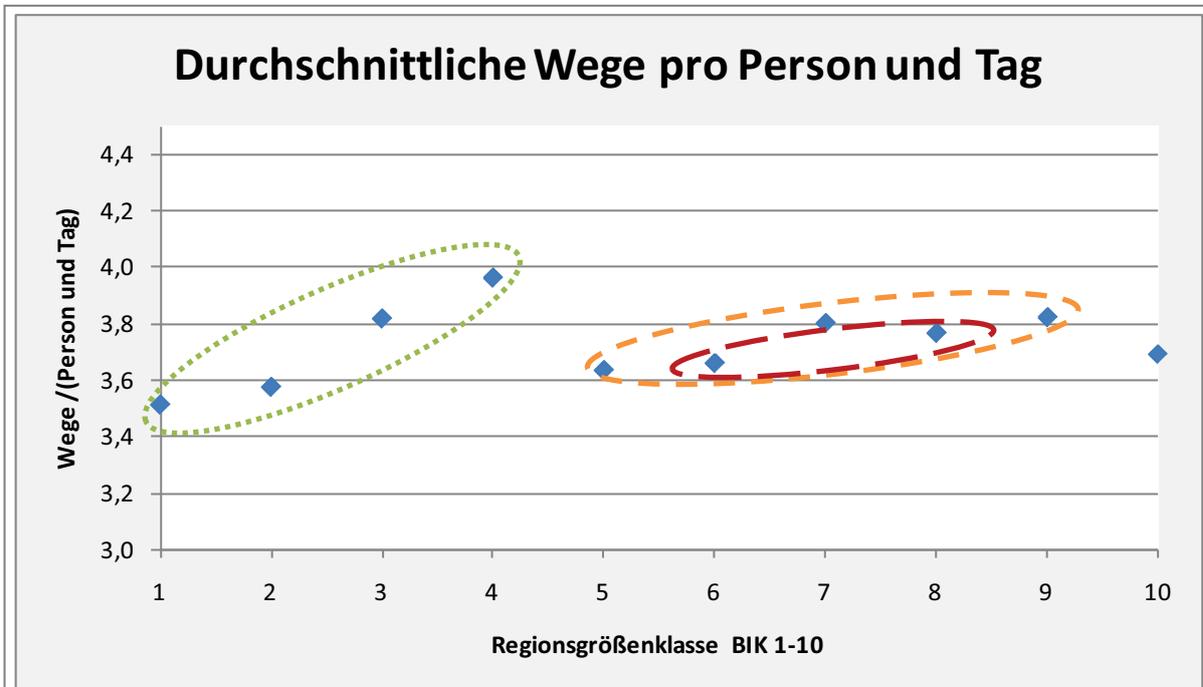
BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

Diagramm 4: Durchschnittlicher Anteil mobiler Personen nach Raumtypisierung: BBR

Bei der Raumtypisierung nach BBR-Kreistypen ist ein deutlicherer Unterschied beim Anteil der mobilen Personen als bei der Raumtypisierung nach BIK festzustellen. Hier ist, unterschieden nach der Siedlungsstruktur, innerhalb der Agglomerationsräume

(BBR-Typ 1 bis 4), der Verstäderten Räume (BBR-Typ 5 bis 7) und der Ländlichen Kreise (höherer (BBR-Typ 9) und geringerer Dichte (BBR-Typ 10)) festzustellen, dass je ländlicher ein Kreis ist, der Anteil der mobilen Personen pro Tag abnimmt.

4.2.2.2 Wegezanzahl



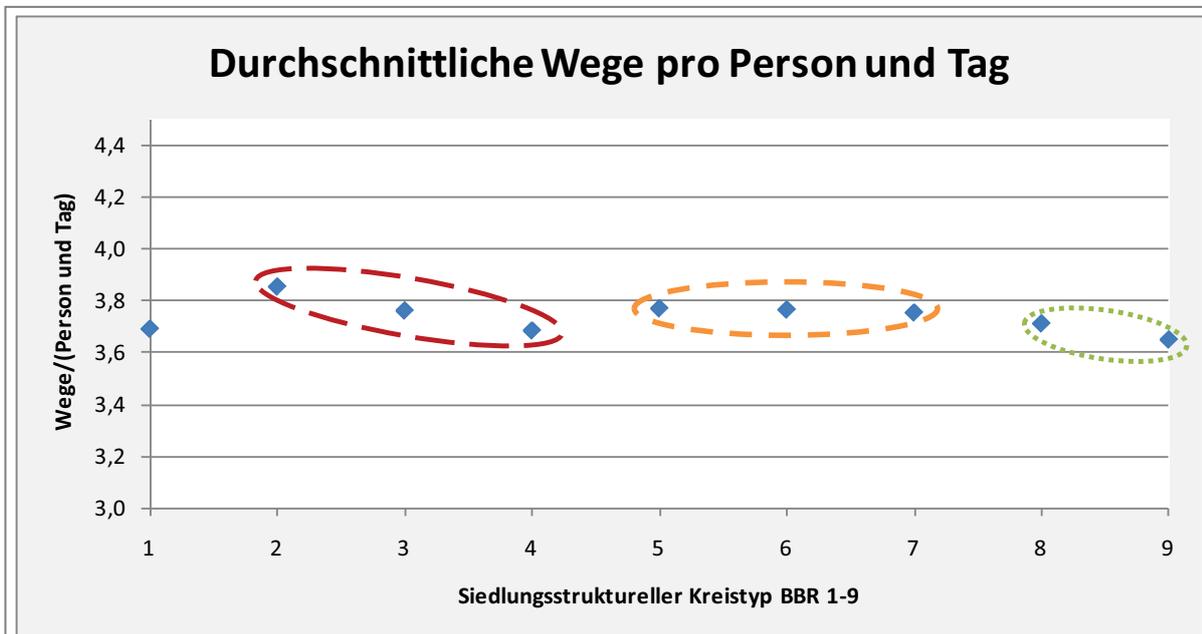
Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 1 (Ortskern)

Diagramm 5: Durchschnittliche Wegezanzahl nach Raumtypisierung: BIK

Die durchschnittliche Anzahl der Wege pro Person nimmt mit der Größe der Gemeinde, in der die Personen leben, zu (vgl. Diagramm 5). Dabei ist aber wiederum ein Unterschied bei den Personen festzustellen, die in den Gemeinden bis 50.000 Einwohnern (BIK-Typ: 1 bis 4), in größeren Gemeinden am Ortsrand (BIK-Typen: 5, 7 und 9) und im Ortskern (BIK-Typen: 6, und 8) leben. Ausnahme ist der BIK-Typ 10 (Ortskern

von Gemeinden über 500.000 Einwohnern). Dort nimmt die Wegeanzahl im Vergleich zum BIK-Typ 8 (Ortskern von Gemeinden von 100.000 bis 500.000 Einwohnern) wieder leicht ab.



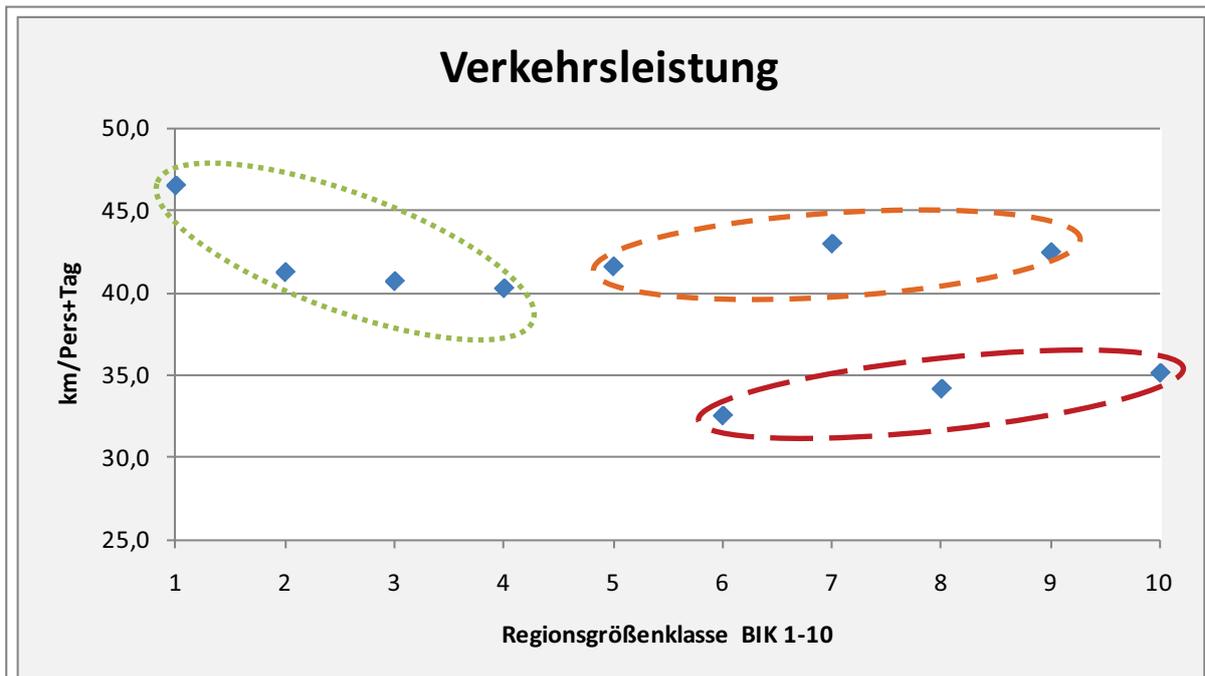
Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

Diagramm 6: Durchschnittliche Wegeanzahl nach Raumtypisierung: BBR

Bei der Auswertung der durchschnittlichen Wegeanzahl pro Person und Tag nach BBR-Typen (Diagramm 6) ist eine leichte Tendenz hin zu einer geringeren Wegeanzahl festzustellen, je ländlicher die Kreise sind, in denen die Personen wohnen. Ausnahme dabei ist aber der Siedlungsstrukturelle Kreistyp 1 (Kernstädte in Agglomerationsräumen), bei dem die durchschnittliche Anzahl der Wege im unteren Niveau liegt. Grundsätzlich ist jedoch die Streuung in den einzelnen BBR-Typisierungen relativ gering, so dass hier keine großen Unterschiede festzustellen sind.

4.2.2.3 Verkehrsleistung

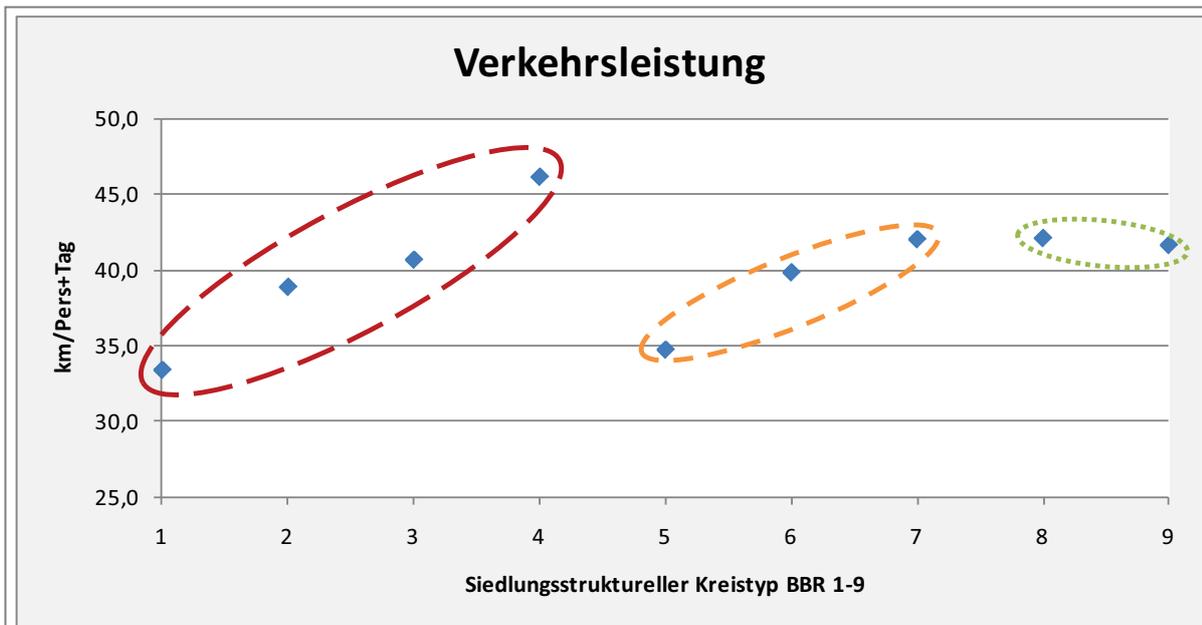


Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 1 (Ortskern)

Diagramm 7: Durchschnittliche Verkehrsleistung nach Raumtypisierung: BIK

Bei der Auswertung der Verkehrsleistung (zurückgelegte km pro Person und Tag) in der BIK-Raumtypisierung (Diagramm 7) kann in den BIK-Typen 1 bis 4 abgelesen werden, dass je größer bzw. zentraler eine Gemeinde ist bzw. liegt, die Verkehrsleistung sinkt. BIK-Typen, die am Ortsrand von größeren Städten bzw. Ballungszentren liegen (Typen 5, 7 und 9), haben im Vergleich zu den Kernstädten (BIK-Typen 6, 8 und 10) eine höhere Verkehrsleistung. Die Ursache ist darin begründet, dass in den Ortskernen die Ziele der Wege nicht so weit entfernt liegen und somit weniger Entfernung zurückzulegen ist, um die Aktivitäten zu erledigen.



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

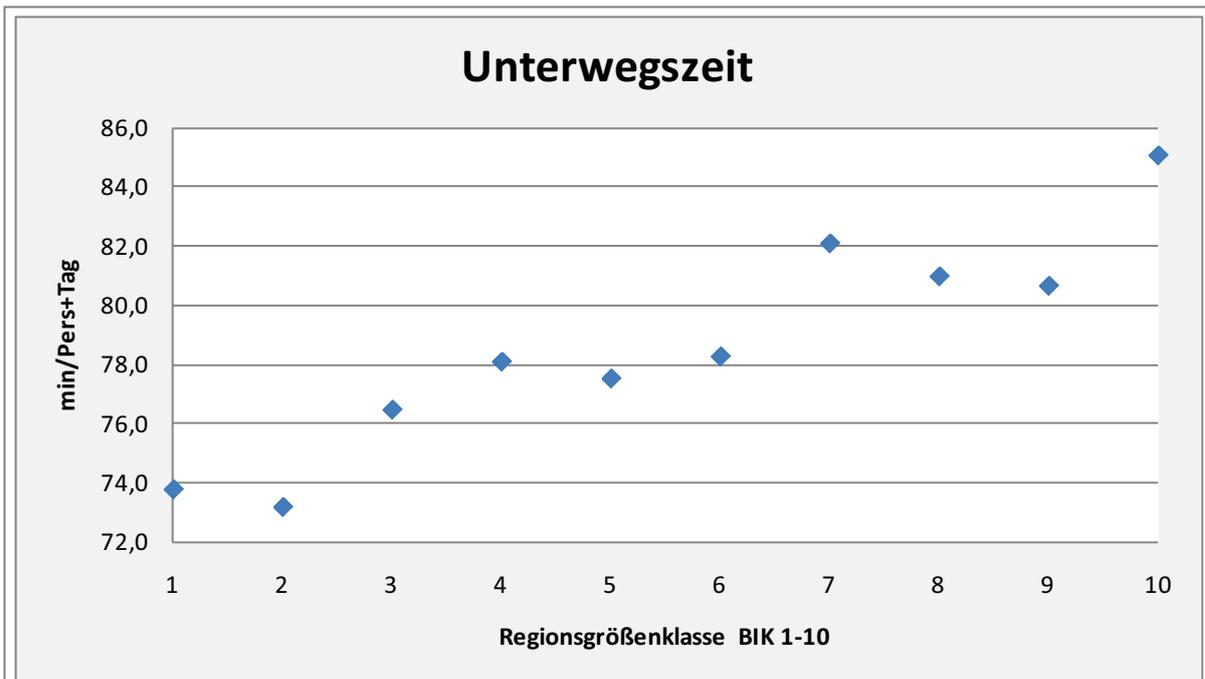
BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstäderten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstäderten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstäderten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

Diagramm 8: Durchschnittliche Verkehrsleistung nach Raumtypisierung: BBR

Die Auswertung der Verkehrsleistung nach BBR-Typisierung bestätigt, dass je zentraler der Wohnstandort liegt, desto geringer ist die Verkehrsleistung. In Diagramm 8 ist auch zu sehen, dass die Abweichung der Mittelwerte der einzelnen BBR-Typen mit -6,2 km/ Pers. u. Tag bzw. +7,7 km/ Pers. u. Tag im Vergleich zum Mittelwert (Streuung 13,9 km/ Pers. u. Tag) über alle Raumtypen (38,8 km/ Pers. u. Tag) relativ groß ist.

4.2.2.4 Unterwegszeit

Die Unterwegszeit pro Person und Tag, die im Mittel in Deutschland über die letzten Jahre konstant bei ca. 80 Minuten liegt (Zumkeller et al. 2007), weist über die einzelnen BIK-Regionsgrößenklassen (Diagramm 9) eine Streuung von fast 12 min/ Person und Tag auf. Tendenziell geht eine längere Unterwegszeit mit der zunehmenden Größe der Gemeinde einher. Ein Unterschied zwischen Ortskern und Ortsrand ist nicht eindeutig zu identifizieren.

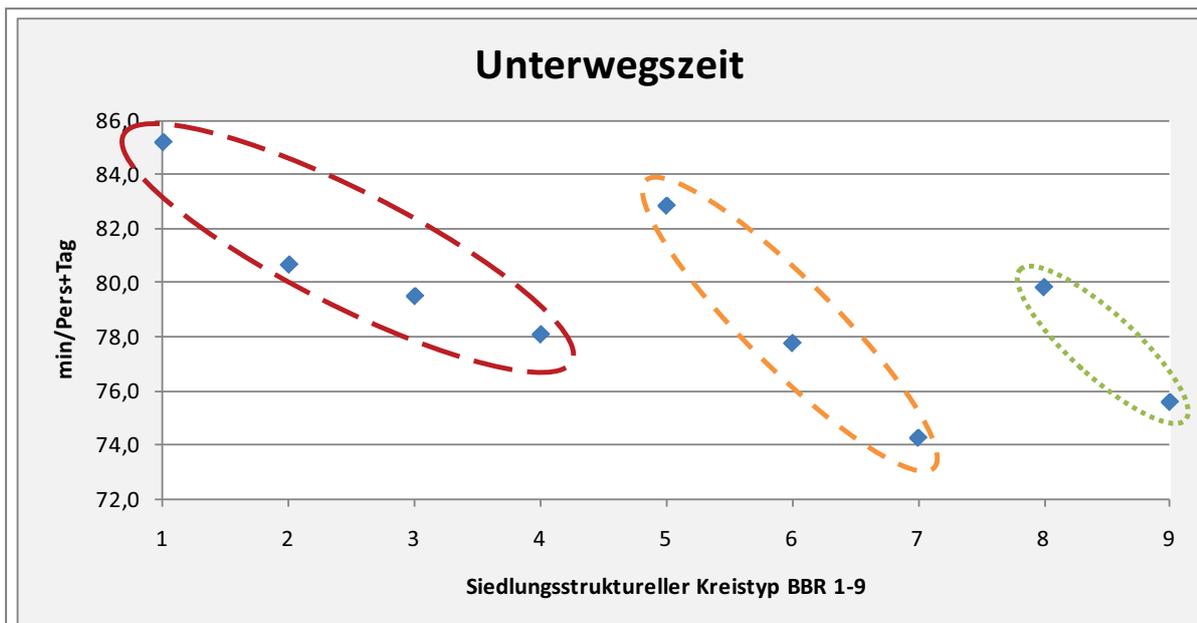


Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 1 (Ortskern)

Diagramm 9: Unterwegszeit pro Person nach Raumtypisierung: BIK

Deutlicher zeigt sich im Diagramm 10, dass die Unterwegszeit pro Person und Tag kleiner wird, je ländlicher ein Kreis ist.



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstäderten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstäderten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstäderten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

Diagramm 10: Unterwegszeit pro Person nach Raumtypisierung: BBR

Diese Auswertungen zeigen, dass Unterschiede im Verkehrsverhalten der Personen existieren, die ihren Wohnstandort in unterschiedlichen Raumtypen haben.

4.2.3 Auswertungen auf Wegeebene

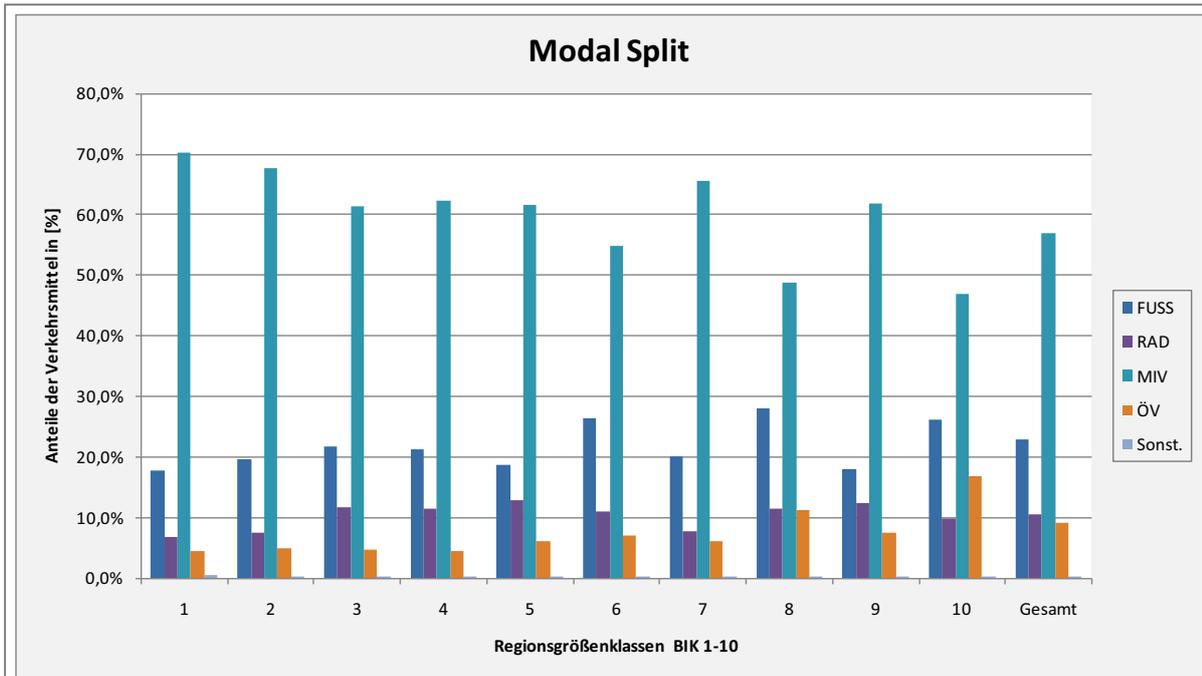
Im Folgenden werden die berichteten Wege im MOP hinsichtlich der Raumtypisierung und des Modal Splits, der Wegedauer und der Wegelängen ausgewertet. Dabei werden statistische Untersuchungen bezüglich der Signifikanz der Unterschiede zwischen den Raumtypen durchgeführt.

4.2.3.1 Modal Split

Wie zu erwarten war, ergibt die Auswertung des Modal Splits (Diagramm 11), dass der ÖV die größeren Modal-Split-Anteile in den Kernen der Ballungsräume erreicht (BIK-Typisierung: 8 (11%) und 10 (ca. 16%)). Der ÖV-Anteil liegt am Ortsrand von Ballungsräumen zwischen 6% und 7% und in Gemeinden mit weniger als 50.000 Einwohnern zwischen 4% und 5%.

Gleichzeitig hat der MIV in den Ballungsräumen im Ortskern einen geringeren Anteil als am Ortsrand. Mit abnehmender Einwohnerzahl einer Gemeinde wird dieser größer (vgl. Diagramm 11).

Der Anteil der Fußwege ist in den Ortskernen der Ballungsräume ebenfalls höher als an den Ortsrändern und als in den Gemeinden mit geringer Einwohnerzahl. Bei den Wegen mit dem Fahrrad ist aus den Ergebnissen kein eindeutiger Trend abzulesen. Dieser ist maßgeblich von Verkehrsangebot (Radwegenetz) und von der Topografie abhängig.



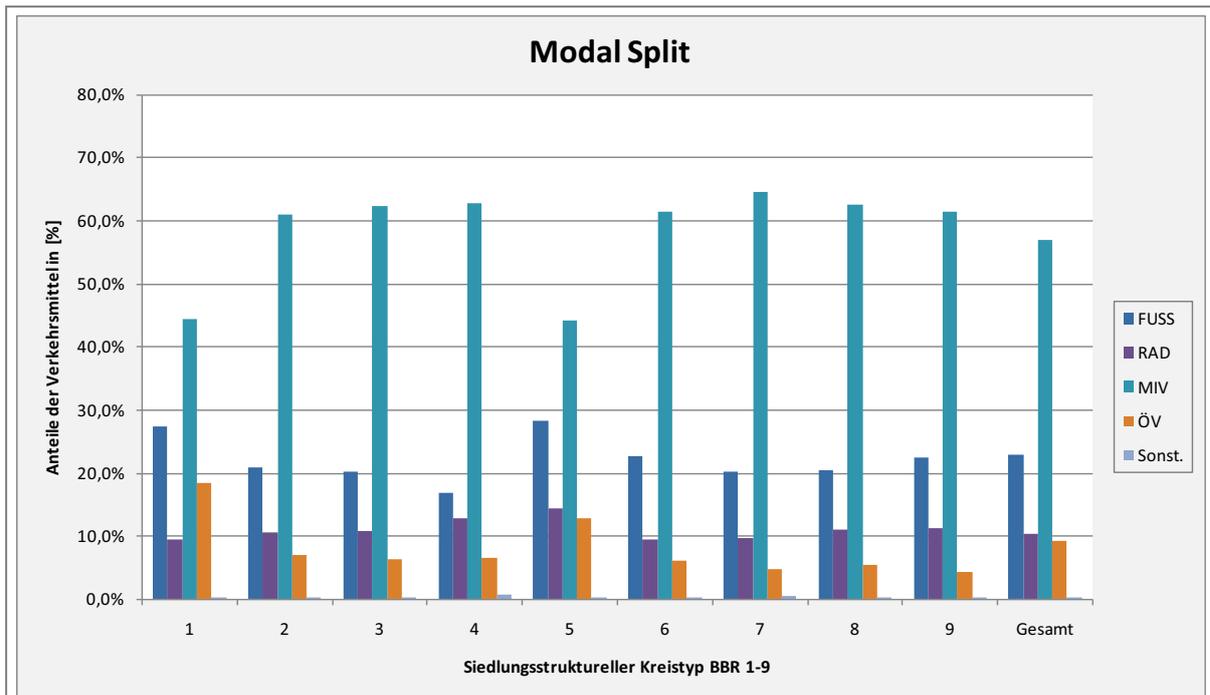
Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionalsizeklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 1 (Ortskern)

Diagramm 11: Modal Split der Wege nach Raumtypisierung: BIK

Bei der Raumtypisierung nach BBR ist der MIV-Anteil in den Kernstädten in Agglomerationsräumen und in Verstäderten Räumen ebenfalls niedriger als in den übrigen Raumtypen und als im Mittel. Der Fuß-Anteil und der ÖV-Anteil sind deshalb bei diesen Raumtypen erwartungsgemäß relativ hoch.

Die Verdichteten und Hochverdichteten Kreise in Agglomerationsräumen und Verstäderten Kreisen weisen ebenso ein ähnliches Bild des Modal Splits auf wie die Ländlichen Kreise (vgl. Diagramm 12). Der ÖV-Anteil verringert sich, je ländlicher das Gebiet wird. Dies ist in der Regel auf das Verkehrsangebot des Öffentlichen Verkehrs in ländlichen Gebieten zurückzuführen.



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

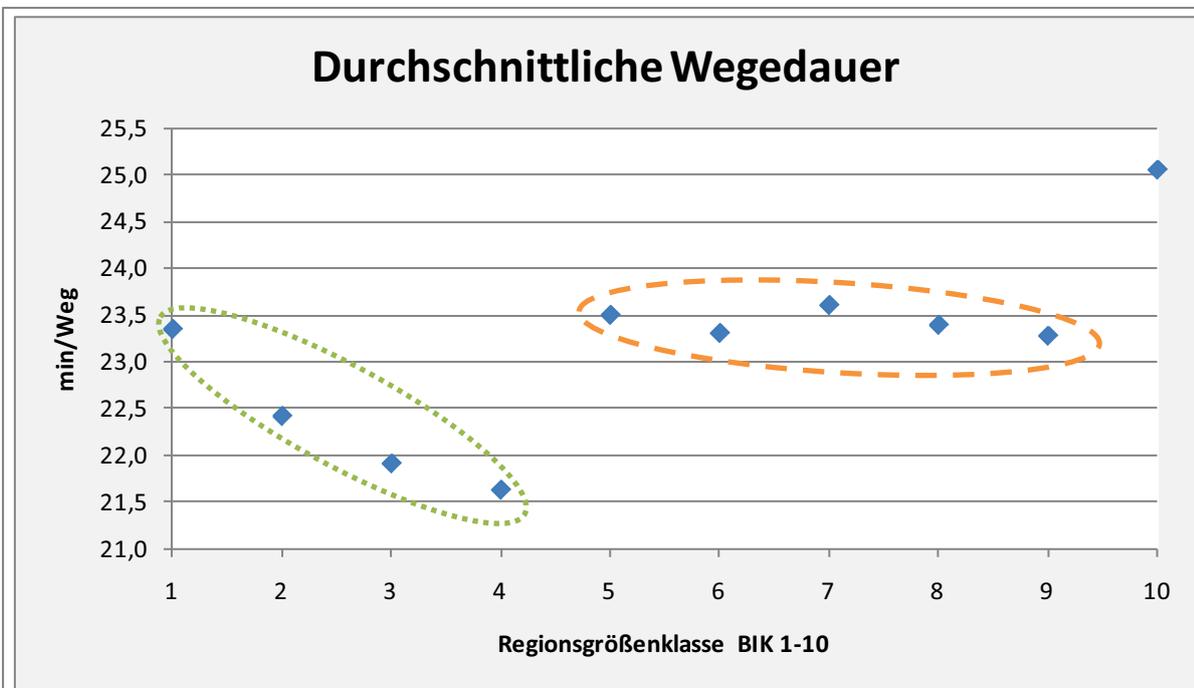
Diagramm 12: Modal Split der Wege nach Raumtypisierung: BBR

4.2.3.2 Durchschnittliche Wegedauer

Bei der durchschnittlichen Wegedauer eines Weges (Diagramm 13) in den BIK-Typisierungen weist der Typ 10 „500.000 Einwohner und mehr + Strukturtyp der Gemeinde: 1 (Ortskern)“ mit Abstand den höchsten Wert mit 25,1 Minuten pro Weg auf. Dies liegt zum einem an dem hohen ÖV-Anteil (relativ hohe Zugangs- und Wartezeiten an den Haltestellen) und zum anderen an den vermehrt auftretenden Fußwegen, die eine geringe Geschwindigkeit haben.

Bei den BIK-Typen 5 bis 9 sind keine großen Unterschiede in den durchschnittlichen Wegedauern festzustellen. Sie liegen zwischen 23,3 und 23,6 Minuten pro Weg.

Bei den Gemeinden unter 50.000 Einwohnern ist festzustellen, dass je größer die Gemeinde ist, desto geringer werden die Wegedauern. Grund hierfür ist das Vorhandensein von Gelegenheiten in den größeren Gemeinden, so dass zur Erledigung von Aktivitäten keine weiten Strecken und somit keine größeren Wegedauern zurückgelegt werden müssen (vgl. Diagramm 15).



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

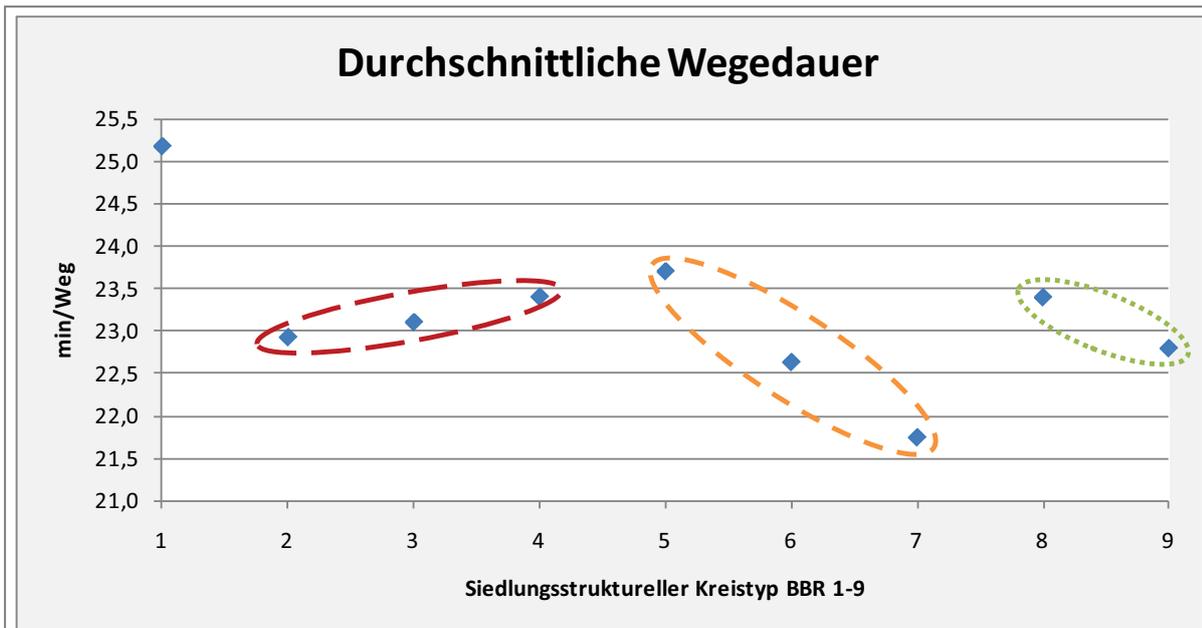
BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 1 (Ortskern)

Diagramm 13: Durchschnittliche Wegedauer nach Raumtypisierung: BIK

Die Auswertung der BBR-Typisierung nach durchschnittlicher Wegedauer zeigt ein differenzierteres Bild. Die Kernstädte haben, wie bei der BIK-Typisierung auch, mit 25,2 Minuten pro Weg den höchsten Wert.

Bei den restlichen Kreisen in Agglomerationsräumen liegt die durchschnittliche Wegedauer zwischen 22,9 und 23,4 Minuten pro Weg. Die Dauer steigt, je ländlicher die Kreise werden. In ländlichen Kreisen ist die Attraktivität zur Erledigung der Aktivitäten meist geringer als in Kernstädten, so dass zunehmend längere Wege zurückgelegt werden, die mehr Zeit beanspruchen (vgl. Diagramm 16).

Ein Unterschied zu der BIK-Typisierung ist bei den Ländlichen Kreisen und bei den Kreisen in Verstäderten Räumen zu sehen. Hier nehmen die durchschnittlichen Wegedauern, je ländlicher ein Kreis wird, ab. Das Ergebnis nach BBR-Typen ist konträr zu den Ergebnissen der BIK-Typen zu sehen. Grund hierfür ist die Einteilung der Klassen, da in den BIK-Typen z. B. kleinere Orte unabhängig von der Einwohnerzahl zu den Ballungsräumen gezählt werden, wenn sie in der Nähe zu diesem liegen.



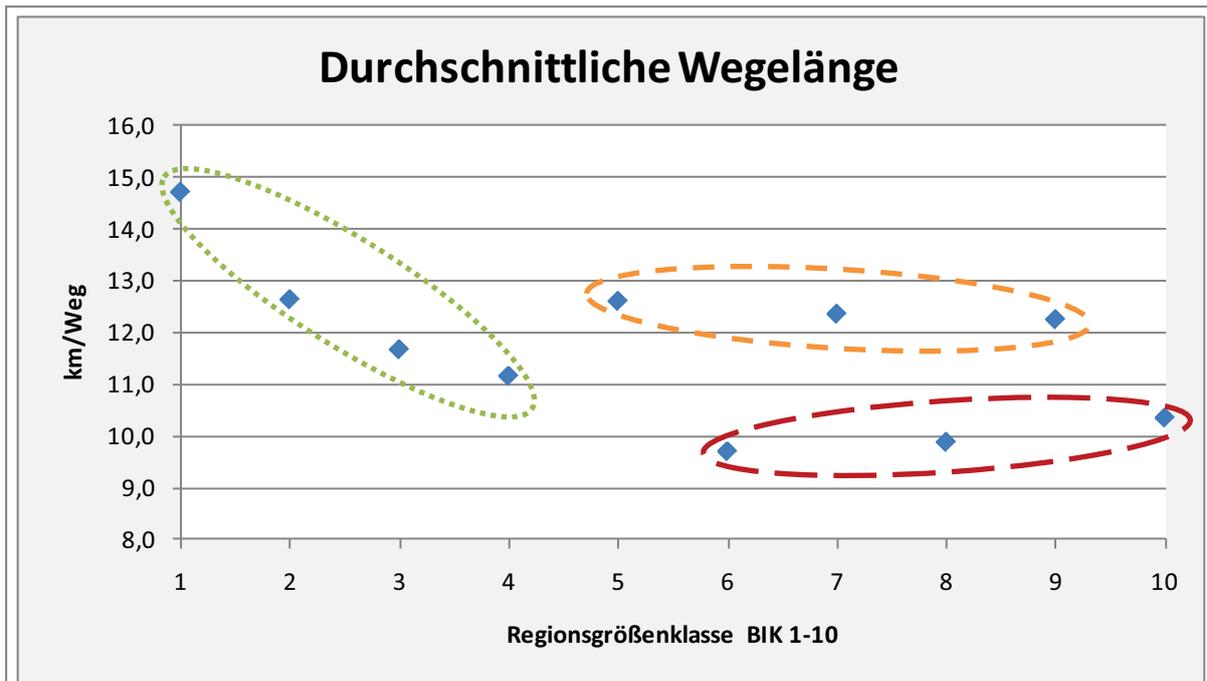
Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

Diagramm 14: Durchschnittliche Wegedauer nach Raumtypisierung: BBR

4.2.3.3 Durchschnittliche Wegelänge

Bei den Gemeinden bis 50.000 Einwohner nach BIK-Typisierung nimmt die durchschnittliche Wegelänge ab, je größer die Gemeinden sind. Die größten Wegelängen werden in Orten unter 2.000 Einwohnern gemessen. Des Weiteren sind die mittleren Wegelängen der Einwohner von Gemeinden über 50.000 Einwohnern am Ortsrand auf ähnlichem Niveau wie die der Einwohner von Gemeinden über 50.000 Einwohnern im Ortskern. Dabei sind die Wegelängen am Ortsrand, wie in Diagramm 15 zu sehen ist, länger als im Ortskern. Begründet ist dies durch die höhere Anzahl an Gelegenheiten in Ortskernen und somit die Orientierung der Einwohner dorthin. Daher resultieren größere Wegstrecken, die zurückgelegt werden. Am Ortsrand nehmen mit zunehmender Größe der Gemeinden die Wegelängen leicht ab, während in den Ortskernen mit zunehmender Größe die Wegelängen steigen.

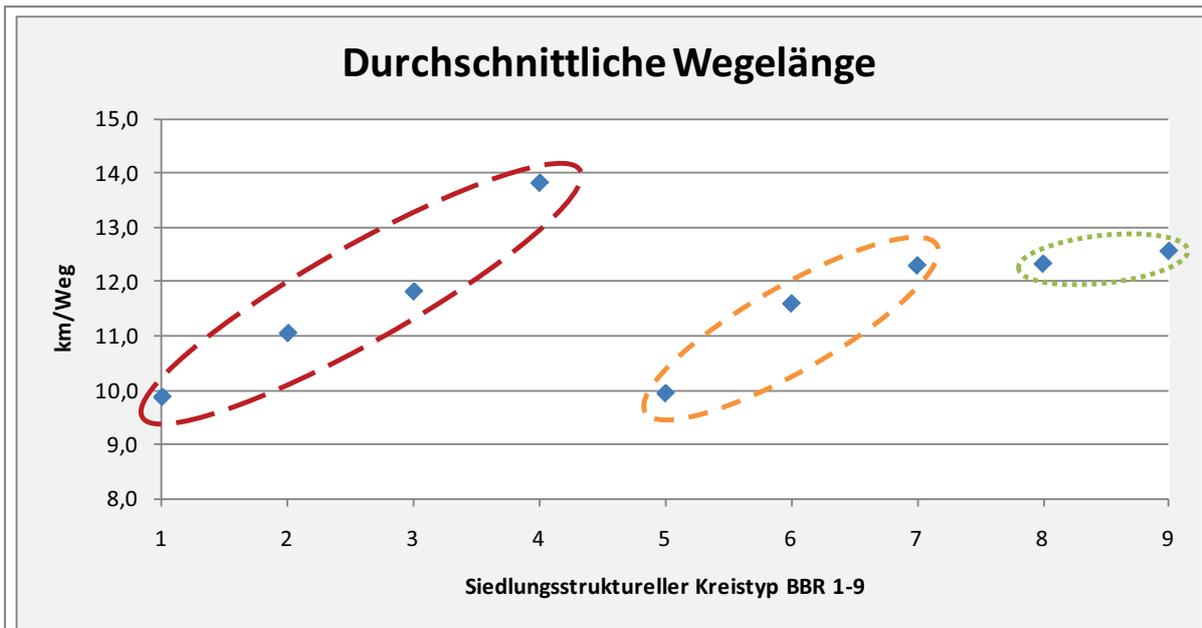


Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 1 (Ortskern)

Diagramm 15: Durchschnittliche Wegelänge nach Raumtypisierung: BIK

Bei der Raumtypisierung nach BBR erhöht sich die Wegelänge sowohl in den Agglomerationsräumen als auch in den Verstäderten und Ländlichen Räumen, je ländlicher die Kreise werden (vgl. Diagramm 16). Innerhalb der Agglomeration werden die Wegelängen größer, je dezentraler die Kreise liegen.



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

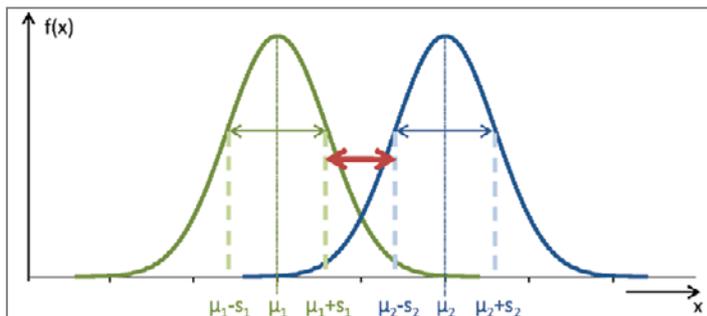
Diagramm 16: Durchschnittliche Wegelänge nach Raumtypisierung: BBR

Die bisher dargestellten deskriptiven Auswertungen zeigen, dass das Mobilitätsverhalten der Einwohner in unterschiedlichen Raumtypen in den Mittelwerten voneinander abweicht. Da die durchgeführten Wege und speziell die Wegelängen maßgebend die Mobilität beschreiben, wird im Folgenden geprüft, inwieweit sich statistisch die Mittelwerte der Wegelängen voneinander unterscheiden. Dies ist ein Indikator dafür, dass das Mobilitätsverhalten hinsichtlich der Wegelängen in den Raumtypen voneinander verschieden ist.

4.2.3.4 t-Test der Wegelängenmittelwerte in den Raumtypisierungen

Der t-Test gehört in der mathematischen Statistik zu der Gruppe der Hypothesentests. Es handelt sich hier um einen Hypothesentest mit t-verteilter Testprüfgröße. Bei einem t-Test werden Hypothesen über Erwartungswerte einer oder zweier nor-

malverteilter Grundgesamtheiten getestet. Im vorliegenden Fall der Wegelängen handelt es sich zwar streng genommen nicht um eine normalverteilte Grundgesamtheit, dennoch kann der t-Test als Maß für die Unabhängigkeit der Mittelwerte der Wegelängen herangezogen werden, da diese wegen des zentralen Grenzwertsatzes²¹ als normalverteilt angesehen werden können. Dabei wird im folgenden Fall jeweils zwischen zwei Raumtypen untersucht, ob sich die Standardabweichungen der beiden Verteilungen überlappen (vgl. Abbildung 12). Daraus kann geschlossen werden, ob die Mittelwerte der Wegelängen voneinander signifikant verschieden sind.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 12: Schematische Darstellung eines t-Tests

Der t-Wert berechnet sich wie folgt:

$$t = \frac{\sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} (\mu_1 - \mu_2)}{s}$$

Mit: n_i Anzahl der Stichprobe i
 μ_i Mittelwert der Stichprobe i
 s Standardabweichung
 s_i^2 Varianz der Stichprobe i

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Formel 2: Berechnung des t-Werts für zwei unabhängige Stichproben

Die Nullhypothese in dieser Auswertung lautet demnach: Die Mittelwerte von zwei miteinander zu vergleichenden Raumtypen sind gleich. Ergibt sich aus den t-Tests eine signifikante Verschiedenheit, so kann die Nullhypothese verworfen werden.

Tabelle 3 zeigt, dass die Mittelwerte der Wegelängen je BIK-Typ in den meisten Fällen hochsignifikant bzw. signifikant voneinander verschieden sind. Ausnahmen bilden

²¹ Der zentrale Grenzwertsatz besagt, dass die Mittelwerte unterschiedlicher, ausreichend großer Stichproben einer Zufallsvariable (Mittelwert μ , Varianz s^2) um den Mittelwert der Grundgesamtheit μ normalverteilt sind mit der Varianz s^2/n . Dies gilt auch, wenn die Zufallsvariable nicht normalverteilt ist. Daraus folgt, dass bei ausreichend großen Stichproben (bei Verkehrserhebungen üblicherweise gegeben) viele für die Normalverteilung entwickelte Methoden auch für Variablen angewendet werden können, die nicht normalverteilt sind.

dabei, wie in Tabelle 3 zu sehen ist,²² die

- BIK-Typen 2 (2.000 bis 5.000 Einwohner) mit 5 (50.000 bis 100.000 Einwohner am Ortsrand), mit BIK-Typen 7 (100.000 bis 500.000 Einwohner am Ortsrand) und mit 9 (500.000 Einwohner und mehr am Ortsrand) sowie
- BIK-Typen 5 (50.000 bis 100.000 Einwohner am Ortsrand) mit 7 (100.000 bis 500.000 Einwohner am Ortsrand),
- BIK-Typen 6 (50.000 bis 100.000 Einwohner am Ortskern) mit 8 (100.000 bis 500.000 Einwohner am Ortskern) und
- BIK-Typen 7 (100.000 bis 500.000 Einwohner am Ortsrand) mit 9 (500.000 Einwohner und mehr am Ortsrand).

Dies ist auch auf Grund der vorangestellten Auswertung zu erwarten, da Einwohner in diesen Raumtypen ähnliche Mittelwerte der mobilitätsbeschreibenden Kenngrößen aufweisen. Daraus kann schlussgefolgert werden, dass nicht die Einwohnerzahlen maßgebend für das Mobilitätsverhalten sind, sondern die Lage des Wohnstandortes zu einem Ballungsraum.

t-Wert		t-Test der Wegelängenmittelwerte in den BIK-Klassen									
Signifikanzniveau											
BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Unter 2.000 Einw.		6,730	13,300	14,160	6,100	16,600	9,060	20,820	9,260	19,940
			<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.			3,870	5,400	0,090	9,080	0,990	10,900	1,340	9,490
				0,0001	<,0001	0,9322	<,0001	0,3212	<,0001	0,1802	<,0001
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.				2,700	-3,390	7,820	-3,380	10,180	-2,800	8,530
					0,0069	0,0007	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.					-4,790	5,310	-5,370	6,590	-4,790	4,680
						<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)						7,950	0,800	9,780	1,110	8,610
							<,0001	0,426	<,0001	<,0001	<,0001
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)							-9,500	-0,710	-8,930	-2,630
								<,0001	0,480	<,0001	0,009
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)								11,930	0,440	10,520
									<,0001	0,659	<,0001
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)									-11,170	-2,910
										<,0001	0,004
9	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)										9,730
											<,0001
10	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 1 (Ortskern)										

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 3: t-Test der Wegelängenmittelwerte nach Raumtypisierung: BIK

²² Die Signifikanz wurde in den Tabellen farbig hinterlegt: Keine farbig Markierung bedeutet „hoch signifikant“ (Signifikanzniveau < 0,01%), eine hellblaue Hinterlegung der Zahlen bedeutet „signifikant“ (0,01% ≤ Signifikanzniveau < 5%) und eine dunkelblaue Hinterlegung bedeutet „nicht signifikant“. Dies gilt auch für die folgenden Auswertungen.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei der Auswertung nach BBR-Typisierung (vgl. Tabelle 4):

Das Gros der Mittelwerte der Wegelängen bei den jeweils zwei betrachteten BBR-Typen ist hoch signifikant bzw. signifikant voneinander verschieden. Nicht signifikant voneinander verschieden sind die BBR-Typen:

- BBR-Typ 1 (Kernstädte in Agglomerationsräumen) und 5 (Kernstädte in Verstädterten Räumen)
- BBR-Typ 3 (Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen) mit 6 (Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen) und mit 7 (Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen)
- BBR Typ 7 (Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen) mit 8 (Ländliche Kreise höherer Dichte) und mit 9 (Ländliche Kreise geringerer Dichte)
- BBR-Typ 8 (Ländliche Kreise höherer Dichte) mit 9 (Ländliche Kreise geringerer Dichte)

t-Wert		t-Test der Wegelängenmittelwerte in den BBR-Klassen								
Signifikanzniveau										
BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen		-7,660	-9,750	-15,660	-0,320	-11,680	-12,840	-12,400	-12,600
			<,0001	<,0001	<,0001	0,7479	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen			-3,600	-10,380	4,860	-3,340	-6,090	-5,990	-6,600
				0,000	<,0001	<,0001	0,001	<,0001	<,0001	<,0001
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen				-6,910	7,300	1,040	-1,940	-2,040	-2,820
					<,0001	<,0001	0,2984	0,0522	0,041	0,005
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen					12,990	8,140	5,100	4,990	4,020
						<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen						-7,180	-9,060	-9,090	-9,480
							<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen							-3,460	-3,440	-4,190
								0,001	0,001	<,0001
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen								-0,130	-1,010
									0,8963	0,3142
8	Ländliche Kreise höherer Dichte									-0,870
										0,3843
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte									

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 4: t-Test der Wegelängenmittelwerte nach Raumtypisierung: BBR

Dabei zeigt sich auch, dass Kernstädte, Verdichtete Kreise und Ländliche Kreise untereinander teilweise nicht signifikante Unterschiede aufweisen. Das deutet darauf hin, dass die räumliche Umgebung das Mobilitätsverhalten beeinflusst.

Um zu prüfen, ob innerhalb eines Raumtyps Unterschiede in den Wegelängenmittelwerten vorhanden sind, wurden einwohnerstarke Städte in Deutschland untersucht. Dabei wurden Großstädte ausgewählt, deren Haushalte im MOP mit einer ausreichenden Stichprobe vorhanden waren und die sich in demselben Raumtyp befinden. Die in Tabelle 5 aufgeführten Städte befinden sich im Raumtyp 1 (Kernstädte in Agglomerationsräumen) nach BBR-Typisierung und Raumtyp 10 (500.000 Einwohner und mehr + SGTyp 1) nach BIK-Typisierung.

Die Nullhypothese in dieser Auswertung lautet: Die Wegelängenmittelwerte von zwei miteinander zu vergleichenden Städten sind gleich. Ergibt sich aus den t-Tests eine signifikante Verschiedenheit, so kann die Nullhypothese verworfen werden.

Vergleich der Wegelängenmittelwerte von einwohnerstarken Städten Deutschlands																
t-Wert Signifikanzniveau	Berlin	Hamburg	München	Köln	Frankfurt/ M.	Stuttgart	Essen	Düsseldorf	Bremen	Hannover	Dresden	Nürnberg	Duisburg	Bochum	Wuppertal	Karlsruhe
Berlin																
Hamburg	-2,420 0,015															
München	4,59 <,0001	-6,26 <,0001														
Köln	3,800 0,000	-6,12 <,0001	-0,900 0,3691													
Frankfurt	4,21 <,0001	-6,17 <,0001	0,090 0,9243	-0,990 0,3198												
Stuttgart	0,870 0,3819	-2,690 0,007	-2,230 0,026	1,970 0,049	2,430 0,015											
Essen	-1,290 0,1953	-0,550 0,5795	-4,05 <,0001	-4,42 <,0001	-4,59 <,0001	-1,900 0,0581										
Düsseldorf	1,280 0,1989	-3,280 0,001	-2,070 0,038	-1,770 0,0766	-2,340 0,019	0,290 0,7684	2,470 0,014									
Bremen	1,630 0,1023	-3,310 0,001	-1,700 0,0898	-1,160 0,2471	-1,690 0,0906	0,540 0,5907	2,200 0,028	0,320 0,7479								
Hannover	1,680 0,0924	-3,530 0,000	-1,390 0,1636	-1,040 0,2991	-1,630 0,1039	0,720 0,4696	2,840 0,005	0,520 0,6064	0,110 0,9154							
Dresden	-2,270 0,024	-3,96 <,0001	0,960 0,3367	0,410 0,6831	1,070 0,2824	-1,130 0,2570	-2,960 0,003	-0,970 0,3322	-0,540 0,5924	-0,460 0,6454						
Nürnberg	0,350 0,7287	-2,080 0,038	2,450 0,014	2,390 0,017	2,780 0,005	0,400 0,6884	-1,470 0,1425	0,750 0,4562	0,870 0,3860	1,160 0,2481	-1,490 0,1369					
Duisburg	0,230 0,8184	-1,590 0,1113	-1,920 0,0533	-1,920 0,0545	-2,220 0,026	-0,350 0,7239	1,150 0,2507	0,640 0,5236	0,700 0,4817	0,960 0,3354	-1,220 0,2233	-0,040 0,9713				
Bochum	0,380 0,7038	-1,800 0,0711	-1,850 0,0647	1,840 0,0660	-2,170 0,030	-0,240 0,8086	-1,360 0,1724	0,530 0,5991	0,620 0,5368	0,880 0,3775	-1,140 0,2525	0,090 0,9258	-0,110 0,9154			
Wuppertal	0,810 0,4180	-2,540 0,011	-2,050 0,041	-1,870 0,0612	-2,330 0,020	0,000 0,9995	-1,890 0,0584	0,290 0,7713	0,510 0,6104	0,730 0,4678	-1,100 0,2701	0,400 0,6888	-0,360 0,7196	0,250 0,8042		
Karlsruhe	1,150 0,2495	-2,470 0,014	-1,050 0,2956	0,810 0,4186	1,230 0,2174	-0,480 0,6337	-1,990 0,046	-0,320 0,7494	-0,040 0,9713	0,050 0,9604	-0,380 0,7004	0,790 0,4268	-0,670 0,5042	-0,600 0,5468	-0,480 0,6288	

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 5: t-Test der Wegelängenmittelwerte von Städten in einem Raumtyp

Die Ergebnisse der Tabelle 5 zeigen, dass bis auf einige Ausnahmen die Mittelwerte der Wegelängen in den betrachteten Städten nicht signifikant voneinander verschieden sind. Das bedeutet, dass die Nullhypothese nicht verworfen werden kann.

Gleichzeitig kann anhand der Ergebnisse auch davon ausgegangen werden, dass Ähnlichkeiten zwischen diesen betrachteten Städten in den Wegelängenmittelwerten vorhanden sein können.

Anhand der Auswertungen der Wegelängenmittelwerte konnte gezeigt werden, dass die Mittelwerte der Wegelängen zwischen den Raumtypen meist signifikant bzw. hochsignifikant voneinander verschieden sind und innerhalb eines Raumtyps in der Regel nicht signifikant voneinander verschieden sind. Daraus lässt sich ableiten, dass die Wegelängenmittelwerte auch von den Raumtypen der Wohnstandorte der Personen abhängen.

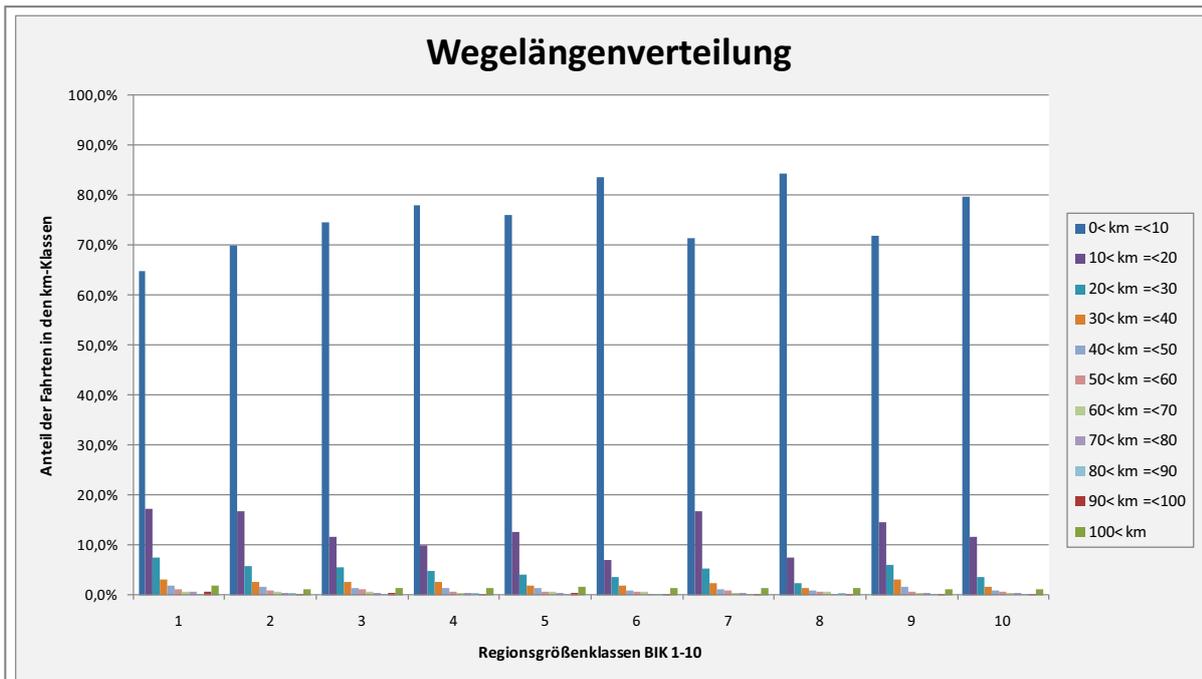
4.2.4 Analyse der Wegelängenverteilung

Ein weiterer Indikator, der die Mobilitätsbedürfnisse von Einwohnern eines Gebiets beschreibt, ist die Wegelängenverteilung. Im Gegensatz zu den Mittelwerten beschreiben die Verteilungen, ob die Wege tendenziell eher in der Nähe enden oder ob die Aktivitäten in weiteren Entfernungsklassen liegen. Des Weiteren geben sie Aufschluss über die Entfernung zu den ausgeübten Gelegenheiten. Je höher der Anteil der kurzen Wege ist, desto mehr Aktivitäten werden in der Nähe durchgeführt und desto höher ist die Attraktivität des Wohnstandortes.

Im Folgenden sind die Wegelängenverteilungen der einzelnen Raumtypisierungen (BIK und BBR) aufgeführt.

4.2.4.1 Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung BIK und BBR

In Diagramm 17 ist die Wegelängenverteilung der Wege in 10 km-Schritten in der BIK-Typisierung zu sehen. Betrachtet man die Wege, die kürzer als 10 km sind, so fällt auf, dass in den Ballungsräumen die kurzen Wege anteilig höher sind als in den Gemeinden am Ortsrand von Ballungsräumen. In den Gemeinden mit unter 50.000 Einwohnern nehmen die Anteile der kurzen Wege (<10 km) mit zunehmender Einwohnerzahl zu. Berücksichtigt man nur alle Wege unter 40 km, so bestätigt sich das o. g. Bild; die Ausprägungen mindern sich jedoch ab. Werden nur die Wege z. B. über 40 km in Betracht gezogen, so ist der Anteil der BIK-Typen 1 bis 5 (Spannweite von 4,8% bis 7,1%) höher als der der BIK-Typen 6-10 (Spannweite 3,7% bis 4,6%). Die Tendenz, dass in den peripheren Gemeinden tendenziell weiter entfernte Ziele aufgesucht werden als in den Ballungsräumen, zeigt sich auch hier.

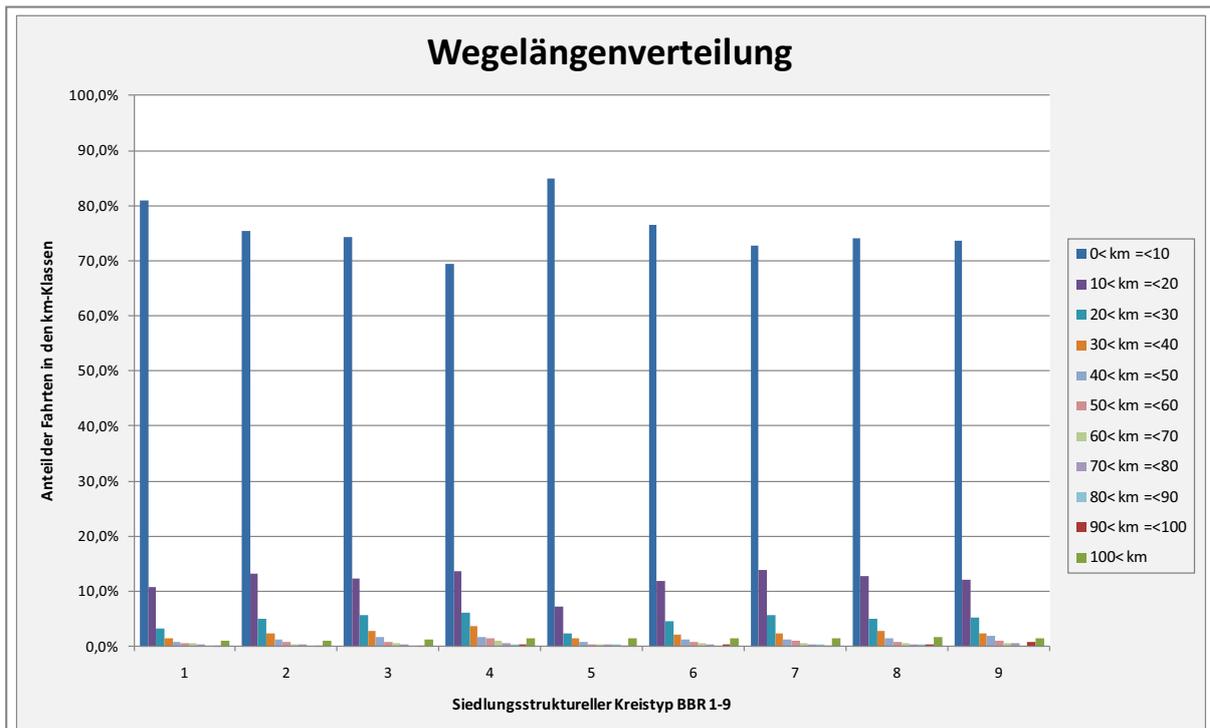


Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 1 (Ortskern)

Diagramm 17: Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung: BIK

Die Auswertung der Wegelängen nach BBR-Typen zeigt, dass der Anteil der Fahrten unter 10 km bei den Kernstädten (BBR-Typ 1 und 5) am größten ist, während mit zunehmender Peripherie die Anteile der Wege unter 10 km abnehmen. Betrachtet man den Anteil der Wege unter 20 km, zeigt sich ein ähnliches Bild (BBR-Typ 1 und 5 mit jeweils rund 92%): Je dezentraler ein Kreis, desto geringer der Anteil der kurzen Wege. Werden alle Wege über 40 km zusammengefasst, so haben die ländlichen BBR-Typen einen höheren Anteil als die Übrigen (Typ 4: 7,0%, Typ 7: 5,2%, Typ 8: 5,4% und Typ 9: 6,6%). Dies zeigt, dass die Bewohner ländlich gelegener Kreise weitere Strecken zurücklegen, um ihre Aktivitäten zu absolvieren, als die Bewohner urbaner Kreise.



Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

Diagramm 18: Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung: BBR

4.2.4.2 Chi²-Test (χ^2 -Test)

Um die Abhängigkeiten oder die Unterschiede der einzelnen BIK- bzw. BBR-Typen voneinander identifizieren zu können, wird ein χ^2 -Test durchgeführt. „Um zu prüfen, ob eine kategorielle Variable in zwei oder mehreren Gruppen die gleiche Verteilung hat, steht der Chi-Quadrat-Homogenitätstest zur Verfügung.“ (Brannath & Futschik 2001). „Mit dem Homogenitätstest wird überprüft, ob signifikante Unterschiede zwischen den Grundgesamtheiten von Verteilungen mehrerer Stichproben (k) bezüglich des untersuchten Merkmals vorliegen.“ (Schendera 2004). Der χ^2 -Test stellt also das Maß der Abweichung dar. Es wird die Abweichung der empirischen Klassenhäufigkeit

von den erwarteten Häufigkeiten gemessen, die von der zu prüfenden Hypothese H_0 resultieren. Dabei wird eine zweidimensionale Häufigkeitsverteilung (Wegelängenverteilung der einzelnen BIK- bzw. BBR-Typen) auf die Hypothese der Unabhängigkeit der beiden betrachteten Merkmale getestet.

Der χ^2 -Wert ergibt sich aus der Summe der Produkte aus der absoluten Abweichung der empirischen Häufigkeit (n) und der erwarteten Häufigkeit (m) bezüglich der zu erwartenden relativen Abweichung über alle Verteilungen und Raumtypen:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C \frac{(n_{ij} - m_{ij})^2}{m_{ij}}$$

Mit: R Anzahl der Raumtypen
C Klassen der Verteilung

Formel 3: Berechnung des χ^2 -Werts

Während die Raumtypisierung wie bisher verwendet wird (BIK 1-10 und BBR 1-9), beschränkt sich die Wegelängenverteilung hierbei auf folgende Einteilung:

Wegelängen- klasse	Alle Wege	
	von über [km]	bis ein- schließlich [km]
1	0	10
2	10	20
3	20	30
4	30	40
5	40	50
6	50	60
7	60	70
8	70	80
9	80	90
10	90	100
11	100	200
12	200	...

Tabelle 6: Einteilung der Wegelängenklassen für den χ^2 -Test

4.2.4.2.1 Homogenitätstest der Raumtypen

In Tabelle 7 ist das Ergebnis des χ^2 -Tests der Wegelängenverteilung in der Raumtypisierung nach BIK dargestellt. Es soll geprüft werden, ob die Wegelängenverteilung vom Raumtyp abhängt.

Die Auswertung des χ^2 -Tests der Wegelängenverteilungen jeweils zweier BIK-Raumtypen zeigt, dass alle getesteten bilateralen Beziehungen der Wegelängenverteilungen hoch signifikant bzw. signifikant voneinander verschieden sind.

χ^2 -Wert		χ^2 -Test der Wegelängenverteilungen in den BIK-Klassen									
Signifikanzniveau		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)										
1	Unter 2.000 Einw.	100,853	302,095	349,777	226,579	792,180	105,140	1273,441	99,065	953,383	
		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.		182,957	185,702	94,740	473,414	32,514	733,046	38,527	375,135	
			<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0006	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.			68,747	145,607	348,061	295,693	778,727	206,264	858,183	
				<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.				70,463	238,325	287,858	490,587	226,854	490,229	
					<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)					220,017	145,060	254,658	155,875	99,288	
						<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)						630,344	60,901	616,795	310,634	
							<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)							1067,833	68,337	564,090	
								<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTyp 1 (Ortskern)								1116,425	447,428	
									<0,0001	<0,0001	<0,0001
9	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 2/3/4 (Ortsrand)									718,478	
										<0,0001	<0,0001
10	500.000 Einw. und mehr + SGTyp 1 (Ortskern)										

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 7: χ^2 -Test der Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung: BIK

Vergleicht man die Wegelängenverteilungen jeweils zweier BBR-Raumtypisierungen, so zeigt sich auch hier, dass die Wegelängenverteilungen mit Ausnahme der BBR-Raumtypen 7 mit 8 und mit 9 und 8 mit 9 hoch signifikant voneinander verschieden sind (vgl. Tabelle 8).

Die BBR-Raumtypen Ländliche Kreise in Verstäderten Räumen (7) verglichen mit den Raumtypen Ländliche Kreise geringer Dichte (9) unterschieden sich nicht signifikant. Das lässt darauf schließen, dass Ähnlichkeiten in der Wegelängenverteilung in diesen Raumtypen vorhanden sind.

χ^2 -Wert		χ^2 -Test der Wegelängenverteilungen in den BBR-Klassen								
Signifikanzniveau		1	2	3	4	5	6	7	8	9
BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9									
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen		550,674 <0,0001	655,625 <0,0001	811,127 <0,0001	178,819 <0,0001	562,343 <0,0001	618,567 <0,0001	515,564 <0,0001	507,046 <0,0001
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen			122,164 <0,0001	201,604 <0,0001	567,883 <0,0001	139,204 <0,0001	82,720 <0,0001	88,594 <0,0001	119,347 <0,0001
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen				103,851 <0,0001	545,535 <0,0001	135,693 <0,0001	45,275 <0,0001	64,154 <0,0001	54,322 <0,0001
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen					677,516 <0,0001	251,279 <0,0001	97,981 <0,0001	102,160 <0,0001	96,506 <0,0001
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen						395,073 <0,0001	520,115 <0,0001	411,283 <0,0001	411,785 <0,0001
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen							56,610 <0,0001	46,914 <0,0001	44,259 <0,0001
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen								22,927 0,0181	11,745 0,3831
8	Ländliche Kreise höherer Dichte									26,510 0,0054
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte									

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 8: χ^2 -Test der Wegelängenverteilung nach Raumtypisierung: BBR

Die Untersuchungen der Wegelängen zeigen, dass sich die Wegelängenverteilungen in den Raumtypen unterscheiden. Bis auf die Ausnahme in den Kreisen im Ländlichen Raum (BBR) zeigen die Tests, dass die Grundgesamtheiten der Stichproben der Raumtypen einen signifikanten Unterschied in den Verteilungen aufweisen.

4.2.4.2.2 Homogenitätstest der Raumtypisierung nach Erhebungsjahren

Um die These der unterschiedlichen Verhaltensweisen von Personen in verschiedenen Raumtypen zu stützen, wurden die Wegelängenverteilungen in den einzelnen Raumtypen über die einzelnen Jahre miteinander verglichen. Dabei wurden die MOP-Daten der einzelnen Jahre ab dem Jahr 2000 miteinander in einem χ^2 -Test untersucht. Hier ist zu beachten, dass die Fallzahlen in den einzelnen Raumtypen-Klassen teilweise gering ausfallen können. Die Auswertungen zeigen, dass im Vergleich zweier Jahre die Wegelängenverteilungen in demselben Raumtyp bei einem Signifikanzniveau von 5% meistens nicht signifikant voneinander verschieden sind. Als Beispiel dieser Auswertung, die über alle BIK- bzw. BBR-Typisierungen gemacht wurde, ist in der folgenden Tabelle 9 der χ^2 -Test der BBR-Klasse 1 (Kernstädte in Agglomerationsräumen) angegeben.

Wert	χ^2 -Test der Wegelängenverteilungen in der BBR-Klasse 1						
Signifikanz	(Kernstädte in Agglomerationsräumen):						
JAHR	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
2000		13,320	18,340	20,588	16,771	34,832	22,315
		0,2729	0,0740	0,0379	0,1148	0,0003	0,0220
2001			10,618	12,681	9,390	20,087	15,376
			0,4758	0,3147	0,5860	0,0442	0,1659
2002				12,188	9,510	17,102	21,493
				0,3497	0,5750	0,1049	0,0286
2003					13,470	24,320	12,763
					0,2637	0,0115	0,3091
2004						13,854	15,633
						0,2412	0,1553
2005							12,931
							0,2979
2006							

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 9: χ^2 -Test der Wegelängenverteilung nach Erhebungsjahren in der BBR-Typisierung 1 (Kernstädte in Agglomerationsräumen)

Obwohl wegen der Heterogenität der Bevölkerung erwartet werden könnte, dass bei den Wegelängenverteilungen zwischen den Jahren signifikante Unterschiede in den einzelnen Raumtypisierungen festzustellen sind, zeigt das Ergebnis, dass die Personen in dem Raumtyp meist nicht signifikant unterschiedliche Wegelängenverteilungen aufweisen.

Statistisch kann grundsätzlich keine Ähnlichkeit von Verteilungen nachgewiesen werden. In den Auswertungen der Wegelängenverteilungen zwischen den Raumtypen konnten bis auf wenige Ausnahmen hoch signifikante bzw. signifikante Unterschiede festgestellt werden. Der Vergleich der Wegelängenverteilungen mehrerer Erhebungsjahre hat gezeigt, dass innerhalb eines Raumtyps meist keine signifikanten Unterschiede vorliegen. Daraus kann geschlossen werden, dass das Verkehrsverhalten der Einwohner eines Raumtyps hinsichtlich der Wegelängenverteilungen ähnlich ist.

4.3 Analyse der Aktivitätenmuster

Aktivitätenmuster beschreiben die Folge von durchgeführten Aktivitäten einer Person über einen Zeitraum (meist Tag). Im Folgenden werden die MOP-Daten nach den zwölf häufigsten Aktivitätenmustern ausgewertet, da die räumliche Invarianz von Verhaltensmerkmalen leichter nachweisbar wird, wenn geschlossene Wegeketten betrachtet werden (Zumkeller & Seitz 1994). Die Aktivitätenmuster für einen Tag weisen eine sehr hohe Variation auf. Insgesamt gibt es im MOP über 11.500 unterschiedliche Aktivitätenmuster.

Mit der Untersuchung der Aktivitätenmuster soll gezeigt werden, inwiefern die Aktivitätenmuster in unterschiedlichen Raumtypen differieren:

In Diagramm 19 ist zu sehen, dass bei Personen in BIK-Typen 6, 8 und 10 jeweils im Ortskern die Aktivitätenmuster „Wohnen-Freizeit-Wohnen“ und „Wohnen-Einkauf-Wohnen“ prozentual höher vertreten sind, als die in den entsprechenden BIK-Typen, die am Ortsrand liegen. Die reinen Arbeitswegeketten „Wohnen-Arbeit-Wohnen“ sind bei den Personen, die am Ortsrand leben höher, als bei denen im Ortskern. Das liegt daran, dass diese Personen oft längere Arbeitswege zurücklegen und eher weniger Dreieckswege durchführen.

Aktivitätenmuster	Gesamt	BIK 1	BIK 2	BIK 3	BIK 4	BIK 5	BIK 6	BIK 7	BIK 8	BIK 9	BIK 10
	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %
Wohnung-Freizeit-Wohnung	10,7%	12,1%	11,6%	10,4%	9,7%	10,5%	13,0%	10,0%	11,1%	9,3%	10,8%
Wohnung-Einkauf-Wohnung	9,3%	9,2%	8,3%	9,0%	7,9%	8,1%	11,5%	7,2%	10,7%	8,8%	10,1%
Wohnung-Arbeit-Wohnung	8,2%	11,0%	9,5%	7,5%	7,9%	9,7%	7,5%	7,8%	6,9%	9,0%	8,2%
Wohnung-Einkauf-Wohnung-Freizeit-Wohnung	3,6%	2,8%	2,9%	3,8%	3,6%	3,6%	4,1%	3,0%	3,7%	3,2%	3,9%
Wohnung-Wohnung	3,5%	3,2%	4,4%	3,4%	2,8%	3,2%	4,4%	4,1%	3,3%	3,9%	3,3%
Wohnung-Ausbildung-Wohnung	2,8%	3,8%	3,3%	3,1%	2,8%	3,9%	2,0%	2,7%	2,6%	3,3%	2,1%
Wohnung-Arbeit-Wohnung-Freizeit-Wohnung	2,4%	2,6%	2,4%	2,5%	2,8%	2,4%	1,9%	2,5%	1,8%	2,4%	2,4%
Wohnung-Freizeit-Wohnung-Freizeit-Wohnung	2,2%	2,8%	2,3%	2,3%	2,6%	1,9%	1,6%	2,0%	2,4%	1,7%	2,2%
Wohnung-Einkauf-Wohnung-Einkauf-Wohnung	2,1%	2,0%	1,5%	2,1%	1,7%	2,1%	2,5%	1,7%	2,2%	1,8%	2,5%
Wohnung-Ausbildung-Wohnung-Freizeit-Wohnung	2,1%	1,9%	2,2%	2,4%	2,3%	2,9%	1,6%	2,1%	2,0%	2,2%	1,6%
Wohnung-Arbeit-Wohnung-Einkauf-Wohnung	1,9%	2,0%	2,2%	2,3%	1,8%	2,0%	2,1%	1,6%	1,4%	1,9%	1,9%
Wohnung-Freizeit-Freizeit-Wohnung	1,5%	1,1%	2,0%	1,4%	1,6%	1,1%	1,6%	1,5%	1,6%	1,3%	1,6%
Restliche Muster	49,9%	45,6%	47,5%	49,6%	52,7%	48,5%	46,3%	53,7%	50,3%	51,2%	49,3%

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)
1	Unter 2.000 Einw.
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)
9	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)
10	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 1 (Ortskern)

Diagramm 19: Verteilung der Aktivitätenmuster nach Raumtypisierung: BIK

Auch bei der Raumtypisierung nach BBR zeigt sich, dass die Aktivitätenmuster jeweils bei den Ländlichen Kreisen, den Verdichteten Kreisen und den Kernstädten ähnlich sind (Diagramm 20).

Aktivitätenmuster	Gesamt	BBR 1	BBR 2	BBR 3	BBR 4	BBR 5	BBR 6	BBR 7	BBR 8	BBR 9
	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %	in %
Wohnung-Freizeit-Wohnung	10,7%	11,1%	10,1%	10,4%	9,9%	10,4%	11,1%	10,4%	10,9%	10,9%
Wohnung-Einkauf-Wohnung	9,3%	10,5%	9,2%	9,0%	9,7%	9,8%	8,6%	7,6%	8,8%	9,7%
Wohnung-Arbeit-Wohnung	8,2%	7,8%	7,9%	8,4%	10,1%	7,5%	7,6%	9,0%	9,1%	9,5%
Wohnung-Einkauf-Wohnung-Freizeit-Wohnung	3,6%	4,1%	3,1%	3,5%	3,2%	3,5%	3,6%	3,0%	3,4%	4,0%
Wohnung-Wohnung	3,5%	3,1%	3,3%	4,0%	3,0%	3,2%	3,8%	3,4%	3,5%	3,9%
Wohnung-Ausbildung-Wohnung	2,8%	2,2%	2,5%	3,0%	3,6%	2,8%	3,0%	3,9%	2,6%	2,4%
Wohnung-Arbeit-Wohnung-Freizeit-Wohnung	2,4%	2,3%	2,4%	2,5%	2,5%	1,9%	2,3%	2,8%	2,4%	2,6%
Wohnung-Freizeit-Wohnung-Freizeit-Wohnung	2,2%	2,3%	2,0%	2,3%	1,6%	2,3%	2,3%	2,2%	2,4%	2,5%
Wohnung-Einkauf-Wohnung-Einkauf-Wohnung	2,1%	2,5%	1,9%	2,0%	2,2%	2,1%	2,0%	1,6%	1,9%	2,6%
Wohnung-Ausbildung-Wohnung-Freizeit-Wohnung	2,1%	1,6%	2,0%	2,3%	2,4%	2,4%	2,3%	2,4%	1,8%	2,2%
Wohnung-Arbeit-Wohnung-Einkauf-Wohnung	1,9%	1,8%	1,8%	1,7%	2,2%	1,5%	1,9%	1,9%	2,1%	2,6%
Wohnung-Freizeit-Freizeit-Wohnung	1,5%	1,7%	1,5%	1,2%	1,1%	1,6%	1,6%	1,5%	1,3%	1,3%
Restliche Muster	49,9%	49,2%	52,4%	49,6%	48,4%	51,3%	49,7%	50,1%	49,8%	46,0%

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen
5	Kernstädte in Verstädterten Räumen
6	Verdichtete Kreise in Verstädterten Räumen
7	Ländliche Kreise in Verstädterten Räumen
8	Ländliche Kreise höherer Dichte
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte

Diagramm 20: Verteilung der Aktivitätenmuster nach Raumtypisierung: BBR

Anschließend wurden die 12 häufigsten Wegemuster in den Raumtypisierungen einem χ^2 -Test unterzogen, der zeigen soll, ob die Verteilungen in den einzelnen Raumtypen signifikant voneinander verschieden sind.

Beim χ^2 -Test der Aktivitätenketten bei jeweils zwei betrachteten BIK-Typen zeigt sich, wie in Tabelle 10 zu sehen ist, dass bis auf eine Ausnahme die Anteile der Aktivitätenketten voneinander hoch signifikant bzw. signifikant voneinander verschieden sind.

χ^2 -Wert		χ^2 -Test der 12 häufigsten Aktivitätenmuster in den BIK-Klassen									
Signifikanzniveau											
BIK	Regionsgrößenklasse BIK 1-10 (802)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Unter 2.000 Einw.		55,431	121,488	89,226	48,938	168,792	87,046	187,038	63,927	184,429
			<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
2	2.000 bis unter 5.000 Einw.			73,912	59,287	50,951	115,703	18,105	134,495	37,655	137,220
				<0,0001	<0,0000	<0,0001	<0,0001	0,0792	<0,0001	<0,0001	<0,0001
3	5.000 bis unter 20.000 Einw.				43,303	50,140	109,371	63,220	119,512	58,282	148,760
					<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
4	20.000 bis unter 50.000 Einw.					48,246	159,088	54,093	145,045	69,124	145,931
						<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
5	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)						141,522	46,656	136,302	25,070	158,704
							<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,009	<0,0001
6	50.000 bis unter 100.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)							116,417	56,922	117,199	56,401
								<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
7	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)								142,145	34,550	149,836
									<0,0001	0,000	<0,0001
8	100.000 bis unter 500.000 Einw. + SGTYP 1 (Ortskern)									144,317	97,660
										<0,0001	<0,0001
9	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 2/3/4 (Ortsrand)										147,796
											<0,0001
10	500.000 Einw. und mehr + SGTYP 1 (Ortskern)										

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 10: χ^2 -Test der 12 häufigsten Aktivitätenmuster in der BIK-Typisierung

Ebenso zeigt der χ^2 -Test der Aktivitätenmuster bei den BBR-Typen bis auf eine Ausnahme eine hochsignifikante bzw. signifikante Verschiedenheit der Aktivitätenmuster im Vergleich zweier Raumtypen (vgl. Tabelle 11).

χ^2 -Wert		χ^2 -Test der 12 häufigsten Aktivitätenmuster in den BBR-Klassen								
Signifikanzniveau										
BBR	Siedlungsstruktureller Kreistyp BBR 1-9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Kernstädte in Agglomerationsräumen		83,543	110,761	121,987	52,968	156,687	285,347	81,541	70,228
			<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
2	Hochverdichtete Kreise in Agglomerationsräumen			21,702	45,836	20,259	420,978	950,119	21,541	32,840
				0,027	<0,0001	0,042	<0,0001	<0,0001	0,028	0,001
3	Verdichtete Kreise in Agglomerationsräumen				39,239	28,001	23,018	45,176	21,677	30,664
					<0,0001	0,003	0,018	<0,0001	0,027	0,001
4	Ländliche Kreise in Agglomerationsräumen					52,953	81,767	47,726	41,798	44,424
						<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
5	Kernstädte in Verstäderten Räumen						27,856	82,798	42,147	48,940
							0,0034	<0,0001	<0,0001	<0,0001
6	Verdichtete Kreise in Verstäderten Räumen							88,232	41,656	57,645
								<0,0001	<0,0001	<0,0001
7	Ländliche Kreise in Verstäderten Räumen								58,948	96,590
									<0,0001	<0,0001
8	Ländliche Kreise höherer Dichte									17,844
										0,0853
9	Ländliche Kreise geringerer Dichte									

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 11: χ^2 -Test der 12 häufigsten Aktivitätenmuster in der BBR-Typisierung

4.4 Schlussfolgerung

Mit den Daten des Deutschen Mobilitätspanels wurden die Kenngrößen der Mobilität (durchschnittliche Weegeanzahl, Verkehrsleistung, Unterwegszeit, Modal Split, Wegedauer, Wegelänge und Wegelängenverteilungen) von Personen in unterschiedlichen Raumtypen²³ im Hinblick auf die Übertragbarkeit von Individualdaten untersucht. Neben den deskriptiven Auswertungen der Mittelwerte dieser Kenngrößen wurden statistische Tests durchgeführt, um eine signifikante Verschiedenheit der Messwerte zu prüfen.

Mit den durchgeführten Auswertungen und Tests der MOP-Daten ist es gelungen, festzuhalten, dass

- die Mittelwerte der Mobilitätskenngrößen zwischen den Raumtypen wesentlich differieren,

²³ Die Auswertungen wurden sowohl in den Raumtypisierungen nach BIK als auch nach BBR durchgeführt.

- die Mittelwerte der Wegelängen und die Wegelängenverteilungen zwischen den Raumtypen meist signifikant bzw. hochsignifikant voneinander verschieden sind,
- die Mittelwerte der Wegelängen in deutschen Großstädten, die in demselben Raumtyp liegen, meist nicht signifikant voneinander verschieden sind,
- die Wegelängenverteilung innerhalb der Raumtypen über die verschiedenen Jahre in der Regel nicht signifikant voneinander verschieden sind und
- die 12 häufigsten Aktivitätenmuster zwischen den Raumtypen hoch signifikant bzw. signifikant voneinander verschieden sind.

Diese Auswertungen zeigen, dass Personen, die in raumstrukturell verschiedenen Wohnstandorten leben, unterschiedliche Mobilitätskenngrößen aufweisen. Daraus wird abgeleitet, dass das Mobilitätsbedürfnis der Personen neben dem Pkw-Besitz und weiteren soziodemografischen Eigenschaften auch vom Raumtyp des Wohnstandortes abhängt. Für bestimmte Räume, in denen keine empirischen Daten vorliegen, können somit Aktivitätenmuster von Personen für die mikroskopische Modellierung aus anderen gleichen Raumtypen verwendet werden. Dies ist eine Voraussetzung, um das Verkehrsverhalten der Einwohner der Außenzellen modellieren zu können, da in der Regel aus Kostengründen dort keine Erhebungen durchgeführt werden. Als Input für die mikroskopische Abbildung des Verkehrsverhaltens der Einwohner der Außenzellen werden somit Aktivitätenmuster verwendet, die aus dem gleichen Raumtyp wie die Außenzellen stammen.

5 Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Für die Modellierung des Verkehrs im Planungsraum sind auch die für den Planungsraum relevanten Fahrtbeziehungen, die von Nicht-Einwohnern des Planungsraums durchgeführt werden, von Bedeutung. Da bei der mikroskopischen Nachfragemodellierung alle Personen ausgehend von ihrem Wohnort modelliert werden, ist es notwendig zu wissen, welche räumliche Ausdehnung das Untersuchungsgebiet mindestens haben muss bzw. wie viele Personen zu berücksichtigen sind.

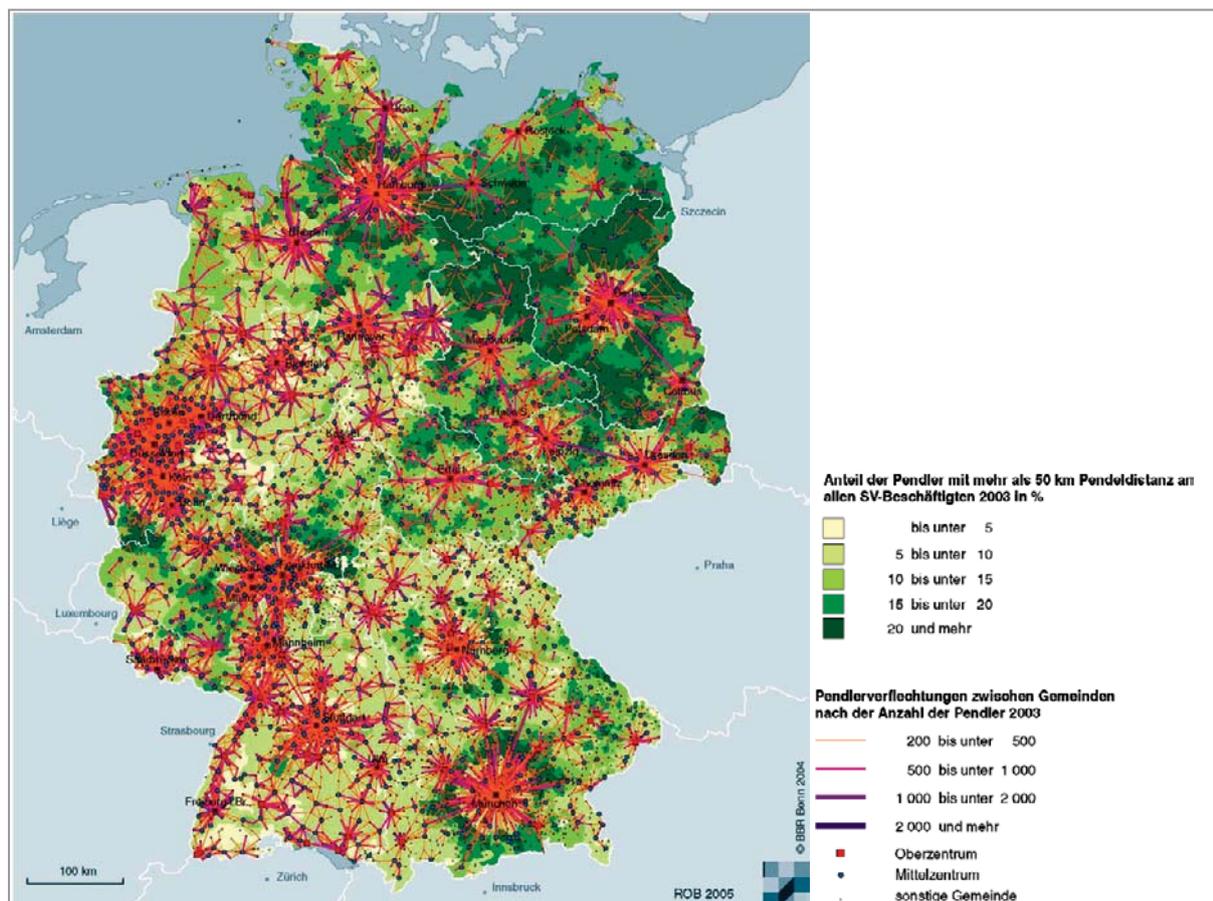
Bei der Abgrenzung eines Untersuchungsgebiets sind sowohl die Pendlerverflechtungen, die ein Maß für die Attraktivität eines Ziels darstellen, als auch die Raumtypisierung entscheidend. FRÖHLICH (Fröhlich 2008) stellte in seiner Arbeit fest, dass die Einwohner ihre Wohnzonen verlassen, wenn gut erreichbare Arbeitsplätze außerhalb einer Zone vorhanden sind. Diese Theorie wird auch bei den BIK-Typen, die Pendlerverflechtungen explizit für die Raumkategorisierung verwenden (vgl. Kap 3.1.2), berücksichtigt.

Die Pendelwege bestimmen maßgebend die Mobilität der Personen und somit auch die Einzugsbereiche von Planungsräumen. Bei Betrachtung der Wegezanzahl je Zweck im MOP kann festgestellt werden, dass ca. 20% aller Wege zum Zweck Arbeit gemacht werden. Bei der Untersuchung der zurückgelegten Wegstrecke pro Person und Tag nach Zweck wird etwa ein Drittel der Verkehrsleistung für den Zweck Arbeit aufgebracht.²⁴

Die Pendlerverflechtungen geben einen Aufschluss darüber, welche Einzugsbereiche die Gemeinden bzw. Großräume haben. Wie in Abbildung 13 zu sehen ist, konzentrieren sich die Pendelbeziehungen in Deutschland weitgehend auf die Ballungsräume bzw. auf zentrale Orte. Um Aussagen über eine Abgrenzung eines Untersuchungsgebiets treffen zu können, werden im Folgenden die Pendlerverflechtungen analysiert.

„Als Pendler gelten Beschäftigte, deren Wohnortgemeinde nicht mit dem gemeindebezogenen Sitz des Beschäftigungsbetriebs übereinstimmt. Zu einem bestimmten Stichtag werden die Beschäftigung anzeigenden Informationen aus dem Meldeverfahren zur Sozialversicherung von der Bundesanstalt für Arbeit regional nach dem Arbeitsort über die Betriebsnummer und nach dem Wohnort über die Anschrift des Versicherten zugeordnet“ (Bundesagentur für Arbeit 2006).

²⁴ Bei diesen Auswertungen (MOP-Daten der Jahrgänge 1994-2006) wurden nur die Wege zu einer Aktivität ohne den nach Hause-Weg und Sonstige Wege betrachtet.



Quelle: (BBR 2005)

Abbildung 13: Pendlerverflechtungen in Deutschland

5.1 Auswertung der Pendlerverflechtungen

Das Statistik-Datenzentrum der Bundesagentur für Arbeit veröffentlicht zum 30. Juni jeden Jahres die Statistik über Pendlerströme sozialversicherungspflichtig Beschäftigter auf Kreis-/ Gemeindeebene. Dabei werden die Pendlerverflechtungen nach Kreisen/ Gemeinden aufgeschlüsselt (Bundesagentur für Arbeit 2006). In der vorliegenden Arbeit werden die Datensätze des Jahres 2006 untersucht. Es kann davon ausgegangen werden, dass in den Folgejahren ähnliche Verflechtungen vorliegen.

Ziel der Aufbereitung der Daten ist es, das Maß der Pendlerverflechtungen der einzelnen Gemeinden untereinander zu identifizieren. Gemeinden, in denen sehr viele Arbeitsplätze zur Verfügung stehen, haben in der Regel auch eine hohe Anzahl an flexiblen Gelegenheiten (Freizeit, Einkaufen etc.). Mit Hilfe dieser Indikatoren kann die Attraktivität einer Gemeinde beschrieben werden.

Um die Abgrenzung des Untersuchungsgebiets festzulegen, ist der Einzugsbereich eines Planungsraums zu definieren. In Gemeinden mit hohen Einpendlerzahlen gibt

es in der Regel viele Arbeitsplätze. Daher konzentrieren sich die weiteren Untersuchungen auf die Einpendlerzahlen der jeweiligen Gebietskörperschaft(en).

Die Wahl der Ausdehnung des Untersuchungsgebiets hängt maßgeblich von der Aufgabenstellung eines Projekts ab: Bei Großprojekten (z. B. Autobahnplanung etc.) ist ein weiträumiges Territorium zu wählen, während bei der städtischen Verkehrsplanung das Untersuchungsgebiet so abzugrenzen ist, dass nur der Einflussbereich auf die Stadt abgebildet werden muss (Schnabel & Lohse 1997b). Innerhalb des definierten Untersuchungsgebiets ist eine Zelleneinteilung vorzunehmen, deren Größe von der räumlichen Lage und vom Planungsraum abhängig ist (Steierwald & Heinz 1981). Die Einteilung der Verkehrszellen im Planungsraum sollte zudem eine kleinere räumliche Ausdehnung haben als in den Außenzellen. Mit zunehmender Entfernung vom Planungsraum nehmen die räumlichen Ausdehnungen der Verkehrszellen zu, so dass die Detaillierung geringer wird. Wichtig bei der Zelleneinteilung ist darüber hinaus, dass für die jeweiligen Zellen geeignete, für die Modellierung benötigte Strukturdaten der Einwohner zur Verfügung stehen. Die Einteilung der Verkehrszellen erfolgt in der Regel nach politischen Grenzen und statistischen, verkehrstechnischen, strukturellen und geografischen Gesichtspunkten (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1991). Die Ermittlung der Verkehrsnachfrage sowohl im Planungsraum als auch in den Außenzellen erfolgt auf Basis der vorzunehmenden Zelleneinteilung.

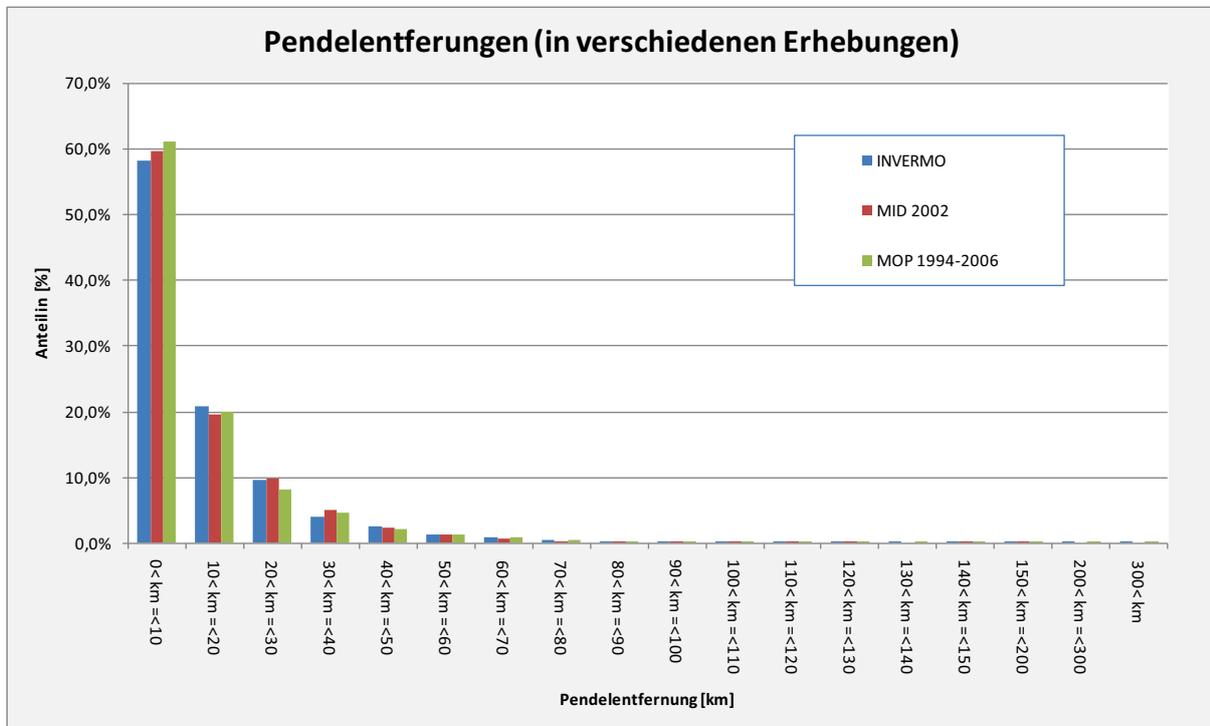
Als ideale Detaillierung für die Untersuchung werden die Kreise angesehen, da die Auswertung auf Gemeindeebene teilweise zu kleinräumig ist. Das heißt aber nicht, dass in der Praxis die Einteilung des Untersuchungsgebiets nur auf Kreisebene erfolgen muss.

Ziel dieser Berechnungen ist es, eine räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiets zu definieren, die mindestens bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage eines Planungsraums untersucht werden muss, um alle für den Planungsraum relevanten Verkehre zu berücksichtigen.

Zur Abgrenzung des Untersuchungsgebiets wird eine Berechnungsmethode dargelegt, der folgende Annahmen zu Grunde liegen:

- Maximale Ausdehnung der Außenzellen: Ring um die Grenzen des Planungsraums mit einer Entfernung von 100 km. Alle Beziehungen innerhalb dieses Ringes werden berücksichtigt.
- Berücksichtigung von Pendelbeziehungen zwischen den Gebietskörperschaften von mehr als 100 Personen.
- Summe aus dem Verhältnis der Pendler zwischen den Gebietskörperschaften zu den Gesamtauspendlern am Wohnort und dem Verhältnis der Pendler zwischen den Gebietskörperschaften zu den Gesamteinpendlern am Arbeitsort ist größer als 5%.

Um abschätzen zu können, welche Pendelentfernungen zurückgelegt werden, wurden aus großen deutschlandweiten Befragungen zum Mobilitätsverhalten (MID (Kunert et al. 2003), MOP (Zumkeller et al. 2007) und INVERMO (Manz 2005)) die Arbeitswege genauer untersucht. In Diagramm 21 ist die Wegelängenverteilung der Arbeitswege in Deutschland aggregiert in 10 km-Schritten zu sehen. Dabei zeigt sich, dass je nach Untersuchung 98,7% bis 99,5% aller Arbeitswege in Deutschland unter 100 km (einfache Entfernung) liegen (vgl. Tabelle 12).



Quelle: Eigene Berechnungen nach o.g. Daten

Diagramm 21: Pendelentfernungen aus Erhebungen zu INVERMO, MID und MOP

Pendelentfernung	Sum. Häufigkeit in [%] INVERMO	Sum. Häufigkeit in [%] MID	Sum. Häufigkeit in [%] MOP
0< km =<10	58.11%	59.68%	61.14%
10< km =<20	78.99%	79.24%	81.16%
20< km =<30	88.72%	89.14%	89.38%
30< km =<40	92.83%	94.26%	93.94%
40< km =<50	95.40%	96.63%	96.10%
50< km =<60	96.74%	97.95%	97.37%
60< km =<70	97.58%	98.73%	98.24%
70< km =<80	98.14%	99.10%	98.67%
80< km =<90	98.45%	99.32%	98.97%
90< km =<100	98.72%	99.54%	99.28%
100< km =<110	98.85%	99.65%	99.36%
110< km =<120	98.98%	99.75%	99.46%
120< km =<130	99.11%	99.85%	99.54%
130< km =<140	99.13%	99.85%	99.61%
140< km =<150	99.28%	99.92%	99.70%
150< km =<200	99.52%	100.00%	99.80%
200< km =<300	99.70%	100.00%	99.93%
300< km	100.00%	100.00%	100.00%

Quelle: Eigene Berechnungen nach o.g. Daten

Tabelle 12: Summierte Pendelanteile in km-Klassen aus den Erhebungen zu INVERMO, MID (2002) und MOP (Jahrgänge 1994 bis 2006)

Da Fernverkehrsfahrten häufig mit mindestens 100 km Entfernung definiert werden (vgl. auch (Manz 2005)), bietet es sich an, die maximale Abgrenzung für die Ermittlung der Verkehrsnachfrage der Außenzellen mit 100 km zu begrenzen.

Als weiteres Abgrenzungskriterium werden in den folgenden Berechnungen nur Beziehungen zwischen einzelnen Kreisen mit mehr als 100 Pendlern berücksichtigt. Pendelbeziehungen unter 100 Personen stellen zum einen keine wesentlichen Verflechtungen dar, zum anderen sind dies meist Pendlerverflechtungen mit großen Entfernungen, bei denen die Personen in einem Ort den Erstwohnsitz haben und in dem anderen Ort arbeiten, wo auch deren Zweitwohnsitz ist. Dies gilt auch für fast alle Pendlerverflechtungen über 100 km. Diese Fälle stellen keine täglichen Pendler dar, sondern fahren u. U. nur am Wochenende und sind in dem Fernverkehrsmodell von MANZ (Manz 2005) enthalten.

Es werden als weiteres Kriterium alle Pendelbeziehungen verworfen, die eine geringe Bedeutung für den Planungsraum haben. Das betrifft alle Pendelbeziehungen, bei

denen die Summe der Verhältnisse zwischen den Pendlern der betrachteten Landkreise zu den Gesamtauspendlern am Landkreis des Wohnorts und zwischen den Pendlern der betrachteten Landkreise zu den Gesamteinpendlern am Landkreis des Arbeitsortes kleiner ist als die 5%-Fraktile. Formel 4 zeigt diesen Zusammenhang:

$$\frac{\text{Pendelbeziehung der Landkreise } i, j}{\text{Gesamtauspendler Landkreis Wohnort } i} + \frac{\text{Pendelbeziehung der Landkreise } i, j}{\text{Gesamteinpendler Landkreis Arbeitsort } j} < 5\%$$

Formel 4: Pendelbeziehung ohne Bedeutung für den Planungsraum

Hierbei erwies sich die 5%-Fraktile, die mit Hilfe von Sensitivitätsuntersuchungen festgelegt wurde, als zielführend. Alle Beziehungen, die unter diese Kategorie fallen, sind von so kleiner Bedeutung, dass sie keinen Einfluss auf die Verkehrsnachfrage haben.

Diese Berechnungen werden für jeden Kreis in Deutschland durchgeführt und visualisiert. Da in der Geodatenbasis nur Luftlinienentfernungen zwischen den Gebietskörperschaften vorlagen, ist eine Umrechnung von der Luftlinienentfernung zu Netzentfernung nötig. Der Umrechnungsalgorithmus wird aus Auswertungen der Dateline-Erhebungen (Obermayer 2005) entnommen und lautet wie folgt:

$$y = -0,046 \cdot \ln(x) + 1,156$$

Mit: y Entfernung im Verkehrsnetz
x Luftlinienentfernung

Formel 5: Berechnung der Fahrtweiten im Verkehrsnetz auf Basis von Luftlinienentfernung

Unter Berücksichtigung der verkehrsmittelunabhängigen Netzentfernung ist es möglich, eine Software-Anwendung zu implementieren, die für alle Landkreise und Kreisfreien Städte in Deutschland das nach obigen Kriterien definierte Einzugsgebiet hinsichtlich der Pendlerverflechtungen abbildet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die flexiblen Ziele (Einkaufen, Freizeit etc.) die festen Ziele (Pendelbeziehungen) in ihrer räumlichen Ausdehnung nicht übersteigen. Dies wird durch die Auswertung der MOP-Daten der Jahre 1994-2006 bestätigt: Hier liegt die mittlere Entfernung, die für einen Einkaufsweg zurückgelegt wird, bei ca. 5,4 km und für einen Freizeitweg bei ca. 8,5 km. Der mittlere Arbeitsweg liegt bei einer Entfernung von ca. 17,2 km.

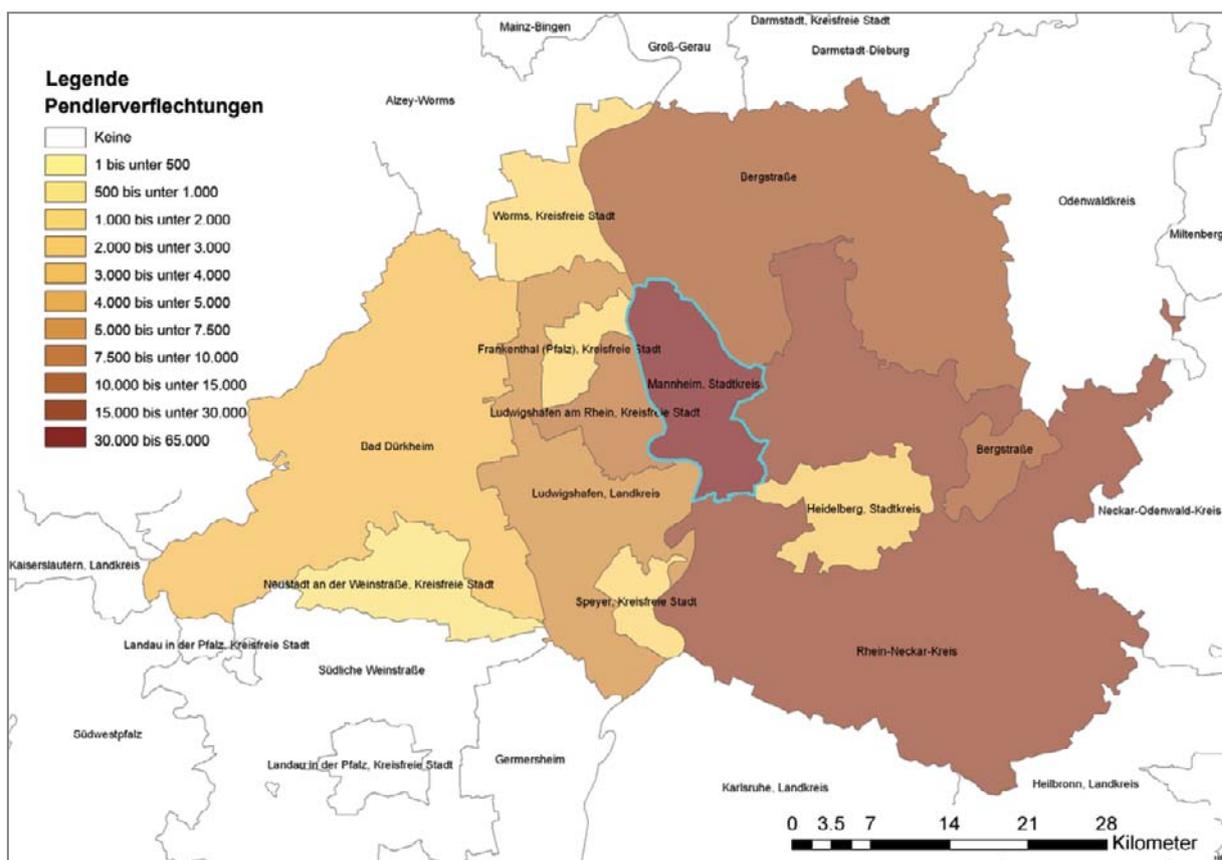
5.2 Räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiets an Beispielen

Anhand von zwei Beispielen wird das Untersuchungsgebiet nach den oben genannten Kriterien abgebildet. Dabei wird zum einen die Stadt Mannheim, eine der zentralen Gebietskörperschaften der Metropolregion Rhein-Neckar, und zum anderen der Ne-

ckar-Odenwald-Kreis, der ebenfalls in der Metropolregion Rhein-Neckar liegt, jedoch eher ländlich geprägt ist und keine großen Einpendlerzahlen aufweist, betrachtet.

5.2.1 Beispiel 1: Untersuchungsgebiet für die Gebietskörperschaft „Kreisfreie Stadt Mannheim“

Am Beispiel Mannheim zeigt sich, dass das Untersuchungsgebiet um das Oberzentrum Mannheim relativ groß ist. Durch die Auswertung der Pendelbeziehungen ergibt sich, dass auch weiter entfernt gelegene Gebiete wie z. B. Neustadt an der Weinstraße über Pendelbeziehungen einen Bezug zu Mannheim haben (vgl. Abbildung 14).



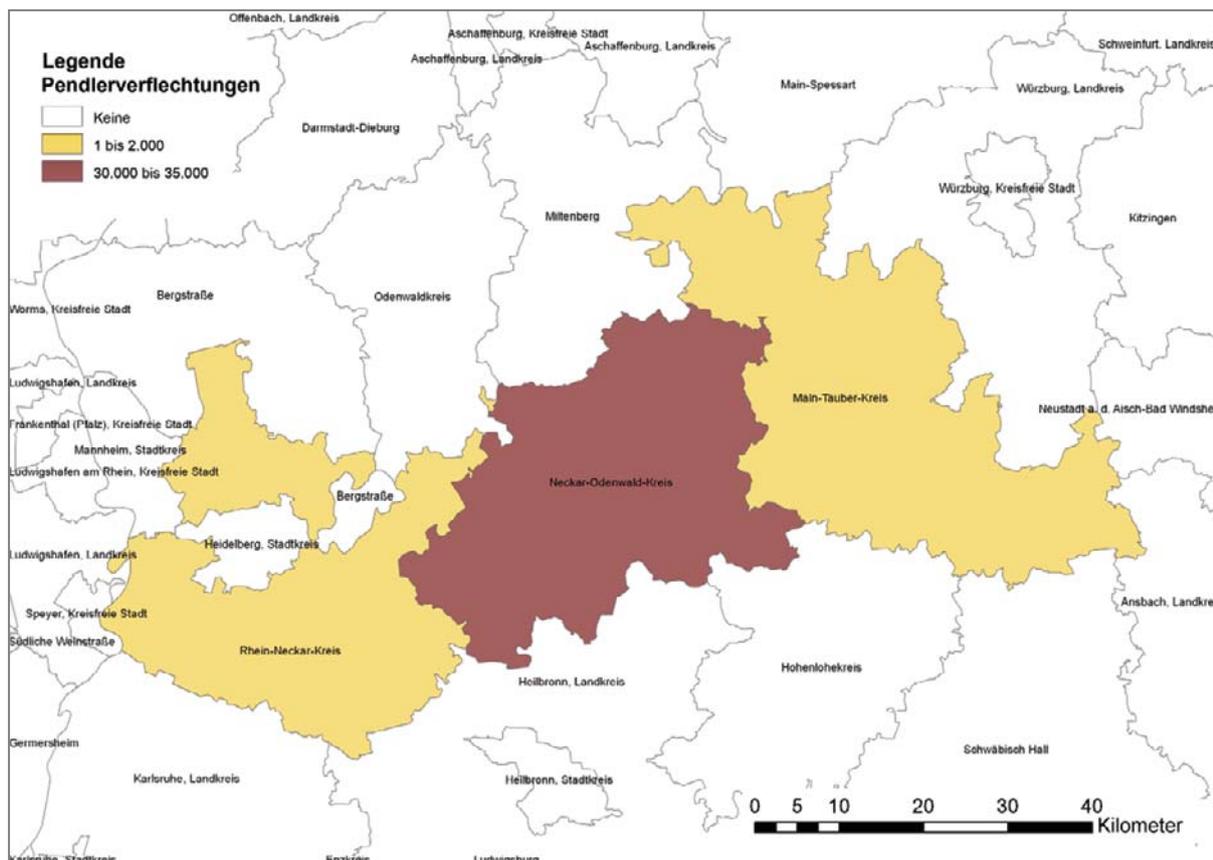
Quelle: Eigene Berechnung nach Daten der BAA (Bundesagentur für Arbeit 2006)

Abbildung 14: Untersuchungsgebiet der Kreisfreien Stadt Mannheim nach Pendlerverflechtungen

Bei einer Modellierung der Verkehrsnachfrage in Mannheim sind alle Gebiete, die nach den definierten Kriterien Beziehungen zu Mannheim aufweisen und farblich dargestellt sind, zu berücksichtigen.

5.2.2 Beispiel 2: Untersuchungsgebiet für die Gebietskörperschaft „Neckar-Odenwald-Kreis“

Betrachtet man nun einen eher ländlichen Kreis, wie z. B. den Neckar-Odenwald-Kreis, der ebenfalls in der Metropolregion Rhein-Neckar liegt, so sind hier nur Pendelrelationen zu einigen direkt benachbarten Kreisen zu sehen. Die Hauptverkehrsbeziehungen entstehen und enden im Kreis selbst. Starke Pendelverflechtungen aus anderen benachbarten Kreisen sind nicht festzustellen.



Quelle: Eigene Berechnung nach Daten der BAA (Bundesagentur für Arbeit 2006)

Abbildung 15: Untersuchungsgebiet des Neckar-Odenwald-Kreises nach Pendelverflechtungen

Bei einer Modellierung der Verkehrsnachfrage ist in diesem Fall mindestens der Main-Tauber-Kreis und der Rhein-Neckar-Kreis als räumlicher Umgriff des Untersuchungsgebiets zum Planungsraum Neckar-Odenwald-Kreis zu berücksichtigen.

5.3 Zusammenfassung

Diese beiden Beispiele zeigen, dass mit Hilfe der hier entwickelten Methodik zur Abgrenzung der Außenzellen je nach Planungsräumen eine unterschiedliche räumliche Ausdehnung des Untersuchungsgebiets berücksichtigt werden muss. Bei Ballungs-

räumen mit großem Einzugsgebiet ist die räumliche Ausdehnung der Außenzellen größer zu wählen (z. B. Mannheim) als bei ländlicheren Gemeinden oder Kreisen (z. B. Neckar-Odenwald-Kreis).

Die Beispiele von unterschiedlichen Gebietskörperschaften von differierender Größe und Raumstruktur zeigen, dass die angewendete Methode je nach Größe und Attraktivität der Gebietskörperschaft sensitiv reagiert. Die hier exemplarisch dargestellten Beispiele zeigen die Praxistauglichkeit der Methodik, die im Rahmen dieser Arbeit auf alle Kreise bzw. Kreisfreien Städte in Deutschland angewendet wurde und ausgegeben werden kann. Es ist auch ohne großen Aufwand möglich, die Methode zu differenzieren und auf Gemeindeebene auszudehnen, allerdings ist die Kreisebene vor allem für die Abbildung der Außenzellen auf Grund der politischen Abgrenzung und Strukturdatenverfügbarkeit eine sinnvolle Ebene.

Die mit Hilfe dieser Methode ermittelte räumliche Ausdehnung der Außenzellen und somit des Untersuchungsgebiets ist bei der mikroskopischen Modellierung der Verkehrsnachfrage mindestens zu berücksichtigen. Die Einwohner, die in diesen Außenzellen wohnen, sind bei der Nachfrageberechnung des Planungsraums zu modellieren.

6 Verfahren zur Ermittlung der für den Planungsraum relevanten Verkehrsnachfrage

Mit Hilfe der Übertragbarkeit der Individualdaten und der Abgrenzungen des Untersuchungsgebiets liegen die Voraussetzungen vor, um die Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen mikroskopisch zu modellieren. Auf Basis des folgenden Verkehrsnachfragemodells der Einwohner der Außenzellen werden alle Wege dieser Personen modelliert, die zu einem bestimmten Planungsraum Bezug haben. Es finden also alle Verkehrsbeziehungen Berücksichtigung, die von den Einwohnern der Außenzellen durchgeführt werden und im Planungsraum enden, dort beginnen oder diesen durchqueren.

Grundsätzlich wird bei der mikroskopischen Nachfragemodellierung jeder Haushalt und jede darin lebende Person berücksichtigt, indem alle durchgeführten Wege sowie deren Ziele und die benutzten Verkehrsmittel modelliert werden. Für diese Modellierung in einem Planungsraum ist der Haushaltskontext von großer Bedeutung, da die Wege der Personen und vor allem die benutzten Verkehrsmittel von der Verfügbarkeit im Haushalt abhängen.

Bei der Modellierung der für den Planungsraum relevanten Verkehre der Einwohner der Außenzellen ist der Haushaltskontext eher von untergeordneter Bedeutung. Die weiter entfernt liegenden Ziele, die diese Fragestellung hauptsächlich betrifft, haben eine höhere Priorität, als die alltäglichen, meist kürzeren Wege. Somit kann davon ausgegangen werden, dass in der Regel die Verkehrsmittel innerhalb des Haushaltskontextes gezielt für die priorisierten Wege verteilt werden. Das vorliegende Modell verwirft daher im Gegensatz zur mikroskopischen Modellierung des Planungsraums den Haushaltskontext und modelliert alle Personen einzeln. Es wäre nicht zielführend, einen gesamten Haushalt zu modellieren, wenn z. B. nur die älteste Person einen weiter entfernten Weg in den Planungsraum unternimmt und die Personen des restlichen Haushalts keine Wege mit Bezug zum Planungsraum aufweisen.

Das entwickelte Modell ist sowohl für die Modellierung eines einzelnen Tages als auch für einen längeren Zeitraum geeignet und kann in allen vorhandenen Modelltypen integriert werden. Derzeit existieren Mikrosimulationsmodelle, die die Verkehrsnachfrage der Einwohner eines Planungsraums über eine ganze Woche modellieren (Kuhnimhof 2007). Auch hier kann das vorliegende Modell integriert werden.

6.1 Vorüberlegungen

Bei der mikroskopischen Nachfragemodellierung der Einwohner des Planungsraums stehen also die Haushalte und die darin lebenden Personen im Mittelpunkt. Ausgehend von den Aktivitätsmustern jeder Person werden für die daraus resultierenden Wege die Ziele und die verwendeten Verkehrsmittel modelliert. Bei der Abbildung der Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen sind nur die Wege interessant, die den Planungsraum betreffen. Somit ist es nicht zielführend, alle Wege aller Personen der Außenzellen zu modellieren, da somit eine Datenmenge generiert würde, deren Informationen nicht benötigt werden. Darüber hinaus würde die Modellierung der Verkehrsnachfrage aller Einwohner der Außenzellen Zeit und Rechenkapazität benötigen, die für die Bearbeitung von Projekten hinderlich wäre.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Modell unterscheidet die in den Außenzellen wohnenden Personen in zwei grundsätzliche Typen:

- Personen, die ihre Arbeits- bzw. Ausbildungsstelle (feste Aktivitäten) im Planungsraum haben oder außerhalb des Planungsraums haben und diesen auf dem Weg dorthin durchfahren (= relevanter Pol für Planungsraum) und
- Personen, die ihre Arbeitsstelle außerhalb des Planungsraums haben und auf dem Weg dorthin diesen nicht durchfahren (= nicht relevanter Pol für Planungsraum). Diese Personen können nur flexible Aktivitäten (z. B. Einkauf, Freizeit und Dienstleistung) im Planungsraum durchführen.

Haben in den Außenzellen wohnende Personen einen Arbeits- oder Ausbildungsplatz im Planungsraum oder durchqueren den Planungsraum auf dem Weg zum Pol, so werden sämtliche Wege dieser Person analog zur Nachfragemodellierung des Planungsraums modelliert. Dies ist sinnvoll, da neben den festen Zielen auch viele flexible Ziele zwischen den Polen Wohnen und Arbeiten bzw. Ausbildung liegen (vgl. Abbildung 9). Somit ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass flexible Ziele von Personen mit relevantem Pol für den Planungsraum im Planungsraum liegen und berücksichtigt werden müssen.

Bei den restlichen Personen, also bei allen Personen, die auf ihrem Weg zur Arbeit oder zur Ausbildung den Planungsraum nicht berühren, werden nur die Wege zu den flexiblen Aktivitäten modelliert, da nur diese durch den Planungsraum führen könnten.

Vereinfachend werden für diesen Modellstrang nur einzelne Aktivitätenmusterabschnitte der Personen berücksichtigt. Diese Vereinfachung kann vorgenommen wer-

den, da weit entfernte Ziele selten nennenswerte Dreieckswege²⁵ enthalten. Falls dies doch der Fall ist, haben diese Wege zwischen weit entfernten Zielen keinen großen räumlichen Umgriff. Die weit entfernten Wege von Personen von einer Aktivität zur Nächsten (hier wurde von einer Entfernung von 40 km ausgegangen) weisen in 81% der Fälle einen sofortigen Rückweg mit ebenfalls einer größeren Distanz aus, ohne dass dazwischen ein (kurzer) Weg liegt (vgl. Tabelle 13).²⁶

Anzahl der Wege zwischen zwei weit entfernten Zielen	Wege mit 40 km Entfernung
0	81,2%
1	9,2%
2	6,0%
3	2,0%
4	0,9%
5	0,3%
6	0,2%
7	0,1%
8	0,1%

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 13: Anzahl der Wege zwischen zwei weit entfernten Zielen im MOP

Im Modellteil für die Einwohner der Außenzellen ohne relevanten Pol für den Planungsraum werden somit nur die Hinwege modelliert und die Rückwege durch Spiegelung generiert. Die Dauer der Aktivität wird jeweils aus den Aktivitätenmustern in der Verkehrsnachfrageentstehung übernommen.

6.2 Modellüberblick

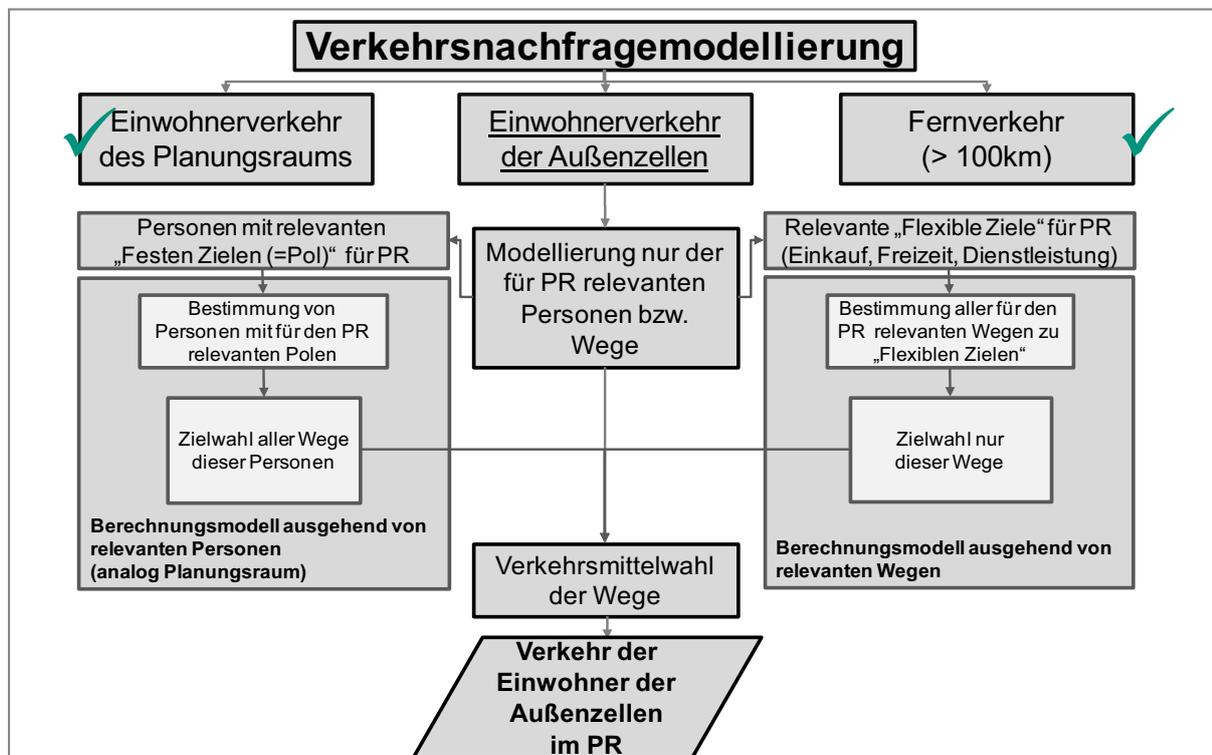
In Abbildung 16 ist die mikroskopische Verkehrsnachfragemodellierung eines Untersuchungsgebiets im Überblick dargestellt. Grundsätzlich wird in diesem Ansatz unter-

²⁵ Dreieckswege sind Wegekettens mit mehr als einem Ziel zwischen dem Hin- und Rückweg.

²⁶ Bei diesen Auswertungen wurden nur Wege betrachtet, die nicht zum Zweck Arbeit oder Ausbildung gemacht werden, da im vorliegenden Modell diese Wege nach einem anderen Vorgehen modelliert werden. Da das MOP nicht georeferenziert ist, kann nur über die Entfernung abgeschätzt werden, ob es sich um weit entfernte Wege von z. B. Außenzellen in einen Planungsraum handelt.

teilt in die Modellierung des Verkehrsverhaltens der Einwohner des Planungsraums, der Einwohner der Außenzellen und in die Modellierung des Fernverkehrs.

Im Folgenden wird das Modell für Einwohner der Außenzellen, das im Rahmen dieser Arbeit erstellt wurde, detailliert beschrieben.

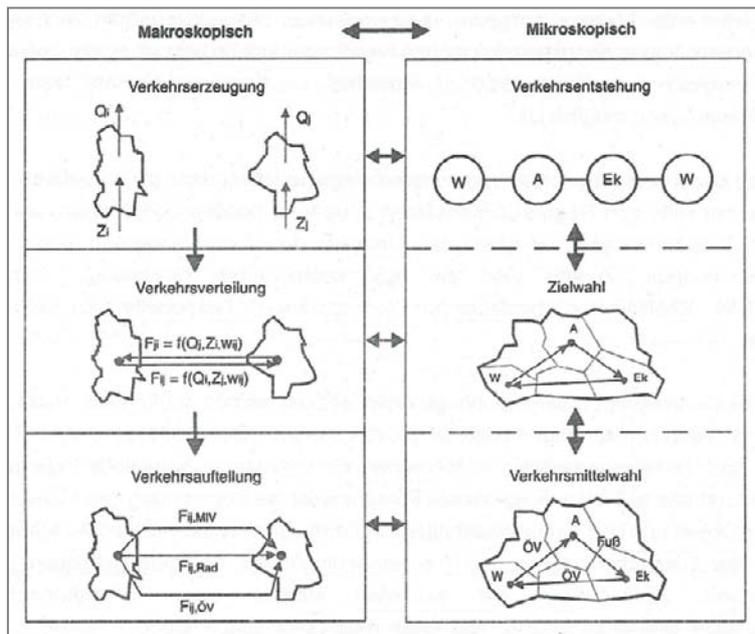


Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 16: Überblick zur mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellierung

Der grundsätzliche Ablauf der Nachfragemodellierung ist in der Abbildung 17 (Waßmuth 2001) zu sehen. In der mikroskopischen Modellierung laufen die drei Modellschritte wie folgt ab:

- Verkehrsentstehung: Generierung der Aktivitätenmuster und der Pole.
- Zielwahl: Modellierung der Ziele der Wege.
- Verkehrsmittelwahl: Modellierung der Verkehrsmittel zu den Wegen.



Quelle: (Waßmuth 2001)

Abbildung 17: Ablauf der Verkehrsnachfragemodellierung

Die Verkehrsentstehung beinhaltet die Generierung aller in den Außenzellen wohnenden Personen mit deren sozioökonomischen Merkmalen, der Verkehrsmittelverfügbarkeit und deren Aktivitätenmuster sowie die Lage der Pole (Arbeiten oder Ausbildung). Dabei gibt es zahlreiche Möglichkeiten, diese zu modellieren (vgl. Kapitel 3.3). Neben der Generierung der Verkehrsentstehung aus mikroskopischen Modellimplementierungen, wie zum Beispiel von KUHNIMHOF (Kuhnimhof 2007), GRINGMUTH (Gringmuth 2006) oder MATSIM (Nagel 2005), kann diese auch mit mobiTopp generiert werden (Schnittger & Zumkeller 2004). In dieser Arbeit wurde die Verkehrsentstehung mit mobiTopp simuliert.

Für die folgende Modellierung der Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen wird davon ausgegangen, dass alle synthetisch generierten Einwohner der Außenzellen mit den Personeneigenschaften und Aktivitätenmustern sowie den Zellen der Arbeits- und Ausbildungsplätze zur Verfügung stehen.

In dem hier entwickelten Modell zur Verkehrsnachfragemodellierung der Einwohner der Außenzellen (vgl. Abbildung 16) wird nun nach Personen unterschieden, die feste Ziele im Planungsraum haben oder auf dem Weg zu diesen festen Zielen den Planungsraum durchqueren. Bei diesem Modellteil steht die Person im Mittelpunkt und es wird analog zum Planungsraum jede Person mit sämtlichen Wegen mikroskopisch modelliert.

Bei den Personen, die in den Außenzellen wohnen und nur flexible Ziele im Planungsraum haben können, wird nur von den für den Planungsraum relevanten Wegen aller Personen ausgegangen, die mit Hilfe des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modells abgebildet werden.

Anschließend findet eine Verkehrsmittelwahlmodellierung statt, in der zu allen Wegen ein Verkehrsmittel modelliert wird. Das Resultat ist eine Datenbank mit allen für den Planungsraum relevanten Wegen und den gewählten Verkehrsmitteln.

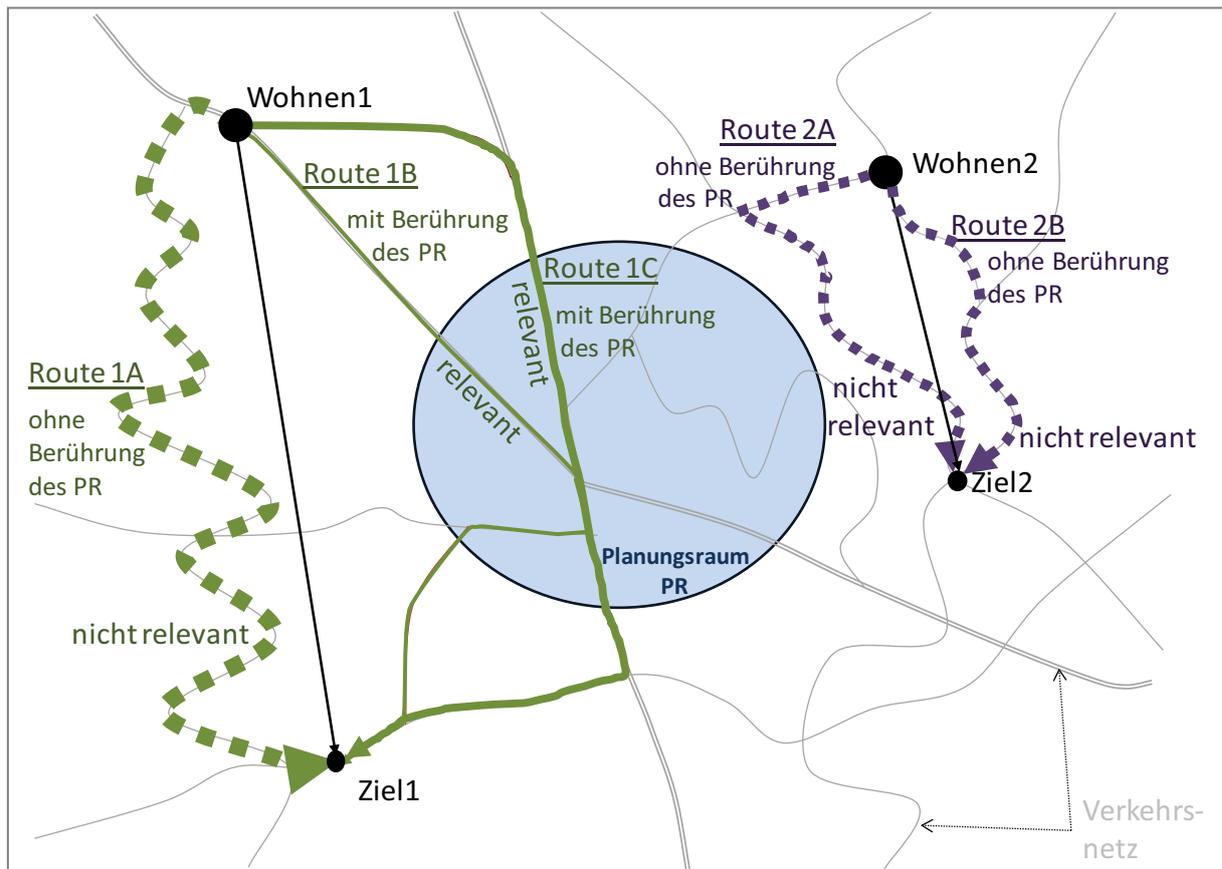
6.3 Modellierung des Verkehrs der Einwohner der Außenzellen

Die beiden Modellstränge für die Einwohner der Außenzellen mit und ohne für den Planungsraum relevanten Pol werden im Folgenden beschrieben. Da die Identifikation der für den Planungsraum relevanten Wege für beide Modellstränge von Bedeutung ist, wird diese vorab beschrieben.

6.3.1 Relevante Wege für den Planungsraum

Viele Wege der Einwohner der Außenzellen berühren den Planungsraum nicht, da die meisten Wege intrazonale Wege oder Wege in die umliegenden Zonen sind. Diese Art der Wege ist für die zu Grunde liegende Aufgabenstellung uninteressant und kann unberücksichtigt bleiben. Für die Modellierung der Wege der Einwohner der Außenzellen ist zu identifizieren, ob die Wege-Beziehungen zwischen zwei Zellen den Planungsraum berühren.

Grundsätzlich sind alle Wege für den Planungsraum relevant, die entweder im Planungsraum beginnen und/ oder dort enden. Des Weiteren können Wege für den Planungsraum relevant sein, wenn sie weder dort beginnen noch enden, aber durch diesen führen. Abbildung 18 verdeutlicht den Zusammenhang grafisch. Betrachtet man zum Beispiel eine Relation von Wegen $F_{W1,Z1}$ zwischen dem Wohnort „Wohnen1“ und dem Ziel „Ziel1“, so gibt es mehrere Routen (Route 1A, 1B und 1C). Während die Routen 1B und 1C für den Planungsraum relevant sind und bei der Nachfragemodellierung berücksichtigt werden müssen, ist die Route 1A nicht für den Planungsraum relevant und kann vernachlässigt werden.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 18: Schematische Darstellung von für den Planungsraum relevanten Wegen

Das zweite Beispiel der Abbildung 18 zeigt zwei benutzte Routen (Route 2A und 2B) zwischen dem Wohnort „Wohnen2“ und dem Ziel „Ziel2“, die beide nicht für den Planungsraum relevant sind. Bei der Modellierung der Nachfrage können beide vernachlässigt werden, da diese die Netze im Planungsraum nicht belasten. Grundsätzlich werden mit zunehmender Entfernung der Wohnzelle vom Planungsraum die relevanten Wege für den Planungsraum weniger, da die Umwegigkeit der Routen, die durch den Planungsraum führen, zunimmt.

Um die Relevanz einer Relation für den Planungsraum zu ermitteln, wird der Anteil der Berührung des Planungsraums eingeführt, der beschreibt, in welchem Maß der Planungsraum berührt wird. Dieser Anteil der Berührung des Planungsraums ist maßgeblich vom Verkehrsangebot abhängig, so dass das Verkehrsnetz berücksichtigt werden muss.

Der Anteil der Berührung des Planungsraums je Relation $ab_{i,j}$ wird jeweils aus dem Quotienten der Summe aller in den Planungsraum einströmenden Fahrten aus den Verkehrsspinnenauswertungen und der bei der Umlegung eingespeisten Gesamtmenge an Fahrten je Relation ermittelt (vgl. Formel 6). Dabei ist zu beachten, dass auf Grund der Führungen der Verkehrsnetze die Fahrten mehrmals in den Planungsraum einströmen können. Bei der Analyse der Verkehrsspinnen sind diese einströmenden Fahrten nur einmalig zu berücksichtigen.

$$ab_{i,j}^{VM} = \frac{n_{i,j}^{VM,Sp}}{n_{i,j}^{VM,Ges}}$$

- Mit:
- $ab_{i,j}^{VM}$ Anteil der Berührung des Planungsraums der Relation der Zellen i und j für Verkehrsmittel VM (MIV oder ÖV).
 - $n_{i,j}^{VM,Sp}$ Anzahl der Fahrten (aus der Verkehrsspinnenauswertung Sp) der Relation der Zellen i und j für Verkehrsmittel VM (MIV oder ÖV), die den Planungsraum berühren.
 - $n_{i,j}^{VM,Ges}$ Anzahl der Gesamtfahrten der Relation der Zellen i und j für Verkehrsmittel VM (MIV oder ÖV).

Formel 6: Berechnung des Anteils der Berührung des Planungsraums je Verkehrsmittel

Da zu diesem Zeitpunkt der Nachfragemodellierung noch keine Verkehrsmittelpräferenzen für die Fahrtrelationen vorhanden sind und es sich in der Regel bei derartigen Fahrten um weitere Distanzen handelt, spielen die beiden Verkehrsträger MIV und ÖV eine wesentliche Rolle. Die Verkehrsträger Fuß und Rad bleiben auf Grund der großen Distanzen unberücksichtigt.

Zur Ermittlung des Anteils der Berührung des Planungsraums aller Relationen der Zellen i und j gibt es unter Berücksichtigung der Verkehrsmittel mehrere Möglichkeiten.

Idealerweise ist der Anteil der Berührung des Planungsraums für den MIV und den ÖV durchzuführen und ein kombinierter Anteil aus beiden unter Berücksichtigung des Modal Splits wie folgt zu ermitteln:

$$ab_{i,j} = \frac{ab_{i,j}^{MIV} \cdot Ant_{i,j}^{MIV} + ab_{i,j}^{\ddot{O}V} \cdot Ant_{i,j}^{\ddot{O}V}}{Ant_{i,j}^{MIV} + Ant_{i,j}^{\ddot{O}V}}$$

Mit:

$ab_{i,j}$	Anteil der Berührung des Planungsraums der Relation der Zellen i und j
$ab_{i,j}^{MIV}$	Anteil der Berührung des Planungsraums der Relation der Zellen i und j für Verkehrsmittel (MIV)
$Ant_{i,j}^{MIV}$	MIV-Anteil der Relation oder vereinfachend ein zur Verfügung stehender Mittelwert oder geeignete Annahmen
$ab_{i,j}^{\ddot{O}V}$	Anteil der Berührung des Planungsraums der Relation der Zellen i und j für Verkehrsmittel (ÖV)
$Ant_{i,j}^{\ddot{O}V}$	ÖV-Anteil der Relation oder vereinfachend ein zur Verfügung stehender Mittelwert oder geeignete Annahmen

Formel 7: Berechnung des Anteils der Berührung des Planungsraums - Möglichkeit 1

Da in der Praxis oft kein großräumiges, die Außenzellen umspannendes operationales Netzmodell für den ÖV zur Verfügung steht, wird vereinfachend angenommen, dass bezüglich der Zielwahl für weiter entfernte Strecken, um die es in diesem Fall geht, der ÖV sich nicht grundlegend anders verhält als der MIV, da sowohl das MIV- aber auch das ÖV-Netz tendenziell radial auf ein Zentrum ausgerichtet sind. Beim ÖV-Netz fehlen hingegen in der Regel die tangentialen Verbindungen im Vergleich zum MIV-Netz.

Da im Verkehrsmittelwahlmodell die Verkehrsträger auf Basis der verkehrsmittelspezifischen Widerstände bestimmt werden, ist es nicht zwingend notwendig den ÖV bei der Ermittlung des Anteils der Berührung des Planungsraums zu berücksichtigen. Sofern bei Praxisanwendungen nur ein die Außenzellen umspannendes operationales Netzmodell für den MIV vorliegt, berechnet sich der Anteil der Berührung des Planungsraums wie folgt:

$$ab_{i,j} = \frac{ab_{i,j}^{MIV} \cdot Ant_{i,j}^{MIV} + ab_{i,j}^{MIV} \cdot Ant_{i,j}^{\ddot{O}V}}{Ant_{i,j}^{MIV} + Ant_{i,j}^{\ddot{O}V}} = ab_{i,j}^{MIV}$$

Mit:

$ab_{i,j}$	Anteil der Berührung des Planungsraums der Relation der Zellen i und j
$ab_{i,j}^{MIV}$	Anteil der Berührung des Planungsraums der Relation der Zellen i und j für Verkehrsmittel (MIV)
$Ant_{i,j}^{MIV}$	MIV-Anteil der Relation oder vereinfachend ein zur Verfügung stehender Mittelwert oder geeignete Annahmen
$Ant_{i,j}^{\ddot{O}V}$	ÖV-Anteil der Relation oder vereinfachend ein zur Verfügung stehender Mittelwert oder geeignete Annahmen

Formel 8: Berechnung des Anteils der Berührung des Planungsraums - Möglichkeit 2

Aus Formel 8 resultiert, dass nur der Anteil der Berührung des Planungsraums im MIV berücksichtigt wird, da sich die MIV- und ÖV-Anteile egalieren. Üblicherweise liegt der Modal-Split-Anteil des MIV weitaus höher als der des ÖV. Als Beispiel können hier Auswertungen des MOP der Jahre 1994 bis 2006 angegeben werden (vgl. Tabelle 14), bei denen der MIV-Anteil bei Fahrten über 10 km bei 84% und der ÖV-Anteil bei 13% liegt.²⁸ Betrachtet man Fahrten über 50 km, so liegt der MIV-Anteil bei 81% und der ÖV-Anteil bei 16%.²⁹

Der reziproke Fall, in dem nur ein operationales, die Außenzellen umspannendes Netzmodell für den ÖV zur Verfügung steht und nicht für den MIV, erlaubt nicht die Annahme, nur das ÖV-Netz zu verwenden. Da sich das ÖV-Netz an den existierenden Schienenverbindungen orientiert, würden so Verbindungen vor allem im ländlichen Raum unterbewertet, für die nur ein Straßennetz zur Verfügung steht. Die folgenden Auswertungen der Tabelle 14 zeigen, dass der ÖV-Anteil je nach Entfernung des Weges zwischen 13% und 18% variiert, während der MIV-Anteil zwischen 78% und 84% liegt.

Verkehrsmittel	Anteil am Gesamtverkehr in %		
	MIV	ÖV	Weitere (Fuß, Rad, sonstige Verkehrsmittel)
Alle Wege	59,6	8,1	32,3
Wege > 5 km	81,0	13,4	5,7
Wege > 10 km	83,7	13,4	2,8
Wege > 20 km	84,4	13,6	2,0
Wege > 30 km	83,3	14,6	2,0
Wege > 40 km	82,4	15,4	2,2
Wege > 50 km	81,3	16,2	2,5
Wege > 60 km	80,8	16,4	2,8
Wege > 70 km	80,6	16,3	3,1
Wege > 80 km	79,7	17,0	3,3
Wege > 90 km	78,5	17,8	3,7
Wege > 100 km	77,7	18,1	4,2

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der MOP-Jahrgänge 1994 bis 2006

Tabelle 14: Modal Split nach Verkehrsmittel und Wegelänge im MOP

Der so für jede Relation ermittelte Anteil der Berührung des Planungsraums $ab_{i,j}$ wird der weiteren Berechnung zu Grunde gelegt.

²⁸ Die restlichen 3% setzten sich aus Fuß-, Rad- und sonstigen Verkehrsmittelanteilen zusammen.

²⁹ Fuß-, Rad- und sonstiger Verkehrsmittelanteil liegt bei 3%.

6.3.3 Modellierung der Einwohner der Außenzellen mit relevantem Pol für den Planungsraum

Ein Pol ist ein räumlicher Bezugspunkt einer Person. Neben der eigenen Wohnung werden Arbeits- oder Ausbildungsstätten regelmäßig von Personen aufgesucht. Personen, die in den Außenzellen wohnen, haben einen für den Planungsraum relevanten Pol, wenn:

- der Pol im Planungsraum liegt oder
- der Weg zum Pol durch den Planungsraum führt.

Anhand des Anteils der Berührung des Planungsraums wird für jede Relation zwischen den Polen (Wohnen - Arbeiten/ Ausbildung) jeder in den Außenzellen wohnenden Person mittels Monte-Carlo-Simulation entschieden, ob der Weg für den Planungsraum relevant ist. Der Anteil der Berührung des Planungsraums je Relation liegt im Wertebereich $[0,1]$. Ist der Anteil der Berührung des Planungsraums für eine Relation vom Wohnort zum Pol einer Person gleich null, so ist dieser Pol für den Planungsraum nicht relevant. Ist der Anteil der Berührung des Planungsraums für eine Wohnort-Pol-Relation einer Person gleich eins, so ist der Pol immer relevant. Liegt der Anteil der Berührung des Planungsraums zwischen null und eins, wird mit Hilfe einer Zufallszahl modelliert, ob der Pol einer zu simulierenden Person für den Planungsraum relevant ist.

Bei allen Personen, die einen relevanten Pol für den Planungsraum haben, werden alle Wege bzw. Aktivitäten über den gesamten Untersuchungszeitraum (entweder einen Tag oder länger) modelliert. Im Gegensatz zu den Personen im Planungsraum werden nur die einzelnen Personen und nicht die gesamten Haushalte in den Außenzellen modelliert, weil davon ausgegangen werden kann, dass die anderen Haushaltsmitglieder nicht zwingend Wege im Planungsraum unternehmen. Die restlichen Haushaltsmitglieder, sofern sie keinen relevanten Pol für den Planungsraum haben, fallen unter die Kategorie der in den Außenzellen wohnenden Personen ohne relevanten Pol für den Planungsraum (vgl. 6.3.4) und werden dort berücksichtigt.

Für jede flexible Aktivität einer Person mit relevantem Pol für den Planungsraum wird mit einem Gelegenheitsmodell (Attraktivitätenmodell) ein Ziel simuliert (Schnabel & Lohse 1997a). Dabei fließen die Gelegenheiten jeder Zielzelle und die Widerstände (hauptsächlich Entfernung, aber auch Kosten etc. sind möglich) von der Ausgangszelle zu jeder Zielzelle ein. Die allgemeine Form der Berechnung ist der Formel 9 zu entnehmen.

$$P_{i|j}^k = \frac{\frac{G_i^k}{w_{i,j}^{\alpha_k}}}{\sum_i \frac{G_i^k}{w_{i,j}^{\alpha_k}}}$$

- Mit: $P_{i|j}^k$ Wahrscheinlichkeit der Wahl der Zelle i für Personen aus der Zelle j für Verkehrszweck k
 G_i^k Quantifizierte Gelegenheit der Zelle i für den Verkehrszweck k
 $w_{i,j}$ Reisewiderstand zwischen den Zellen i und j
 α_k Exponent differenziert nach Verkehrszweck k

Formel 9: Gelegenheitsmodell

Nachdem die Zielzellen der Aktivitäten simuliert wurden, werden die Verkehrsmittel zu den Wegen mit einem nutzenmaximierten Discrete Choice Modell, einem Conditional Logit Modell, modelliert, in das die Eigenschaften der Alternativen einfließen. Die Alternativen sind alle zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel. Dabei werden vereinfachend dieselben Variablen und Parameter verwendet, die für den Planungsraum geschätzt wurden.³⁰ Die allgemeine Form der Berechnung der Wahrscheinlichkeiten nach BEN-AKIVA und LERMAN (Ben-Akiva & Lerman 1985) ist der Formel 10 zu entnehmen:

$$P_{n,i} = \frac{e^{U_{n,i}}}{\sum_i e^{U_{n,i}}}$$

- Mit: $P_{n,i}$ Wahrscheinlichkeit des Verkehrsmittels i für Person n
 $U_{n,i}$ Nutzen des Verkehrsmittels i für Person n
i Verkehrsmittel

Formel 10: Conditional Logit Modell

Der Nutzen des Verkehrsmittels berechnet sich aus Formel 11:

³⁰ Da in der Regel in den Außenzellen keine Befragungen durchgeführt werden, stehen meist keine Primärdaten zur Schätzung der Parameter zur Verfügung. Vereinfachend werden die Parameter aus dem Planungsraum übernommen. Dies ist zulässig, da unter anderem die Entfernungen und Kosten der Relation mit in die Berechnungen einfließen und so die lokalen Gegebenheiten abgebildet werden können.

$$U_{n,i} = \beta_i + \beta_{AS_j} \cdot AS_{i,j} + \beta_{AS_{j+1}} \cdot AS_{i,j+1} + \dots + \beta_{time} \cdot Time_i + \beta_{cost} \cdot Cost_i$$

Mit:	$U_{n,i}$	Nutzen des Verkehrsmittels i für Person n
	β_i	Konstante des Verkehrsmittels i
	β_{AS_j}	Koeffizient der alternativenspezifischen Variablen AS_j
	$AS_{i,j}$	Alternativenspezifische Variable j des Verkehrsmittels i
	β_{time}	Koeffizient der Alternativeneigenschaft Reisezeit
	$Time_i$	Alternativeneigenschaft Reisezeit des Verkehrsmittels i
	β_{cost}	Koeffizient der Alternativeneigenschaft Reisekosten
	$Cost_i$	Alternativeneigenschaft Reisekosten des Verkehrsmittels i

Formel 11: Nutzenberechnung

Die Modellierung aller Wege der Einwohner der Außenzellen mit für den Planungsraum relevanten Polen beinhaltet noch keine Rechenzeiterparnis gegenüber den bisherigen Modellierungsansätzen. Inhaltlich ist diese Vorgehensweise jedoch nötig, da Personen mit Pol im Planungsraum auch Wege in der näheren Arbeits- oder Ausbildungsumgebung durchführen. Derartige Wege sollen nicht vernachlässigt werden.

Für eine anschließende Routenwahl oder Umlegung der Wege der Einwohner der Außenzellen mit für den Planungsraum relevanten Polen ist darauf zu achten, dass nur die Wege zu flexiblen Zielen umgelegt werden, die auch den Planungsraum betreffen (vgl. Kapitel 6.3.4.3). Diese Wege können mit Hilfe des Anteils der Berührung des Planungsraums und einer Monte-Carlo-Simulation selektiert werden.

Die Modellierung der Einwohner der Außenzellen ohne für den Planungsraum relevanten Polen wird im Folgenden beschrieben.

6.3.4 Modellierung der Einwohner der Außenzellen ohne relevanten Pol für den Planungsraum

Ziel dieses Modells ist, den Verkehr der Einwohner der Außenzellen im Planungsraum sinnvoll abzubilden und gleichzeitig Rechenleistung und Rechenzeit gegenüber den bisherigen Modellierungsansätzen zu sparen. Im Wesentlichen konzentriert sich das Modell darauf, die Stufe der Zielwahlmodellierung so zu erweitern, dass nur die Verkehre, die den Planungsraum betreffen, weiterverfolgt und die übrigen Wege verworfen werden.

Die folgenden Modellschritte werden für alle Einwohner in den Außenzellen angewendet, die keinen relevanten Pol für den Planungsraum haben (vgl. Kapitel 6.3.3).

6.3.4.1 Zielwahlmodell für die Einwohner der Außenzellen

Für das Zielwahlmodell der Wege der Einwohner der Außenzellen ohne relevanten Pol werden deren Aktivitäten einzeln betrachtet. Im Rahmen der Zielwahl wird das Gelegenheitsmodell (vgl. Formel 9 (Seite 95)) um den Anteil der Berührung des Planungsraums erweitert. Dieser beschreibt den Anteil der Fahrten von einer Quelle in den Außenzellen zu einem Ziel im Untersuchungsgebiet, die den Planungsraum betreffen. Das erweiterte Gelegenheitsmodell zeigt Formel 12. Pab_{ij}^k beschreibt die Wahlwahrscheinlichkeit der Zelle i für den Verkehrszweck k für Personen aus der Außenzelle j unter der Maßgabe, dass der Planungsraum betroffen ist.

$$Pab_{ij}^k = \left(\frac{\frac{G_i^k}{w_{i,j}^{\alpha_k}}}{\sum_i \frac{G_i^k}{w_{i,j}^{\alpha_k}}} \right) \cdot ab_{i,j}$$

- Mit:
- Pab_{ij}^k Wahlwahrscheinlichkeit der Zelle i für den Verkehrszweck k für Personen aus der Außenzelle j unter der Maßgabe, dass der Planungsraum betroffen ist
 - G_i^k Quantifizierte Gelegenheit für den Verkehrszweck k der Zelle i
 - $w_{i,j}$ Reisewiderstand zwischen den Zellen i und j
 - α_k Exponent differenziert nach Verkehrszweck k
 - $ab_{i,j}$ Anteil der Berührung des Planungsraums der Relation der Zellen i und j

Formel 12: Erweitertes Gelegenheitsmodell

Um nur die Wege der Einwohner der Außenzellen mit Bezug zum Planungsraum modellieren zu können, werden getrennt nach Wegezweck die Wahlwahrscheinlichkeiten Pab_{ij}^k für alle Zielzellen je Außenzelle aufsummiert. Diese Summe $PW_{PR|j}^k$ ist die Wahlwahrscheinlichkeit der den Planungsraum betreffenden Wege je Verkehrszweck und Außenzelle. $PW_{PR|j}^k$ hat einen Wertebereich von $[0,1]$. Tendenziell liegt die Wahlwahrscheinlichkeit eines für den Planungsraum relevanten Weges $PW_{PR|j}^k$ im unteren Wertebereich. Bei einem Wert von eins würden alle Wege von den Außenzellen zu allen anderen Zellen durch den Planungsraum führen. Formel 13 stellt diesen Zusammenhang dar:

$$PW_{PR|j}^k = \sum_i Pab_{ij}^k = \sum_i \left(\frac{\frac{G_i^k}{w_{i,j}^{\alpha_k}}}{\sum_i \frac{G_i^k}{w_{i,j}^{\alpha_k}}} \right) \cdot ab_{i,j}$$

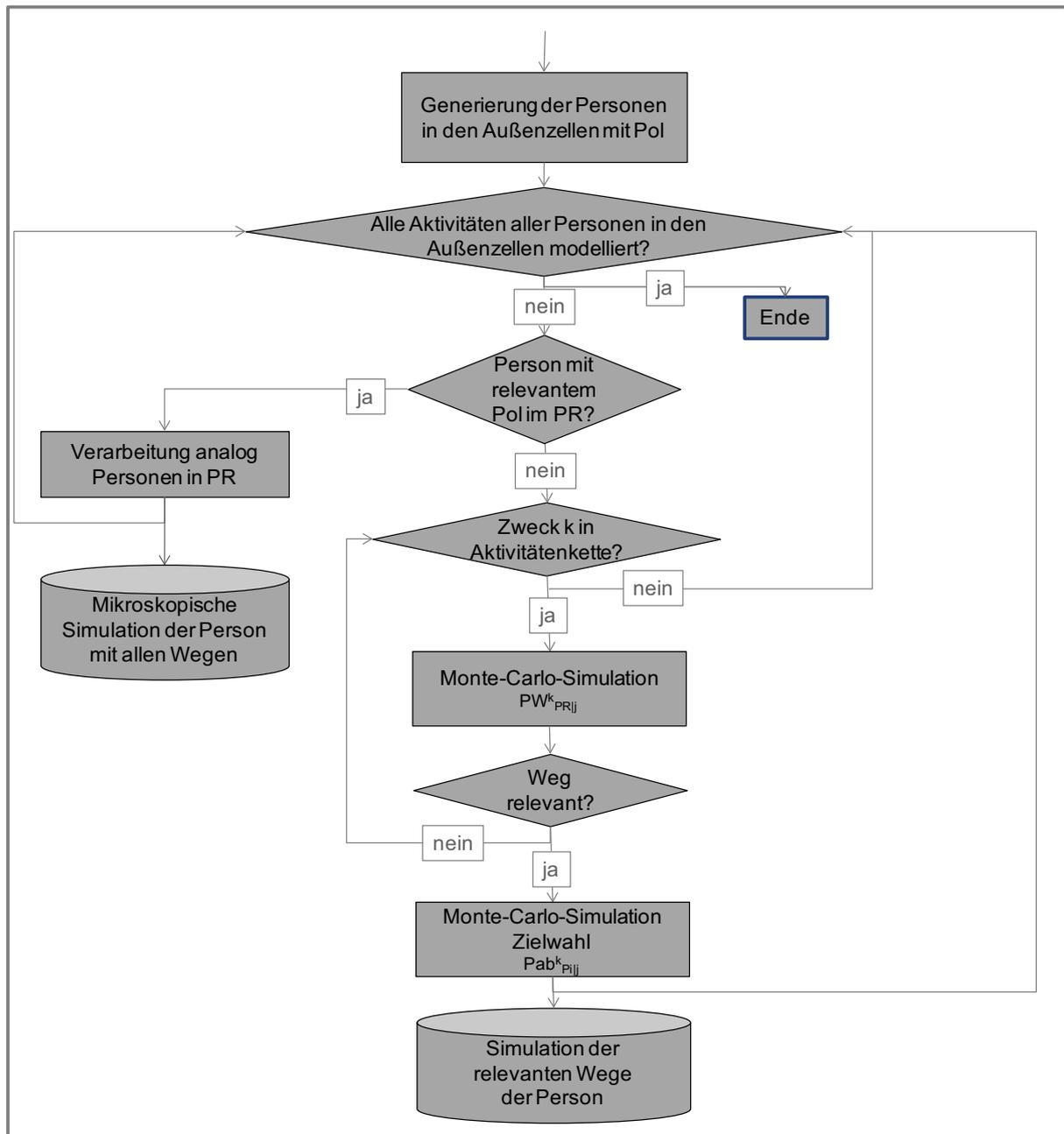
Mit:	$PW_{PR j}^k$	Wahlwahrscheinlichkeit der den Planungsraum (PR) betreffenden Wege aus der Zelle j für den Verkehrszweck k
	Pab_{ij}^k	Wahlwahrscheinlichkeit der Zelle i für Personen aus der Zelle j unter der Maßgabe, dass für den Verkehrszweck k der Planungsraum betroffen ist
	G_i^k	Quantifizierte Gelegenheit für den Verkehrszweck k der Zelle i
	$w_{i,j}$	Reisewiderstand zwischen den Zellen i und j
	α_k	Exponent differenziert nach Verkehrszweck k
	$ab_{i,j}$	Anteil des Berührung des Planungsraums der Relation der Zellen i und j

Formel 13: Wahlwahrscheinlichkeit eines für den Planungsraum relevanten Weges

Der endgültigen Zielwahl für jede Aktivität der Einwohner der Außenzellen wird eine Monte-Carlo-Simulation vorgeschaltet, in der mit Hilfe der Wahlwahrscheinlichkeit eines für den Planungsraum relevanten Weges $PW_{PR|j}^k$ geprüft wird, ob dieser Weg für den Planungsraum relevant ist oder nicht. Ist der Weg nicht relevant, ist also die Zufallszahl größer als $PW_{PR|j}^k$, wird dieser verworfen. Für derartige Wege resultiert kein weiterer Simulationsaufwand. Es wird die Rechenkapazität sowie Rechenleistung und –zeit verringert.

Für alle Wege, die nach dem Schritt der vorgeschalteten Monte-Carlo-Simulation für den Planungsraum relevant sind, also die Zufallszahl kleiner als $PW_{PR|j}^k$ ist, wird nach dem Verfahren des erweiterten Gelegenheitsmodells (Formel 12 (Seite 97)) ein Ziel des Weges bestimmt. Dies geschieht wiederum mit einer Monte-Carlo-Simulation. Durch dieses Verfahren werden nur die Wege simuliert, die durch den Planungsraum führen.

Das Ablaufdiagramm der Zielwahlmodellierung aller Personen, die in den Außenzellen leben, ist in Abbildung 20 zu sehen:



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 20: Ablaufdiagramm der Zielwahl für die Einwohner der Außenzellen

Grundsätzlich lassen sich bei der Zielwahl drei gängige Herangehensweisen identifizieren. Neben dem weit verbreiteten Gravitationsansatz (Ortuzar & Willumsen 1990) lassen sich auch Nutzenmaximierungsansätze, bei denen die einzelnen Gelegenheiten bezüglich ihres Nutzens und des Aufwands der Anreise gegeneinander abgewogen werden, und Modelle nach der Theorie der „Intervening Opportunities“ unterschei-

den³¹ (Cyganski & Justen 2007). Einige Autoren haben bewiesen, dass sich Gelegenheits- und Nutzenindikatoren zwar in ihren theoretischen Ansätzen unterscheiden, aber formal äquivalent sind (vgl. (Bhat et al. 2002) oder (Bleisch 2005)). Für das hier gewählte Verfahren wurde ein Gelegenheitsmodell verwendet, da es sich bei den Wahlentscheidungen um losgelöste Ereignisse (Teile aus den Wegekettten) der einzelnen in den Außenzellen wohnenden Personen handelt. Da nicht die gesamten Wegekettten modelliert werden, sondern nur die Hin- und Rückwege, ist es nicht nötig, das Verhalten der einzelnen Personen in sich konsistent abzubilden, sondern ausreichend, die einzelnen Wege mit ihren Wahrscheinlichkeiten repräsentativ darzustellen.

6.3.4.2 Verkehrsmittelwahlmodell

Nachdem alle für den Planungsraum relevanten Wegeziele der Einwohner der Außenzellen feststehen, können die benutzten Verkehrsmittel modelliert werden. Da für den Raum der Außenzellen in der Regel keine Befragungen oder weitere Daten zur Verfügung stehen, die auf eine Bestimmung der Verkehrsmittelwahlparameter schließen lassen, wird das Verkehrsmittelwahlmodell für den Planungsraum übernommen. Dabei wird unterstellt, dass das Verhalten der Bewohner der Außenzellen in der Verkehrsmittelwahl mit dem der Einwohner des Planungsraums ähnlich ist.

Die Verkehrsmittelwahl zu den in Kap. 6.3.4.1 ermittelten Wegen wird analog der in den Außenzellen lebenden Personen mit relevantem Pol für den Planungsraum mit einem nutzenmaximierten Discrete Choice Modell (Conditional Logit Modell) modelliert. Dabei fließen die Eigenschaften der Alternativen, also alle zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel, mit ein. Die allgemeine Form der Berechnung der Wahrscheinlichkeiten nach BEN-AKIVA und LERMAN (Ben-Akiva & Lerman 1985) ist der Formel 10 (Seite 95) und der Formel 11 (Seite 96) zu entnehmen.

Als Ergebnis stehen nunmehr alle für den Planungsraum relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen mit ihren Zielen und Verkehrsmitteln zur Verfügung. Diese Daten können einzeln in einer sogenannten Mikroliste eingesehen werden und/ oder aggregiert in einer Nachfragematrix weiterverarbeitet werden.

³¹ Hier wird davon ausgegangen, dass aus der Unkenntnis der Personen nicht die kürzesten bzw. widerstandsminimalen Ziele gewählt werden, sondern auch Unwahrscheinlichere.

6.3.4.3 Routenwahl bzw. Umlegung und Kalibrierung der Nachfrageergebnisse

Werden die Ergebnisse der Nachfrageberechnung für die Einwohner der Außenzellen im operationalen Verkehrsnetz umgelegt bzw. wird eine Routenwahl für die Quelle-Ziel-Beziehungen durchgeführt, müssen die Verkehre aus den Außenzellen den Planungsraum berühren. Dies ist notwendig, da bei der Nachfragemodellierung nur die Wege der Einwohner der Außenzellen berücksichtigt werden, die den Planungsraum betreffen. Umfahrungen des Planungsraums sind zu vermeiden. Dies kann z. B. durch eine geeignete Wahl der Anbindungen der Außenzellen am Rande des Planungsraums gelöst werden. Dabei sind folgende ambivalente Punkte einzuhalten:

- Die Anbindungen der Außenzellen sind so nah an die Grenze des Planungsraums zu legen, dass keine Umfahrungen des Planungsraums bei einer Umlegung möglich sind.
- Die Anbindungen der Außenzellen sind so weit vom Planungsraum weg zu legen, dass die relevanten Straßen, die von der jeweiligen Außenzelle in den Planungsraum führen, sinnvoll belastet werden können.

In der Praxis kann das auch so gelöst werden, dass keine großen tangentialen Netzelemente außerhalb des Planungsraums und gleichzeitig nur Radialstraßen zum Planungsraum vorhanden sind. In der Regel handelt es sich hierbei um Straßen in den Kategorien Bundesstraße bzw. Bundesautobahn, die ohne großen Aufwand zu selektieren sind. Unter Berücksichtigung nur dieser Netzelemente können bei der Routenwahl bzw. Umlegung sämtliche $F_{i,j}$, die aus der Nachfragemodellierung resultieren, in Belastungen dargestellt werden.

Mit Hilfe des Vergleichs der modellierten und erhobenen Belastungen an den Grenzen des Planungsraums (Kordon) kann das Nachfragemodell kalibriert werden. Bei einer Abweichung der modellierten bzw. gezählten Werte am Kordon bzw. an einzelnen Querschnitten kann das Nachfragemodell mit Hilfe von veränderten Zielwahlparametern aller oder ausgewählter Außenzellen kalibriert werden. Hierzu sind Iterationsläufe notwendig.

Stimmen die gezählten bzw. modellierten Werte am Kordon im Rahmen einer gewissen Toleranzgrenze überein, kann das hier vorgestellte Nachfragemodell der Bewohner der Außenzellen als kalibriert angesehen werden.

7 Anwendung des Modells

Um die Praxistauglichkeit des in Kapitel 6 beschriebenen Nachfragemodells für die Einwohner der Außenzellen zu testen, wurde für ein ausgesuchtes Gebiet im Mannheimer Norden das Modell angewendet. Die modellierten Daten wurden dann anschließend mit Daten aus einer Kordonbefragung im selben Gebiet verglichen, um die Güte des Modells zu testen.

Darüber hinaus wurde das entwickelte Nachfragemodell für das Verkehrsmodell der Metropolregion Rhein-Neckar eingesetzt. Die Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen, die Verkehr in der Metropolregion Rhein-Neckar (=Planungsraum) durchführen, wurden mit Hilfe des hier entwickelten Nachfragemodells ermittelt und in das Projekt zur „Integrierten Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ eingearbeitet. Ziel dieser Untersuchung war es, die aktuelle Ausgangslage des Verkehrsgeschehens zu ermitteln und eine Prognose der zukünftigen Verkehrssituation im Jahr 2030 sowie eine belastbare Basis für Maßnahmenbeurteilungen bereitzustellen. Basis dieser mikroskopischen Modellierung waren empirische Daten, die im Rahmen einer Regionalpanelerhebung in der Metropolregion gewonnen wurden. Aufbauend auf den empirischen Befragungsdaten und den Daten des Deutschen Mobilitätspanels wurde die Verkehrsnachfrage abgebildet und mit Belastungswerten sowohl im öffentlichen Personenverkehr (ÖV) als auch im motorisierten Individualverkehr (MIV) kalibriert. Neben der Modellierung aller 2,36 Mio. Einwohner der Metropolregion Rhein-Neckar mit dem Nachfragemodell mobiTopp³² wurde der Verkehr der Einwohner der Außenzellen (ca. 15,76 Mio. Einwohner) der Metropolregion Rhein-Neckar mit dem hier vorgestellten Modell errechnet. Die Quantifizierung der für den Planungsraum relevanten Fernverkehrsnachfrage, die durch die Einwohner im „Rest der Welt“ entsteht, erfolgte durch das Mikrosimulationsmodell des Fernverkehrsverhaltens CustoMiner.³³

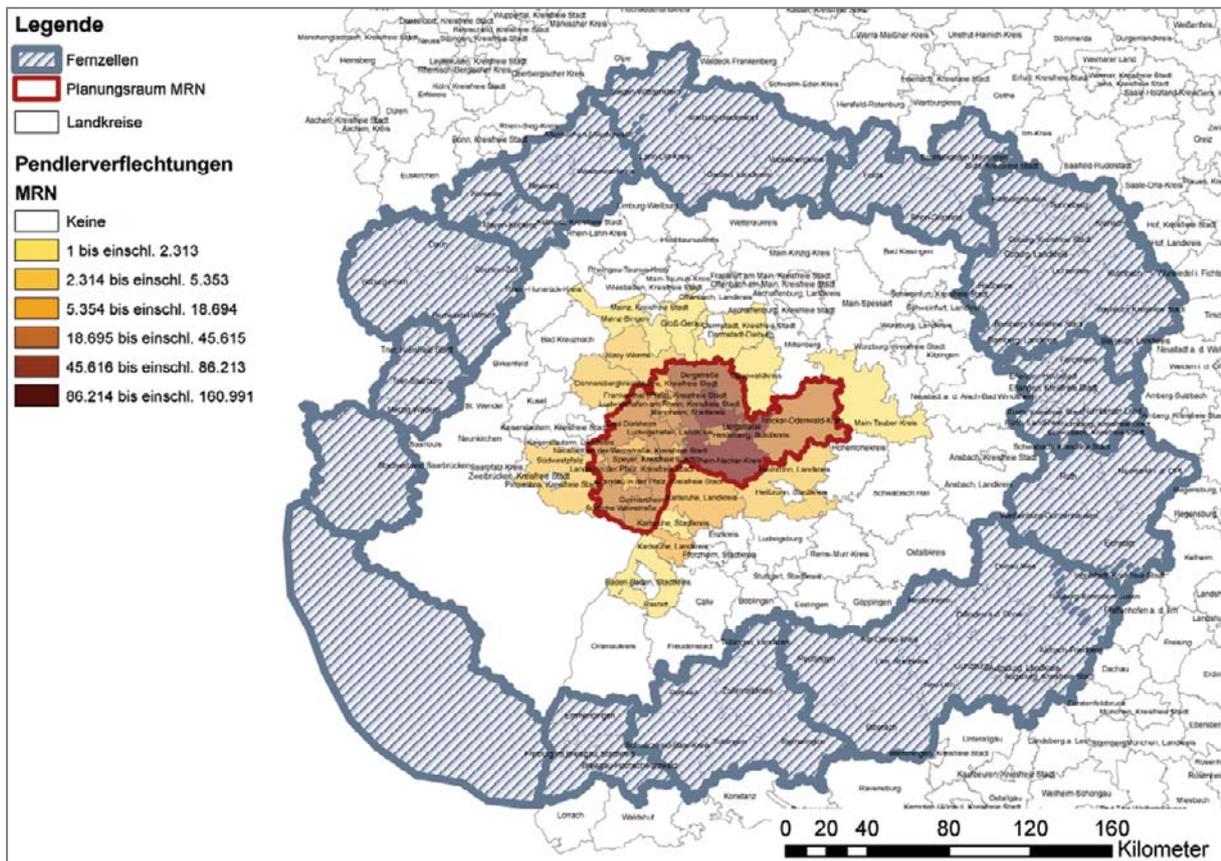
³² mobiTopp ist eine Software, die von der INOVAPLAN GmbH in Zusammenarbeit mit dem Institut für Verkehrswesen am KIT erstellt wurde (vgl. (Schnittger & Zumkeller 2006) und (Kagerbauer & Zumkeller 2009)).

³³ CustoMiner[®] ist eine Software der STRATA GmbH, die am Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe entwickelt wurde (vgl. (Manz 2005)).

7.1 Inputdaten für die Modellanwendung

Die Abgrenzung des Untersuchungsgebiets beruht zum einen auf der Ermittlung der Pendlerverflechtung aus Kapitel 5 und zum anderen aus Restriktionen, die den Fernverkehr betreffen. In Abbildung 21 sind der Planungsraum der Metropolregion Rhein-Neckar (rotes Polygon) und die Fernzellen (blaue Schraffur) zu sehen. Zwischen diesen beiden Flächen liegen die Außenzellen, an denen das Modell angewendet worden ist.

Die unterschiedlichen Gelb-/Braun-Stufen in den Landkreisen im und um den Planungsraum zeigen die Intensitäten der Pendlerverflechtungen der Landkreise/ Kreisfreien Städte in der Metropolregion nach den in Kapitel 5.1 definierten Kriterien. Sie beschreiben die minimale räumliche Ausdehnung der Außenzellen.



Quelle: Eigene Darstellung

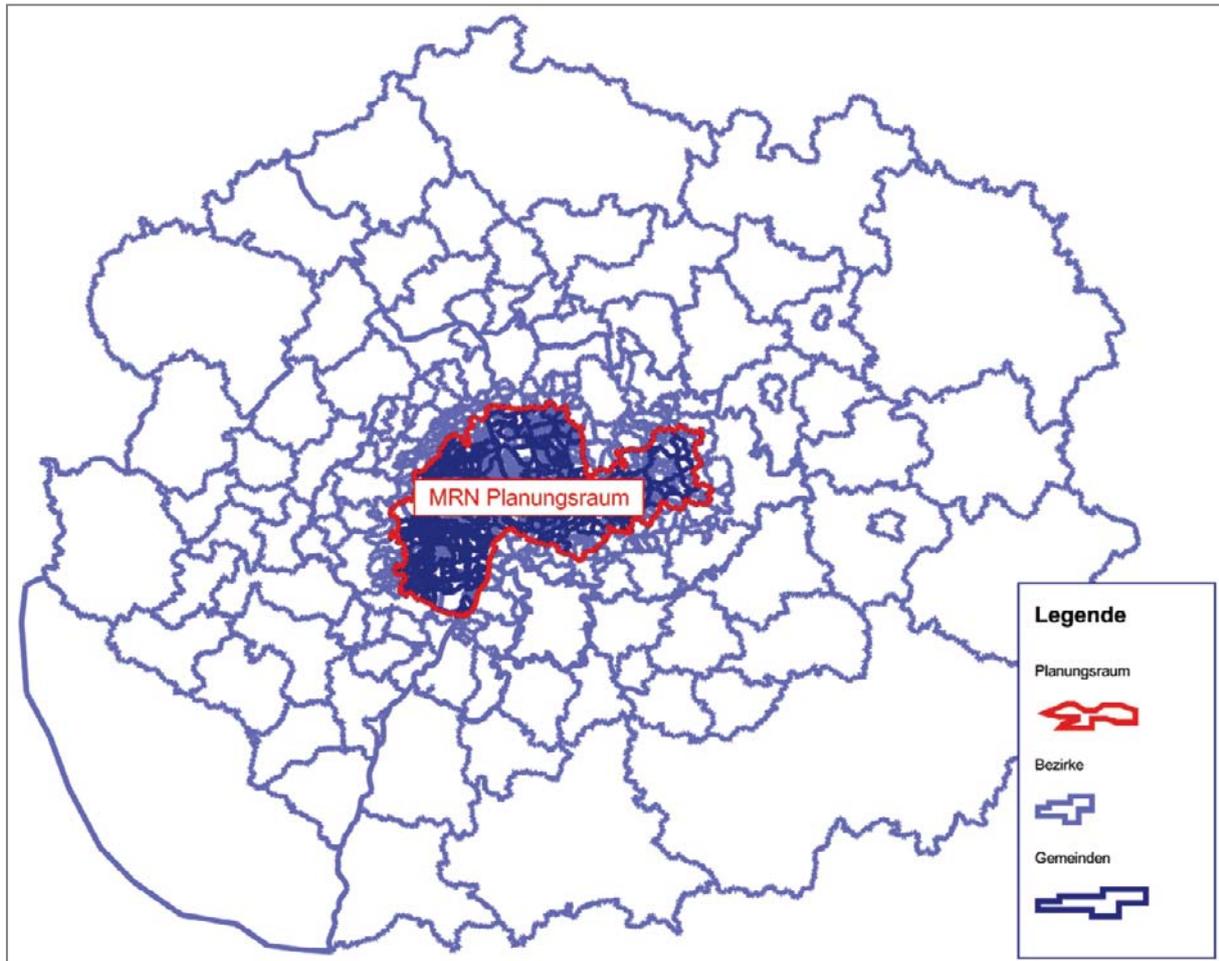
Abbildung 21: Abgrenzung des Untersuchungsgebiets für die Metropolregion Rhein-Neckar

Der für das Projekt gewählte räumliche Umgriff des Untersuchungsgebiets ist wegen folgender Punkte größer gewählt, als hinsichtlich der Pendlerverflechtungen nötig gewesen wäre:

- Durch das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Modell kann der räumliche Umgriff der Außenzellen ohne große Nachteile bezüglich der Rechendauer erweitert werden. Die Genauigkeit der Abbildung der für den Planungsraum relevanten Verkehrsnachfrage wird so erhöht.
- Da der Planungsraum mit einer relativ großen Fläche von ca. 5.600 m² ein größeres Einzugsgebiet hat als kleine Planungsräume, ist es sinnvoll, die räumliche Ausdehnung der Außenzellen zu vergrößern.
- Durch die überlappungsfreie Integration der Verkehrsnachfrage der Einwohner des Planungsraums, der Fernverkehrsnachfrage und der Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen, die sich in einer Ausdehnung von ca. 100 km zwischen dem Planungsraum und den Fernzellen erstreckt, wird das Gesamtbild der Alltagsverkehrsnachfrage komplettiert. Dabei werden alle räumlichen Bereiche abgedeckt.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde eine Zelleneinteilung gewählt, die innerhalb des Planungsraums sehr kleinräumig ist. Teilweise sind die Zellen kleiner als Stadtteile. Mit zunehmender Entfernung vom Planungsraum wird die räumliche Ausdehnung größer. An der Grenze zum Planungsraum gibt es Zellen auf Gemeindeebene, in der Peripherie auf Kreisebene und schließlich großräumige Fernzellen. Die Zellengröße wurde so gewählt, dass die Verkehrsbeziehungen innerhalb einer Zelle vernachlässigt werden können, ohne die Aussagekraft der Untersuchung zu gefährden (Steierwald & Heinz 1981).

Die Abbildung 22 zeigt die verwendete Zelleneinteilung.



Quelle: Zelleneinteilung aus dem Projekt: „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Abbildung 22: Zelleneinteilung

Das Untersuchungsgebiet besteht aus insgesamt 1.158 Zellen, wobei die 291 Gemeinden des Planungsraums in 890 Zellen eingeteilt sind. Des Weiteren gibt es 14 Fernzellen und 254 Außenzellen. Diese Zellen wurden analog Kapitel 6.3.4.3 an die operationalen Netzmodelle (MIV und ÖV) angebunden.

Für jede Zelle³⁴ (vgl. Abbildung 22) wurden die Strukturdaten ermittelt. Dabei handelt es sich um:

- Einwohner nach Geschlecht kreuz fünf Altersklassen.
- Haushaltsgrößen (1-, 2-, 3- sowie 4 und mehr Personenhaushalt) kreuz Pkw-Besitz (kein, 1 sowie 2 und mehr Pkw).
- Erwerbstätigkeit nach Vollzeit, Teilzeit und keine Arbeit.

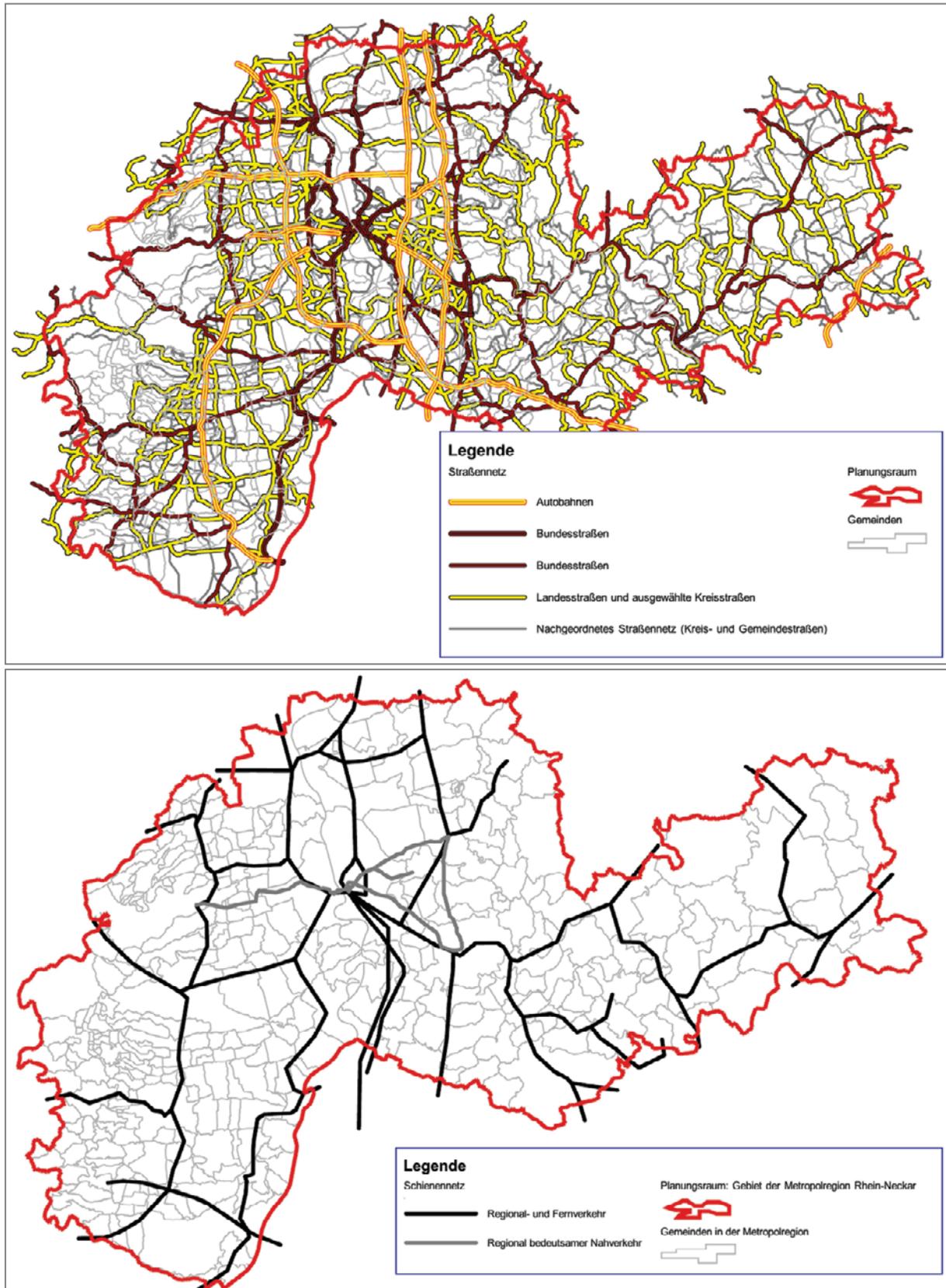
Für jede Zelle wurden Gelegenheiten ermittelt, die die Attraktivitäten der Zellen bei der Modellierung widerspiegeln. Die Arbeitsplätze wurden aus den Daten der Arbeitsagentur ermittelt. Die Ausbildungsplätze wurden aus Statistiken zu Schulplätzen, der jugendlichen Bevölkerung und Entfernungsverteilungen für Ausbildung aus dem MOP in einem Gelegenheitsmodell entwickelt. Die Gelegenheit „Geschäftlich“ resultiert aus einer Funktion aus den Einwohnern und den Arbeitsplätzen in der Zelle. Die Gelegenheit „Einkauf“ wird aus einer Funktion von Einwohnern in Verbindung mit der Analyse der Fläche der Gewerbestandorte je Zelle ermittelt. Die Gelegenheit „Freizeit“ orientiert sich an den Einwohnern und den Freizeitgelegenheiten, ebenso wie die Gelegenheit „Dienstleistung“, die maßgeblich aus den Einwohnern ermittelt wird. Somit standen für jede Zelle die Gelegenheiten

- Arbeit,
- Ausbildung,
- Geschäftlich,
- Einkauf,
- Freizeit und
- Dienstleistung

zur Verfügung.

Für den Planungsraum lagen operationale Verkehrsnetze für die Verkehrsmittel MIV und ÖV vor. Die Straßen im MIV sind mit verschiedenen Variablen belegt. Neben der Länge sind die Anzahl der Fahrstreifen je Richtung, die Geschwindigkeiten und die Kapazitäten hinterlegt. Das operationale Netzmodell für den Planungsraum ist in Abbildung 23 oben zu sehen.

³⁴ Die folgenden Strukturdaten wurden für alle Zellen im Planungsraum und in den Außenzellen ermittelt. Für die Fernzellen wurden keine Einwohner- und Haushaltsdaten ermittelt, da die Personen bereits in der Nachfragemodellierung des Fernverkehrs berücksichtigt sind.



Quelle: MIV-Netzmodell aus dem Projekt: „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Abbildung 23: Operationale Netzmodelle für MIV und ÖV

Für den ÖV wurde ein digitales Netz inklusive Fahrplänen erstellt, das auf Fahrplandaten des Verkehrsverbundes Rhein-Neckar (VRN) beruht. Darin sind die Linien, Linienrouten und die Fahrzeiten aller Fahrzeuge im ÖV sowie der Tarif hinterlegt. Die Belastungen sollten im regional bedeutsamen ÖV-Schienennetz dargestellt und kalibriert werden. Die Abbildung 23 unten zeigt das operationale Schienen-Netzmodell.

Des Weiteren wurde ein einfaches deutschlandweites operationales Fernstraßennetzmodell für die Ermittlung der Anteile der Berührung des Planungsraums der Einwohner der Außenzellen je Quelle-Ziel-Relation und je Außenzelle verwendet. Dieses mit der Fernverkehrsnachfrage belastete Netz lag bereits kalibriert vor, so dass zusätzlich zu den vorhandenen $F_{i,j}$ je Relation nur noch kleine Mengen an Fahrten umgelegt werden mussten. Daraus konnten die Anteile der Berührung des Planungsraums je Relation und Außenzellen mittels Verkehrsspinnen ermittelt werden. Die Ermittlung des Anteils der Berührung des Planungsraums aller Relationen wurde analog der Beschreibung in Kapitel 6.3.2 durchgeführt.

Die Umlegung zur Ermittlung der Anteile der Berührung des Planungsraums durch die Einwohner der Außenzellen je Relation wurde im MIV durchgeführt. Für den ÖV stand kein großräumiges operationales Netzmodell zur Verfügung, so dass vereinfachend die Anteile der Berührung des Planungsraums nur aus dem MIV berechnet wurden (vgl. Formel 8 (Seite 92)).

Aus den operationalen Netzmodellen wurden die Widerstandsmatrizen (vor allem Reisezeit, Entfernung und Kosten) für die Verkehrsträger Fuß, Rad, MIV und ÖV abgeleitet, die jeweils für jede Quelle-Ziel-Beziehung aus den Umlegungen bzw. aus Luftlinienentfernungen mit Umwegfaktoren resultieren. Diese Widerstände sind maßgebender Input für die Modellierung der Verkehrsnachfrage, da sie sowohl in die Zielwahl als auch in die Verkehrsmittelwahl einfließen.

Für den MIV und den ÖV wurden die Widerstände für die Reisezeit aus den operationalen Netzmodellen entwickelt, so dass gilt:

$$w_{i,j} = \sum_k w_k \stackrel{\text{def}}{=} \text{Min}$$

Mit:	w_{ij}	Gesamtwiderstand des Weges von Zelle i nach Zelle j
	w_k	Widerstand der Kante k
	k	Alle Kanten zwischen den Zellen i und j

Formel 14: Ermittlung der Widerstände zwischen den Zellen i und j

Die Reisezeitrelation für den Fußverkehr wurde aus der Luftlinienentfernung der Zellschwerpunkte und einem Umwegfaktor sowie der mittleren Gehgeschwindigkeit (abgeleitet aus dem MOP) ermittelt. Analog dazu wurde auch die Reisezeitmatrix für den Radverkehr berechnet. Hier spielte neben der Luftlinienentfernung, dem Umwegfaktor und der Radfahrgeschwindigkeit auch die Zugangszeit zum Fahrrad eine Rolle. Die Entfernungs- und Reisezeitmatrizen für die Verkehrsträger MIV und ÖV resultierten aus den operationalen Netzmodellen.

Aus der Entfernungsmatrix MIV wurde, unter der Annahme von Kostensätzen pro km, eine Kostenmatrix erstellt. Diese Kostenmatrix beinhaltet die Kosten, die bei einer Fahrt entstehen. Die Kostenmatrix für den ÖV stammte aus dem Tarifplan des VRN bzw. der Deutschen Bahn AG. Für die Kostenmatrizen Fahrrad bzw. Fuß wurde davon ausgegangen, dass dem Nutzer keine Kosten für eine Fahrt entstehen.

Die Pendelbeziehungen sind ebenfalls Inputdaten für die mikroskopische Modellierung, um den Arbeitsplatz bzw. den Ausbildungsplatz einer Person zu ermitteln. Die Pendlermatrizen sind Randverteilungen der aggregierten Pendler- bzw. Ausbildungsströme von einer Wohnzelle zu einer Arbeitszelle. Diese Pendlerverflechtungen waren Input zur räumlichen Verteilung der Arbeits- bzw. Ausbildungsplätze der Einwohner im Untersuchungsgebiet.

Zur Erstellung der Pendlermatrizen „Arbeit“ wurden Daten der BUNDESAGENTUR FÜR ARBEIT (Bundesagentur für Arbeit 2006) mit den Beziehungen von Wohn- und Arbeitsort so aufbereitet, dass Pendlermatrizen für den Berufsverkehr dargestellt werden können. Da die Angaben der Bundesagentur für Arbeit nur auf Gemeindeebene bzw., je weiter entfernt diese liegen, auf Kreis- bzw. Bundeslandebene vorliegen, wurde ein Gelegenheitsmodell vorgeschaltet, um aus den Einwohnern jeder Zelle und den Arbeitsplätzen jeder Zelle die Pendelrelationen zu ermitteln. Bei der Modellerstellung dienten als Widerstandsmatrizen die ermittelten Reisezeiten. Das Modell wurde aus den beschriebenen Daten geschätzt und auf Gemeindeebene zusammengefasst, so dass eine Eichung mit den Daten der Bundesagentur für Arbeit vorgenommen werden konnte. Nach der Modelleichung wurde mit den ermittelten Parametern auf Zellenebene eine Pendlermatrix für die Arbeitsplätze erstellt. Analog dem obigen Vorgehen entstand eine Pendlermatrix „Ausbildung“ mit einem Gelegenheitsmodell, das als Randbedingungen die Schüler, Studenten bzw. die in Ausbildung befindlichen Personen sowie die Schul- und Ausbildungsplätze in den Zellen beinhaltet. Die Modelleichung fand mit einer Wegelängenverteilung von Ausbildungswegen, die aus dem MOP resultiert, statt. Die so ermittelte Pendlermatrix für die Ausbil-

dungsplätze steht als Eingangsgröße für die mikroskopische Nachfragesimulation zur Verfügung.

Alle diese Daten sind Input für die Ermittlung der Verkehrsnachfrage sowohl der Einwohner der Außenzellen, die den Planungsraum betreffen, als auch der Einwohner des Planungsraums.

Zur Berechnung der Verkehrsnachfrage in den Außenzellen werden als Grundlage die synthetisch generierten Personen mit ihren Aktivitätenmustern benötigt (Verkehrsentstehung). Analog zur Berechnung der Verkehrsentstehung des Planungsraums wurden für diese Anwendung die synthetischen Personen mit der Software mobiTopp³⁵ generiert. Somit stehen für alle Einwohner der Außenzellen die Wohn- und Arbeits- bzw. Ausbildungszellen („Feste Pole“) sowie deren Aktivitätenmuster fest, die im Weiteren Verwendung finden.

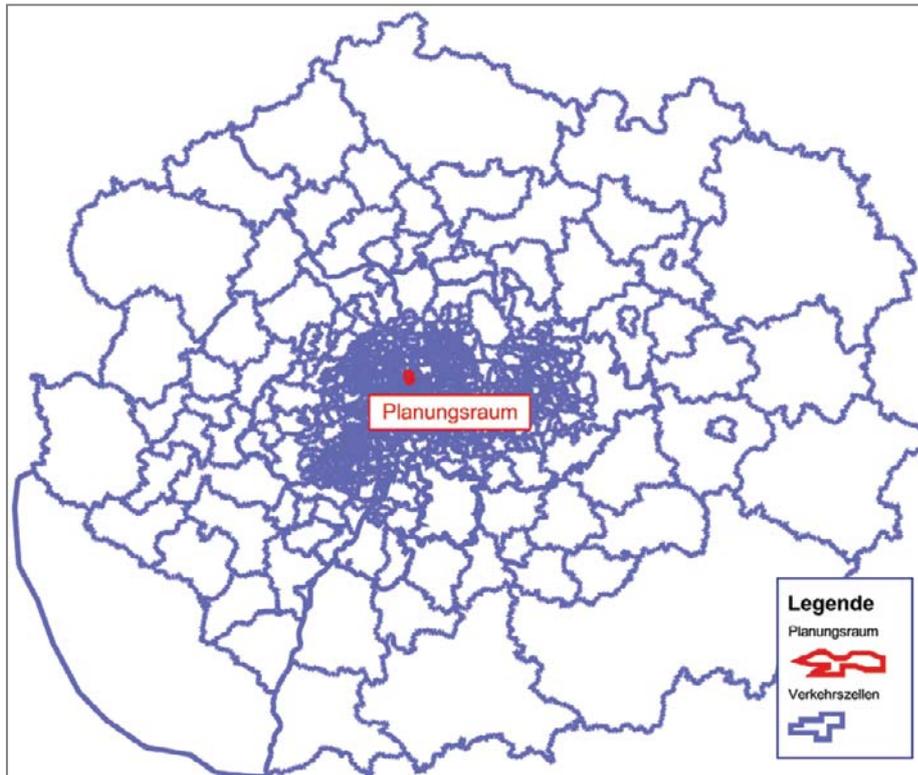
7.2 Praxistest des Modells in Mannheim

Um in einer Testanwendung die Ergebnisse des in Kapitel 6 entwickelten Modells in einem überschaubaren Raum zu überprüfen, wird der Planungsraum verkleinert. Dieser Planungsraum wurde gewählt, da für seinen Kordon empirische Verkehrsbefragungsdaten vorliegen. Ziel des Praxistests für den verkleinerten Planungsraum ist, die Ergebnisse aus der Anwendung des in dieser Arbeit entwickelten Modells mit empirisch erhobenen Daten zu vergleichen, um so Aussagen über die Praxistauglichkeit dieses Modells zu erhalten.

7.2.1 Empirische Daten

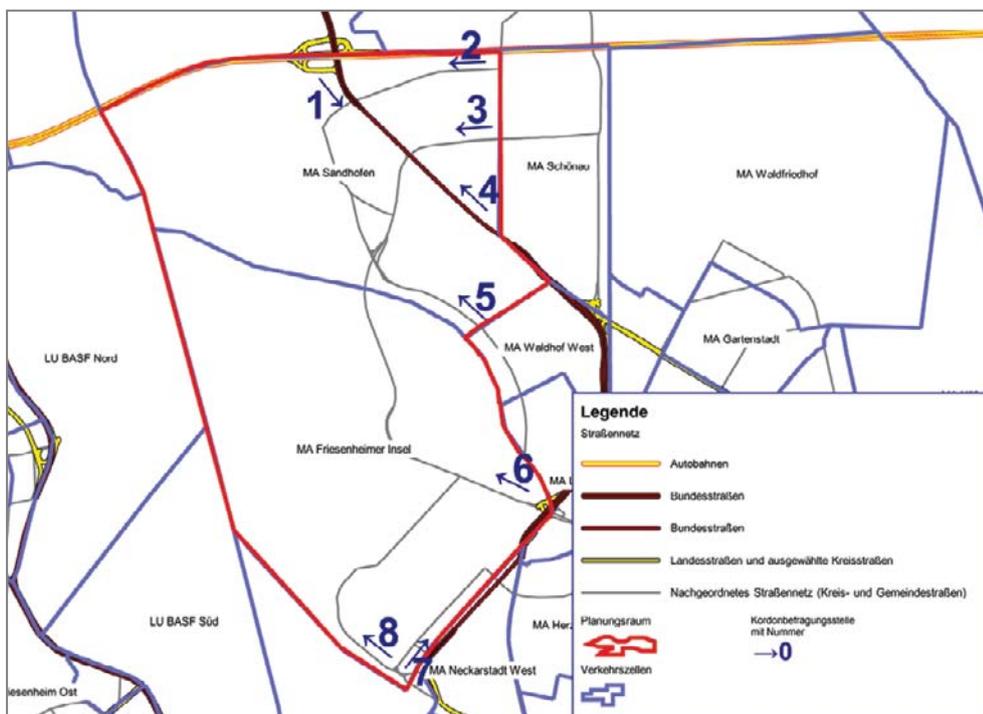
Die Stadt Mannheim hat eine Kordonbefragung, die im Rahmen der Westumfahrung Mannheim erstellt wurde, zur Verfügung gestellt, die die Verkehrsbeziehungen in einem Gebiet nördlich von Mannheim (Mannheim - Sandhofen und Mannheim - Friesenheimer Insel) erhoben hat (vgl. Abbildung 24 (roter Punkt = Planungsraum) und Abbildung 25).

³⁵ Grundsätzlich kann die Verkehrsentstehung auch mit anderen Algorithmen oder Programmen berechnet werden.



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Zelleneinteilung aus dem Projekt: „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Abbildung 24: Lage des Planungsraums der Testanwendung



Quelle: Eigene Darstellung des Netzmodells aus dem Projekt: „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Abbildung 25: Planungsraum der Testanwendung im Norden von Mannheim mit Kordonbefragungsstellen

So wurden die Fahrzeuge an den in der Abbildung 25 mit roten Pfeilen gekennzeichneten Stellen nach der Quelle, dem Ziel und dem Zweck der Fahrt befragt. Die so erhaltenen Primärdaten wurden mit Hilfe von Verkehrszählungen und Verkehrsbelastungen auf einen durchschnittlichen Werktag hochgerechnet (R+T Topp Skoupil Küchler und Partner 2002). Aus diesen Primärdaten können der Ziel- und der Durchgangsverkehr bezogen auf den Planungsraum Mannheim - Sandhofen und Mannheim - Friesenheimer Insel (dunkelblaue Umrandung in Abbildung 25) ausgewertet werden.

Für den ÖV wurde vom Verkehrsverbund Rhein-Neckar (VRN) eine Verkehrsbefragung in den Fahrzeugen im Verbundgebiet aus dem Jahr 2006 zur Verfügung gestellt. Darin sind hochgerechnet die Quellen, Ziele und Zwecke der ÖV-Fahrten abgebildet. Diese Daten wurden hinsichtlich des Quell- und Zielverkehrs bezogen auf den Planungsraum Mannheim - Sandhofen und Mannheim - Friesenheimer Insel ausgewertet. Der Durchgangsverkehr konnte aus den Daten nicht ermittelt werden, da dazu die Linienverläufe und die Routenwahl der Wege im ÖV benötigt würden und diese nicht zur Verfügung standen.

7.2.2 Modellanwendung

Für die Anwendung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modells wurden die beiden Zellen im Norden von Mannheim Mannheim - Sandhofen und Mannheim - Friesenheimer Insel als Planungsraum gewählt und die restlichen 1.142 Zellen, ausgenommen der 14 Fernzellen, als Außenzellen betrachtet.

Mit den Input-Daten aus Kapitel 7.1 wurde analog des Verfahrens in Kapitel 6 die für den Planungsraum relevante Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen modelliert. Den Ablauf zeigt Abbildung 20.

Anhand des kalibrierten deutschlandweiten operationalen Fernstraßennetzmodells für die Ermittlung der Anteile der Berührung des Planungsraums der Einwohner der Außenzellen wurde je Quelle-Ziel-Relation eine Verkehrsmenge von 0,01 Fahrten umgelegt. Es wurde deshalb eine derart kleine Menge an zusätzlichem Verkehr gewählt, da das Straßennetz bereits kalibrierte Verkehrsnachfragebelastungen enthält. Mit Hilfe dieser kleinen Menge an Fahrten werden die Größenordnungen der tatsächlichen Belastungen nicht wesentlich verändert. Nach einer Gleichgewichtsumlegung dieser Nachfrage im operationalen Netzmodell wurden an allen Einfahrten zum Planungsraum (Kordonbefragungsstellen 1-8 aus Abbildung 25) Verkehrsspinnen errechnet. Diese Verkehrsspinnen beschreiben alle Quellen und alle Ziele der Fahrten über eine bestimmte Kante (hier: Kanten der Kordonpunkte). Eine Gesamtdatei aller Rela-

tionen, die den Planungsraum betreffen, wurde durch Summation aller Verkehrsspinnen erstellt. Der Anteil der Berührung des Planungsraums $ab_{i,j}$ jeder Relation der Zellen i und j ergab sich aus der Division der Anzahl der zusätzlichen eingespeisten Fahrten, die in den Kordon einfahren, durch die Gesamtzahl der zusätzlichen Fahrten je Relation (in diesem Fall 0,01). Formel 6 (Seite 91) zeigt den Zusammenhang mathematisch.

Anschließend fand die Zielwahlmodellierung für die Einwohner der Außenzellen statt. Für alle Personen, die einen für den Planungsraum relevanten Pol haben, wurden sämtliche Wege eines Tages analog zu den Einwohnern des Planungsraums modelliert. Das Verfahren ist in Kapitel 6.3.3 beschrieben.

Für alle Personen, deren Pol keinen Bezug zum Planungsraum hat oder die keinen Arbeits- oder Ausbildungspol haben, wurde der erweiterte Gelegenheitsansatz angewendet (vgl. Kap. 6.3.4). Im Rahmen der Zielwahlmodellierung wird der Anteil der Berührung des Planungsraums bei der Modellierung der für den Planungsraum relevanten Ziele (vgl. Formel 12 (Seite 97)) berücksichtigt. Nach der Monte-Carlo-Simulation (vgl. Kap. 6.3.4.1 und Formel 13 (Seite 98)) steht fest, ob ein Weg für den Planungsraum relevant ist oder nicht. Ist dieser nicht relevant, wird der Weg verworfen, ist dieser relevant, wird er für die Verkehrsmittelwahl gespeichert.

Zur Kalibrierung des Zielwahlexponents α_k differenziert nach Verkehrszweck k wurden in einem ersten Schritt die aus einer Haushaltsbefragung in der Metropolregion Rhein-Neckar geschätzten Werte verwendet und anhand der Kordonbefragungsdaten kalibriert.³⁶ In Tabelle 15 sind die nach der Kalibrierung resultierenden Zielwahlparameter für die Testanwendung zu sehen:

Gelegenheit (Zweck des Weges)	Zielwahlexponent α_k
Geschäftlich/ Dienstlich	3,35
Einkaufen	7,98
Freizeit, Dienstleistung (Holen und Bringen) ³⁷	6,25

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 15: Zielwahlparameter für die Testanwendung

³⁶ Vereinfachend wurde für jede Gelegenheit nur ein Zielwahlexponent verwendet. Oftmals unterscheiden sich die Zielwahlparameter auch nach Raumtyp und Verkehrsmittelverfügbarkeit. Grundsätzlich ist dies in dem hier vorgestellten Modell auch möglich.

³⁷ In der Erhebung sind diese beiden Zwecke zusammengefasst.

Anschließend wurden für die relevanten Wege die Verkehrsmittel im Rahmen eines Conditional Logit Modells bestimmt (vgl. Formel 10 (Seite 95) und Formel 11 (Seite 96)). Zuerst wurde ein Mitfahrer-Modell aus den Erhebungen in der Metropolregion Rhein-Neckar geschätzt, das die alternativenspezifischen Variablen

- Pkw-Besitz im Haushalt,
- Geschlecht,
- Führerscheinbesitz,
- Zeitpunkt des Weges,
- Zweck (Einkauf und Freizeit),
- Reisezeitverluste durch Mitfahren,
- Verkehrsmittel des Hinweges (falls es einen gab),
- Wegeziel in der selben Zelle sowie eine
- Konstante

verwendet.

Die Koeffizienten der Alternativeneigenschaften wurden aus der Erhebung im Planungsraum ermittelt. Somit konnten die Mitfahrer ermittelt werden. Alle anderen Verkehrsmittelnutzungen wurden ebenfalls mit einem Conditional Logit Modell geschätzt.

Dabei wurden neben den

- Konstanten der Verkehrsmittel,
- Reisekosten der Verkehrsmittel und
- Reisezeiten der Verkehrsmittel

auch die alternativenspezifischen Variablen

- Verkehrsmittelverfügbarkeit (Rad, Persönliche Pkw-Verfügbarkeit) und
- ÖV-Zeitkarte

berücksichtigt.

Das Verkehrsmittelwahlmodell wurde aus der Erhebung im ursprünglichen Planungsraum der Metropolregion Rhein-Neckar geschätzt und für die Modellierung der Einwohner der Außenzellen angewendet.

Mit Hilfe dieser Modellteile konnte die für den Planungsraum relevante Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen ermittelt und mit den Primärdaten aus der Kordonerhebung verglichen werden.

7.2.3 Vergleich der Erhebung (Kordonbefragung) und des Modells

Zur Überprüfung des Modells werden im Folgenden die Daten aus der Kordonbefragung und dem Modell so aufbereitet, dass der Zielverkehr sowie der Durchgangsverkehr ermittelt werden kann. Da bei der Kordonbefragung nur die einfahrenden Wege erfasst wurden, konnte nur der Ziel- und Durchgangsverkehr abgeleitet werden. In der Verkehrsplanungspraxis wird in der Regel angenommen, dass der Quellverkehr in etwa dem Zielverkehr entspricht, sofern der Beobachtungszeitraum über mindestens einen Tag geht. Der Eckwert der Verkehrsnachfrage für den Planungsraum ergibt sich somit aus zweimal dem Zielverkehr und dem Durchgangsverkehr.

Tabelle 16 zeigt die Eckwerte sowie den Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr getrennt nach Verkehrsmitteln MIV und ÖV. Für die Verkehrsmittel Rad und Fuß liegen keine Erhebungsdaten vor. Für den Verkehr der Außenzellen spielen diese jedoch eine untergeordnete Rolle, da die Entfernungen überwiegend zu groß werden. Der Rad- und der Fußverkehr der Einwohner der Außenzellen spielt wegen der Entfernung auch eine untergeordnete Rolle für den Planungsraum. In der Verkehrsplanung ist zudem in der Regel die Visualisierung des Rad- und Fußverkehrs in Form von Belastungsplänen nicht erforderlich.

MIV			
	Eckwert der Nicht-Einwohner des PR Pkw-Fahrten/Tag	Ziel- (=Quellverkehr) der Nicht-Einwohner des PR Pkw-Fahrten/Tag	Durchgangsverkehr der Nicht-Einwohner des PR Pkw-Fahrten/Tag
Kordonbefragung	66.870	19.111	28.648
Modell	68.545	20.255	28.035
ÖV			
	Eckwert der Nicht-Einwohner des PR Personen-Fahrten/Tag	Ziel- (=Quellverkehr) der Nicht-Einwohner des PR Personen-Fahrten/Tag	Durchgangsverkehr der Nicht-Einwohner des PR Personen-Fahrten/Tag
VRN-Befragung	7.868 und k.A.	3.843	k.A.
Modell	10.935	3.415	4.105

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 16: Eckwerte der modellierten und erhobenen Daten nach Verkehrsmitteln

Die Eckwerte für den MIV zeigen, dass die Abweichungen der modellierten Daten und der erhobenen empirischen Daten im niedrigen einstelligen Prozentbereich sind, so dass festgestellt werden kann, dass das Modell die Erhebung abbildet.

Der Vergleich im ÖV zeigt, dass der Quell- bzw. der Zielverkehr ebenfalls mit einer tolerierbaren Abweichung übereinstimmen. Der Durchgangsverkehr konnte aus der Erhebung des VRN nicht ermittelt werden, da die Linienverläufe nicht zur Verfügung standen.

Tabelle 17 zeigt die Eckwerte differenziert nach Zwecken im MIV.³⁸

MIV						
	Kordonbefragung			Modell		
	Gesamt	ZV (=QV)	DV	Gesamt	ZV (=QV)	DV
	Pkw-Fahrten/Tag					
Arbeit/ Geschäftlich	42.876	11.557	19.762	42.580	11.650	19.280
Ausbildung	481	69	343	1.995	595	805
Einkaufen	8.347	3.310	1.727	7.940	2.915	2.110
Freizeit/ Service	15.166	4.175	6.816	16.030	5.095	5.840
Gesamt:	66.870	19.111	28.648	68.545	20.255	28.035

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 17: Eckwerte der modellierten und erhobenen Daten nach Zweck im Verkehrsmittel MIV

Auch hier ist festzustellen, dass das Modellergebnis der in der Kordonbefragung gemessenen Nachfrage weitgehend entspricht. Die resultierenden Unterschiede in den Belastungszahlen zwischen Erhebung und Modell sind auch vor dem Hintergrund der Varianz der Ergebnisse in den Erhebungen zu interpretieren. Eine Ursache für die Abweichung beim Ausbildungsverkehr kann in den Angaben der Personen liegen. Da es sich in diesem Fall um Ausbildungsverkehre im MIV handelt, sind in der Regel Personen betroffen, die sich in einer Berufsausbildung befinden. Werden diese Personen am Straßenrand angehalten und zum Zweck ihrer Fahrt befragt, geben sie in der Regel an, dass sie zur Arbeit fahren, obwohl sie im eigentlichen Sinne zur Berufsausbildung unterwegs sind. Diese These wird durch Auswertungen des MOP bestätigt, in denen die Verhältnisse der Wege zum Zweck Beruf und Ausbildung ähnlich zu denen des hier verwendeten Modells sind.

³⁸ Auf die Darstellung des ÖV wurde verzichtet, da nur geringe Fallzahlen vorliegen und für den Durchgangsverkehr keine Informationen existieren.

7.2.4 Schlussfolgerung

Die Anwendung des in dieser Arbeit entwickelten Modells auf einen kleineren Planungsraum im Norden von Mannheim und der Vergleich der Ergebnisse mit Primärdaten haben gezeigt, dass das Modell die Verhältnisse im Planungsraum abbildet.

Da dieser erste Praxistest erfolgreich durchgeführt worden ist, wurde das hier entwickelte Modell auch in dem Projekt „Integrierte Verkehrsnachfrageanalyse und Prognose der Verkehrsentwicklung in der Metropolregion Rhein-Neckar“ im Auftrag der Metropolregion Rhein-Neckar angewendet.

7.3 Praxisanwendung des Modells in der Metropolregion Rhein-Neckar

Beim Einsatz des Modells zur Ermittlung der für den Planungsraum der Metropolregion Rhein-Neckar relevanten Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen wurden die in Kapitel 7.1 beschriebenen Inputdaten verwendet. Der Planungsraum umfasste die gesamte Metropolregion Rhein-Neckar (vgl. Abbildung 21). Der Ablauf der Modellierung erfolgte analog Kapitel 7.2 mit dem Unterschied, dass die räumliche Abgrenzung und der daraus resultierende Anteil der Berührung des Planungsraums $ab_{i,j}$ jeder Relation der Zellen i und j auf den Planungsraum angepasst wurden.

Der Focus der folgenden Beschreibung liegt auf der Kalibrierung des Modells an Hand von Zähldaten ohne zur Verfügung stehende Kordonbefragungen. Grundsätzlich ist es besser, das Modell an Kordonbefragungsdaten zu kalibrieren. Meist liegen jedoch in der Praxis, wie es auch bei diesem Projekt der Fall war, nur Belastungszählwerte vor, so dass das Modell mit Hilfe von Screenlines³⁹ kalibriert werden kann. Bei der Kalibrierung des Modells für die Einwohner der Außenzellen anhand von Belastungen wurde davon ausgegangen, dass sowohl die Nachfrage der Einwohner des Planungsraums als auch die Nachfrage im Fernverkehr kalibriert vorliegen. Die Verkehrsnachfrage der Einwohner des Planungsraums wird über Eckwerte der Verkehrsnachfrage (Wege pro Person und Tag, zurückgelegte Entfernung pro Person und Tag, verbrachte Zeit im Verkehrssystem pro Person und Tag etc.), Wegelängenverteilungen und Modal-Split-Werte kalibriert. Die Fernverkehrsnachfrage ist kalibriert an einer Fernver-

³⁹ Screenlines dienen zur Kalibrierung eines Modells anhand von Streckenzählwerten. Ihr Verlauf entspricht häufig natürlichen Gegebenheiten, z.B. einem Fluss oder einem Bahnkörper. Eine Screenline gruppiert alle Strecken, die sie schneiden. Kumulierte Belastungen werden dann mit kumulierten Zählwerten verglichen.

kehrsbefragung und an Belastungen des Fernverkehrsnetzes (vgl. (Manz 2005)). Die Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen war somit der letzte fehlende Baustein, um den Verkehr einer Region gesamtheitlich abbilden zu können.

Für die Ermittlung des für den Planungsraum relevanten Verkehrs der Bewohner der Außenzellen wurde der Anteil der Berührung des Planungsraums anhand eines kalibrierten vereinfachten deutschlandweiten Netzmodells mit den Hauptverkehrsstraßen ermittelt. Dazu wurde, wie bereits in Kapitel 6.3.2 und 7.2.2 beschrieben, eine so kleine Menge an $F_{i,j}$ je Relation als Zusatznachfragematrix im operationalen Netzmodell umgelegt, dass die Kantenbelastungen nicht wesentlich verändert wurden. Durch die Analyse aller in den Planungsraum einfließenden Zusatzbelastungen je Relation mit Hilfe einer Verkehrsspinnenanalyse konnte dann der Anteil der Berührung des Planungsraums je Relation berechnet werden. Die Zielwahlmodellierung fand analog des in Kapitel 6.3 beschriebenen Verfahrens statt. Anhand der Belastungen an den Straßennetzkannten im Kordon wurden anschließend die Zielwahlexponenten α_k differenziert nach Verkehrszweck k (vgl. Formel 12 (Seite 97)) iterativ kalibriert. Da keine Zielwahlexponenten für die Einwohner der Außenzellen aus Befragungen vorliegen, wurden ausgehend von den Zielwahlexponenten für den Planungsraum diese prozentual verändert, bis die Belastungen am Kordon des Planungsraums aus den modellierten Daten mit den gezählten Daten übereinstimmten. In Tabelle 18 sind die Exponenten aufgeführt, die verwendet wurden.

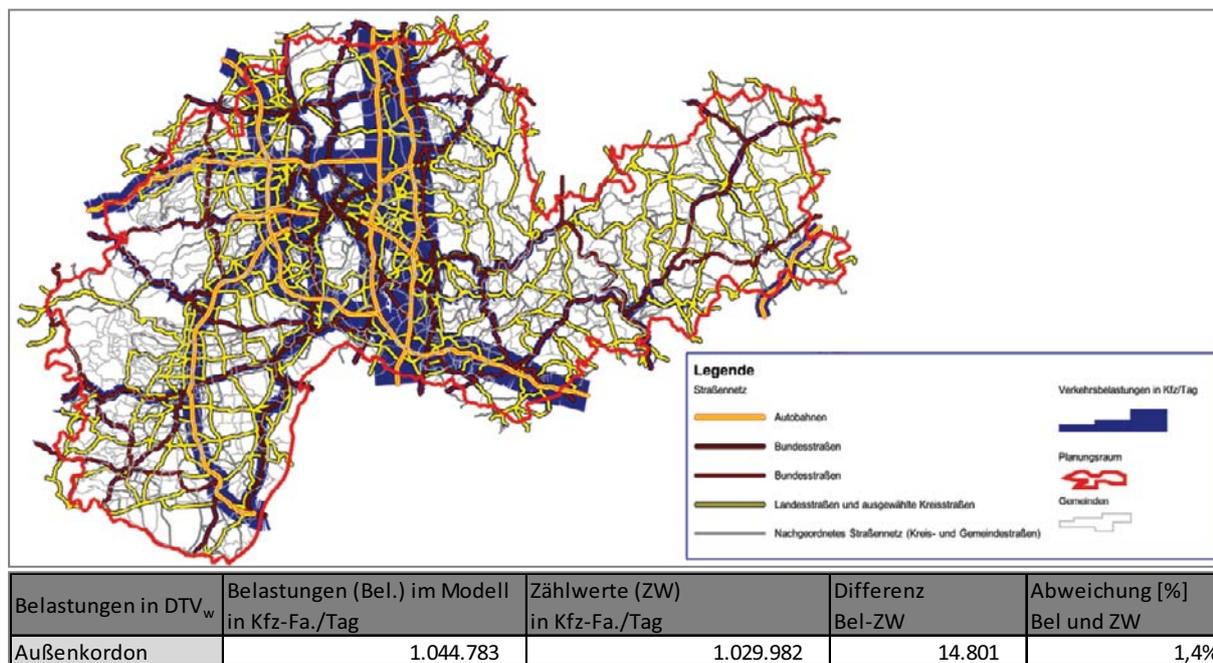
Gelegenheit (Zweck des Weges)	Zielwahlexponent α_k
Geschäftlich/ Dienstlich	8,90
Einkaufen	14,71
Freizeit	13,23
Dienstleistung (v.a. Holen und Bringen)	13,40

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 18: Zielwahlparameter für die Praxisanwendung

In Abbildung 26 sind die Summen der Belastungen am Kordon des Planungsraums im Vergleich zu den gezählten Werten (ZW) zu sehen. Die Abweichung in der Summe beträgt bei insgesamt 1,05 Mio. modellierten MIV-Wegen knapp 20.000 Fahrzeuge. Das sind ca. 2%. Die Abweichung ist so gering, dass das Modell als hinreichend kalibriert anzusehen ist.

Die Verkehrsbelastungen in Abbildung 26 beinhalten die Kfz-Fahrten pro Tag aller Personen sowohl des Planungsraums als auch der Außenzellen sowie des Fernverkehrs.



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung auf Basis des Netzmodells aus dem Projekt: „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Abbildung 26: Belastungen am Kordon des Planungsraums im MIV

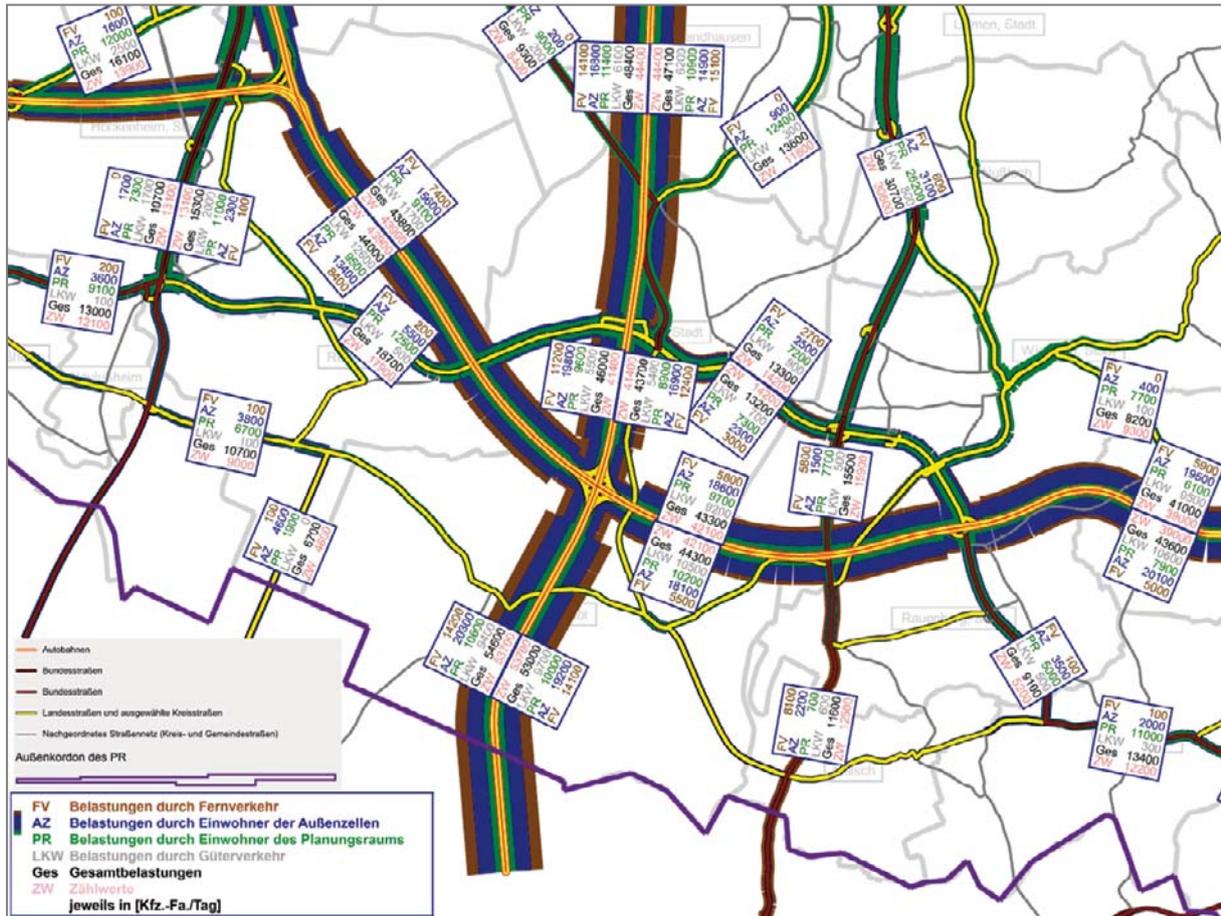
Betrachtet man die Nachfragesegmente am Kordon des Planungsraums (vgl. Tabelle 19), so zeigt sich, dass die Einwohner der Außenzellen dort den größten Anteil an Fahrten aufweisen. Auch dies erscheint plausibel, da die Einwohner der Außenzellen in den zum Planungsraum angrenzenden Zellen ihren Alltagsverkehr auch im Planungsraum verrichten und für sie diese Grenze zum Planungsraum nicht wahrgenommen wird. Analog haben auch die Einwohner des Planungsraums einen relativ hohen Anteil. Dieser ist allerdings geringer als der der Einwohner der Außenzellen, was an der Attraktivität des Planungsraums mit den Zentren Mannheim, Heidelberg und Ludwigshafen liegt. Die Ergebnisse zeigen, dass rund doppelt so viele kordonüberschreitende Fahrten von den Einwohnern der Außenzellen gemacht werden, als von den Einwohnern des Planungsraums. Dabei ist allerdings auch das Verhältnis der Einwohneranzahl des Planungsraums (ca. 2,3 Mio.) und die der Außenzellen (ca. 16 Mio.) zu berücksichtigen.

Belastungen im Kordon um den Planungsraum nach Nachfragesegmenten	
Einwohner des PR [Pkw-Fa./Tag]	230.777
Einwohner der AZ [Pkw-Fa./Tag]	542.937
Fahrten im FV [Pkw-Fa./Tag]	132.765
Lkw-Verkehr [Lkw-Fa./Tag]	138.304
Gesamtverkehr [Kfz-Fa./Tag]	1.044.783

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis des Projekts „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Tabelle 19: Belastungen im Kordon um den Planungsraum nach Nachfragesegmenten (Einwohner des Planungsraums und der Außenzellen sowie Fernverkehr)

Abbildung 27 zeigt einen Ausschnitt des Kordons des Planungsraums mit den Belastungen aus den Nachfragesegmenten. Wie zu erwarten, sind die Belastungen durch die Einwohner der Außenzellen an den Hauptverkehrsstraßen (Autobahnen) wesentlich größer als auf dem nachgeordneten Straßennetz. Je mehr sich die Straßen im Zentrum des Planungsraums befinden, desto höher wird der Anteil der Verkehrsbelastung, die durch die Einwohner des Planungsraums verursacht werden. Auch der Vergleich der gezählten mit den modellierten Belastungswerten an den einzelnen Kanten zeigt, dass das Modell nicht nur am Kordon in der Summe, sondern auch an den einzelnen Kanten im Rahmen der Toleranz realitätsnahe Belastungen liefert.

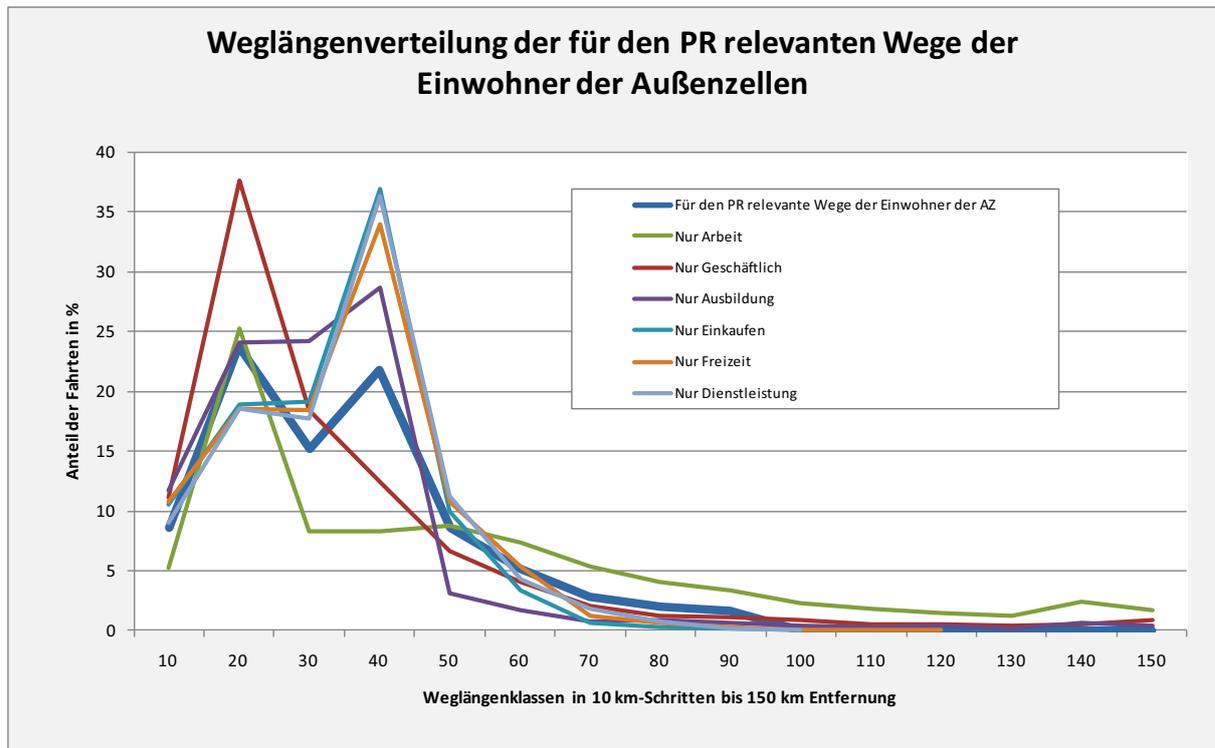


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis des Netzmodells aus dem Projekt: „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Abbildung 27: Belastungen der Kanten nach Nachfragesegmenten (Einwohner des Planungsraums und der Außenzellen sowie Fernverkehr)

Betrachtet man bei der Wegelängenverteilung nur die Wege der Einwohner der Außenzellen, die für den Planungsraum relevant sind, so weicht diese von der Form einer Wegelängenverteilung ab, wie man sie von den Einwohnern des Planungsraums kennt. Dort überwiegen die kurzen Wege und mit zunehmender Entfernung nehmen die Anteile der Wege ab. Würde man alle Wege der Einwohner der Außenzellen betrachten, wäre dies sicher auch so. Da aber die Wege, die in den Außenzellen beginnen und dort enden ohne den Planungsraum zu berühren, hier nicht aufgeführt sind, sind die in Diagramm 22 gezeigten Verteilungen plausibel. Die kurzen Wege fehlen. Der Peak der Wege je Zweck liegt dort, wo die jeweilige Attraktivität der Orte im Planungsraum am größten ist. So verwundert es auch nicht, dass für die Einkaufs-, Freizeit- und Dienstleistungswege der höchste Anteil bei 40 km Entfernung liegt. Mit einem Durchmesser des Planungsraums von ca. 50 km in Nord-Süd-Richtung und der zentralen Lage der Hauptorte Mannheim, Ludwigshafen und Heidelberg in der Mitte des Planungsraums sind das die meist aufgesuchten Orte von Einwohnern der Außen-

zellen im Planungsraum, so dass sich diese Wegelängenverteilungen erwartungsgemäß ergeben.



Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung aus dem Projekt: „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Diagramm 22: Wegelängenverteilung der für den Planungsraum relevanten Verkehre der Einwohner der Außenzellen nach Zweck

Die Peaks beim Ausbildungsverkehr sind nicht so eindeutig zuzuordnen. Während der größte Peak ebenfalls bei 40 km liegt, wobei es sich in der Regel um die Studienorte Mannheim und Heidelberg handelt, gibt es einen zweiten, etwas kleineren Peak bei ca. 20 km. Dieser wird dadurch verursacht, dass die Ausbildungsorte im handwerklichen Bereich eher in einer näheren Umgebung liegen.

Aus einem ähnlichen Grund liegt die Spitze der Ganglinie Arbeit auch in einem Bereich um ca. 20 km. Der Anteil der weiteren Fahrten ist aber höher als im Vergleich zu anderen Zwecken, da Pendelwege oft auch längere Fahrten beinhalten. Die geschäftlichen Wege sind meist Wege im näheren Umfeld (Handwerker etc.).

Im anschließenden Verkehrsmittelmodell werden für alle den Planungsraum betreffenden Wege der Einwohner der Außenzellen die Verkehrsmittel analog der Formel 10 (Seite 95) mit einem Conditional Logit Modell modelliert. Die alternativenspezifischen Variablen und die Koeffizienten werden aus der Verkehrsmittelwahlmodellie-

rung des Planungsraums übernommen, da für die Einwohner der Außenzellen mangels Primärdaten keine originären Schätzungen möglich sind.

Die Ergebnisse des Modal Split zeigen, dass die Anwendung dieses Modells für die Außenzellen plausible Werte liefert (vgl. Tabelle 20).

Modal Split der für den PR relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen	
Fuß	0,6%
Rad	2,4%
MIV als Fahrer	76,4%
MIV als Mitfahrer	8,4%
ÖV	12,2%
Summe	100,0%

Quelle: Eigene Berechnung aus dem Projekt: „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose des Verkehrs in der Metropolregion Rhein-Neckar“ (Kagerbauer & Zumkeller 2009)

Tabelle 20: Modal Split der für den Planungsraum relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen

Der Fuß- und Radverkehr spielt bei der Betrachtung der für den Planungsraum relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen eine untergeordnete Rolle. Meist handelt es sich hier um kurze Wege, die direkt am Kordon des Planungsraums liegen. Mit ca. 12% ÖV-Anteil und insgesamt ca. 85% MIV-Anteil werden die Fahrten zwischen MIV und ÖV aufgeteilt. Dabei spielt der MIV eine wesentlich größere Rolle als der ÖV. In diesem speziellen Fall ist das ÖV-Angebot an den Achsen zwischen Frankfurt, Mannheim, Ludwigshafen, Heidelberg, Karlsruhe und Stuttgart besser als in den ländlichen Räumen, vor allem im östlichen Planungsraum. Die meisten Wege im Bereich zwischen 20 und 40 km werden, sofern sie nicht direkt von urbanem Raum zu urbanem Raum gehen, aus Angebotsgründen mit dem MIV bewältigt.

Die Ergebnisse dieser Praxisanwendung der Modellierung der Wege der Einwohner der Außenzellen zeigen, dass das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Modell praxistauglich ist. Die Anwendung im Projekt „Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose der Verkehrsnachfrage in der Metropolregion Rhein-Neckar“ und in der Berechnung einiger Planungsfälle zu diesem Projekt hat dies ebenfalls bestätigt.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Mikroskopische Verkehrsmodelle bilden die Verkehrsnachfrage einzelner Individuen in einem bestimmten Raum ab. Dadurch ist die Bewertung von Maßnahmen möglich, die auf der Individualebene wirken. Das ist besonders in Zukunft wichtig, da das Verhalten der Personen einer größeren Vielfalt unterliegen wird (intrapersonelle Varianz), d. h. Personen werden nicht nur ein Verkehrsmittel nutzen, sondern mehrere – sei es nur auf einem Weg (Intermodalität) oder über mehrere Tage (Multimodalität). Des Weiteren werden die Ansprüche der Bevölkerung an die Mobilitätssysteme zunehmend höher, so dass die vorhandene Infrastruktur hinsichtlich verbesserter Nutzungsmöglichkeiten und Auslastungen zu optimieren ist (Arrondierung). Auch die demografischen Veränderungen in der Gesellschaft wirken sich auf die Verkehrsnachfrage und die Gestaltung der Infrastruktur aus. Eine zunehmende Anzahl von älteren Menschen hat ein hohes Mobilitätsbedürfnis und nimmt ihre (Auto-)Mobilität mit ins Alter. Das Verkehrsverhalten der jungen Personen wird zunehmend variabler (Multimodalität), so dass flexible verkehrsmittelübergreifende Angebote immer mehr an Bedeutung gewinnen. Dabei sind zukunftsweisende Mobilitätsangebote wie z. B. Car-Sharing und Elektromobilität zu berücksichtigen. Auch verkehrliche Auswirkungen dieser Veränderungen können mit der mikroskopischen Modellierung erfasst werden.

Zur Beschreibung des Verkehrsverhaltens der Einwohner des Planungsraums und zur Beschreibung des Fernverkehrs stehen bereits geeignete mikroskopische Modelle zur Verfügung. Das Ziel dieser Dissertation war es, den für den Planungsraum relevanten Verkehr der Einwohner der Außenzellen überlappungsfrei mit der Fernverkehrsnachfrage abzubilden, um damit ein ganzheitliches mikroskopisches Modell zu erhalten. Die Anzahl der Einwohner der Außenzellen ist wesentlich größer als die der Einwohner des Planungsraums, so dass ein Modell zu entwickeln war, das die Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen im Planungsraum im Spannungsfeld zwischen angemessener Rechenzeit und präziser Modellierung abbildet. Dabei wurden in dem entwickelten Modell nur die für den Planungsraum relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen berücksichtigt, ohne dass die Personen- und Haushaltseigenschaften dieser verloren gehen.

Die Übertragbarkeit von Mobilitätsdaten innerhalb von Raumtypen konnte mit Auswertungen der Daten des Deutschen Mobilitätspanels belegt werden. So sind Wegelängenverteilungen sowohl in den BIK- als auch in den BBR-Raumtypen meist signifikant voneinander verschieden, während die Wegelängenmittelwerte von Personen aus Städten, die in einem Raumtyp liegen, nicht signifikant voneinander verschieden

sind. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Aktivitätenmuster von Einwohnern in verschiedenen Raumtypisierungen sowohl nach BIK als auch nach BBR meist signifikant voneinander verschieden sind. Darüber hinaus weisen Personen, die in unterschiedlichen raumstrukturellen Gebietskörperschaften (Kreise oder Gemeinden) leben, im Wesentlichen unterschiedliche Mobilitätskenngrößen auf. Das Verkehrsverhalten und die Aktivitätenmuster der Personen sind auch vom Raumtyp des Wohnstandorts abhängig. Die Aktivitätenmuster sind Grundlage für die mikroskopische Verkehrsnachfragemodellierung. Da für die Einwohner der Außenzellen eines Planungsraums in der Regel keine empirischen Mobilitätsdaten vorliegen, ist die Übertragbarkeit von Aktivitätenmustern von Personen aus vergleichbaren Raumtypen eine wichtige Voraussetzung für das Verkehrsnachfragemodell.

Im zweiten Teil der Arbeit wurde eine Methode entwickelt, die deutschlandweit für jeden Landkreis die mindestens zu untersuchende räumliche Ausdehnung des Untersuchungsgebiets beschreibt. Diese räumliche Abgrenzung der Außenzellen ist ebenfalls Grundlage für die Modellierung der Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen.

Das im dritten Teil der Arbeit entwickelte Modell zur Ermittlung der Verkehrsnachfrage der Einwohner der Außenzellen beinhaltet zum einen die Modellierung sämtlicher Wege der Personen, die einen Pol im Planungsraum haben oder deren Weg zum Pol durch den Planungsraum führt. Dieser Modellteil geht von den Personen aus, die Wege unternehmen und läuft analog zu dem Modell der Einwohner des Planungsraums ab. Zum anderen werden nur die Wege der Einwohner aus den Außenzellen ohne relevanten Pol für den Planungsraum berücksichtigt, die im Planungsraum enden oder durch diesen führen. Basis zur Ermittlung eines für den Planungsraum relevanten Weges ist der Anteil der Berührung des Planungsraums. In einer Umlegungsrechnung wird eine bestimmte Menge an Fahrten zwischen sämtlichen Relationen ausgehend von jeder Außenzelle umgelegt. Anschließend wird je Relation geprüft, wie viele Fahrten durch den Planungsraum führen und daraus der Anteil der Berührung des Planungsraums abgeleitet. Im Zielwahlmodell wird dieser Anteil der Berührung des Planungsraums integriert, so dass nur für den Planungsraum relevante Wege weiterverfolgt werden. Alle übrigen Wege der Personen in den Außenzellen werden nicht berücksichtigt, so dass der Modellierungsaufwand reduziert werden kann. Nach der Zielwahl findet die Verkehrsmittelwahl statt, die nach den bewährten Verfahren abläuft. Bei diesem entwickelten Modellansatz wird also im Gegensatz zur Modellierung der Einwohner des Planungsraums, bei der alle Personen mit allen We-

gen berücksichtigt werden, nur von den für den Planungsraum relevanten Wegen aller Personen ausgegangen.

Bei der Anwendung dieses Modells treten Zeitersparnisse gegenüber den bisherigen Modellierungsansätzen auf. Die Modellierung von 2,3 Mio. Einwohnern für den Planungsraum der Region Rhein-Neckar mit der Software mobiTopp dauert ca. 24 Stunden. Würde man diese Art der Modellierung auf die Einwohner der Außenzellen (16 Mio. Einwohner) übertragen, wäre der Zeitaufwand für die Modellierung hinsichtlich einer Projektabwicklung immens. Wendet man das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Modell an, so dauert die Modellierung der für den Planungsraum relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen ca. 24 Stunden für eine Vollsimulation aller 16 Mio. Einwohner. Die Modellierung einer Stichprobe von 10% aller Einwohner dauert ca. 2-3 Stunden, so dass eine Kalibrierung des Modells schnell vonstattengehen kann.

Ergänzend zu diesem Modell sind Erweiterungen denkbar, die sich mit der Modellierung von Dreieckswegen oder sämtlichen Wegen einer Person, die einen Weg im Planungsraum durchführt, beschäftigen. Auch könnten personenspezifische Merkmale, wie z. B. eine höhere Affinität zu weiter entfernten Wegen nach Familien- bzw. Bildungsstand, berücksichtigt werden. Das hier vorliegende Modell liefert praxistaugliche Ergebnisse – eine Verfeinerung hinsichtlich der o.g. Merkmale würde die mikroskopischen Auswertungsmöglichkeiten der Daten erhöhen.

Mit diesem Modell steht nun die Grundlage für eine schnelle und aufgabenorientierte Modellierung der für den Planungsraum relevanten Wege der Einwohner der Außenzellen zur Verfügung. Das entwickelte Modell ermöglicht zudem die Erstellung von Prognosen in den Außenzellen analog zum Planungsraum und es werden Auswirkungen von Maßnahmen, die über den Planungsraum hinaus wirken, berücksichtigt.

Literatur

Ahrens (2009). Ergebnisse und Erkenntnisse zur Mobilität in Städten aus der Haushaltsbefragung SrV 2008. Abschlusskonferenz SrV 2008. Dresden, http://www.tu-dresden.de/srv/SrV_Web/2008/finale/1_Vortrag_Ahrens_30_6.pdf.

Ahrens, G.-A., J. Hellenschmidt, Ließke.F. und R. Wittwer (2007). Wenn zwei das Gleiche tun, erheben sie noch lange nicht dasselbe. Internationales Verkehrswesen 59 - 6, S. 270-274.

Arentze, T. und H. Timmermans (2000). Albatross: A Learnig-Based Transportation Oriented Simulation System. Eindhoven, European Institute of Retailing and Services Studies Eindhoven.

BBR (2005). Raumordnungsbericht 2005. Bericht Band 21. Bonn, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.

BBR (2009). Laufende Raumbbeobachtung des BBR. BBR. http://www.bbr.bund.de/cIn_005/nn_21360/BBSR/DE/Raumbbeobachtung/Werkzeuge/Raumabgrenzungen/SiedlungsstrukturelleGebietstypen/Regionstypen/Downloadangebote.html . BBR.

Ben-Akiva, M. und S. R. Lerman (1985). Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. London, MIT Press.

Bhat, C. et al. (2002). Development of an urban accessibility index. Formulations, aggregations and applications. Research Report Number 4938-4. Austin, Center for Transportation Research, University of Texas.

Bhat, C. R., J. Y. Guo, S. Srinivasan und A. Sivakumar (2004). A Comprehensive Econometric Micro-simulator for Daily Activity-travel Patterns (CEMDAP). Austin, Texas.

BIK Aschpurwis + Behrens GmbH (2001). BIK Regionen - Ballungsräume, Stadtregionen, Mittel- / Unterzentren. Methodenbeschreibung zur Aktualisierung. Hamburg.

Bleisch, A. (2005). Die Erreichbarkeit von Regionen. Basel, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Universität Basel.

Boustedt (1970). Zum Konzept der Stadtregionen. ARL Forschungs- und Sitzungsberichte, Bd. 59. Hannover.

Brannath, W. und A. Futschik (2001). Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. Stuttgart, UTB.

Bucher, H., C. Schlömer, M. Waltersbacher und et al. (2006). Raumordnungsprognose 2020/2050. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.

Bundesagentur für Arbeit (2006). Statistik über Pendlerströme sozialversicherungspflichtig Beschäftigter auf Kreis-/Gemeindeebene. Nürnberg, Datensätze der Bundesagentur für Arbeit für alle Bundesländer.

Chlond, B., M. Kagerbauer, P. Ottmann und Zumkeller D. (2009). Mobilitätspanel: Pkw-Fahrleistungen und Treibstoffverbrauch im Vergleich. Internationales Verkehrswesen 61 - 3, S. 71-75.

Cyganski, R. und A. Justen (2007). Maßnahmensensitive Nachfragemodellierung in mikroskopischen Personenverkehrsmodellen. Berlin, DVWG. Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft e.V. - Reihe B 313 - Seminare.

Deutsches Mobilitätspanel (2007). Homepage des Deutschen Mobilitätspanels MOP. Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe TH. <http://mobilitaetspanel.ifv.uni-karlsruhe.de/> . 14-10-2003.

Eurotopp Consortium (1990). Eurotopp Annual Report 1990.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1991). Empfehlungen für Verkehrserhebungen EVE 91. Köln.

Fröhlich (2008). Änderungen der Intensitäten im Arbeitspendlerverkehr von 1970 bis 2000. Zürich, Dissertation an der ETH Zürich.

Gringmuth, C. (2006). Einfluss von Budgetrestriktionen auf Wochenpläne von Verkehrsteilnehmern. Dissertation an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Karlsruhe .

Herz (1981). Zur Frage der räumlichen Übertragbarkeit von Alltagsverhalten. Abschlußbericht des DFG-Projekts "Regionale Unterschiede der Aktivitätsmuster privater Haushalte". Karlsruhe, Institut für Städtebau und Landesplanung der Universität Karlsruhe.

Institute for Land and Sea Transport Systems - Technische Universität Berlin und Institute for Transport Planning and Systems (IVT) - Swiss Federal Institute of Technology Zurich (2009). Multi-Agent Transport Simulation Toolkit. www.matsim.org . 7-7-2009.

Kagerbauer und Zumkeller (2009). Integrierte Nachfrageanalyse und Prognose der Verkehrsentwicklung in der Metropolregion Rhein-Neckar. Schlussbericht der Studie im Auftrag der Metropolregion Rhein-Neckar. Karlsruhe, Institut für Verkehrswesen (IfV) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

- Kitamura, R., C. Chen, R. M. Pendyala und R. Narayanan (2000). Micro-simulation of daily activity-travel patterns for travel demand forecasting. *Transportation* 27, S. 25-51.
- Korte, J. W. (1958). *Grundlagen der Straßenverkehrsplanung in Stadt und Land*. Wiesbaden, Bauverlag.
- Kuhnimhof, T. (2007). *Längsschnittmodellierung der Verkehrsnachfrage zur Abbildung multimodalen Verhaltens*. Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe.
- Kunert, U. et al. (2003). *Mobilität in Deutschland- KONTIV 2002. Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten, Projektbericht. Bericht FE 70.0681/2001*. Berlin, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Kutter, E. (1973). A Model for Individual Travel Behaviour. *Urban Studies* 10 - 2, S. 235-258.
- Kutter, E. (1972). *Demographische Determinanten städtischen Personenverkehrs. [Heft 9]. Veröffentlichung des Instituts für Stadtbauwesen*.
- Lipps, O. (2001). *Modellierung der individuellen Verhaltensvariation bei der Verkehrsentstehung. [Heft 58]. Karlsruhe. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe*.
- Lohse, D. und R. Schneider (1997). *Vergleichende Untersuchungen der aggregierten und disaggregierten Verkehrsplanungsmodelle*. Dresden, Technische Universität Dresden, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Heft 3.
- Mäcke, P. (1964). *Das Prognoseverfahren in der Straßenverkehrsplanung*. Wiesbaden.
- Manz, W. (2005). *Mikroskopische längsschnittorientierte Abbildung des Personenfernverkehrs. 62/05*. Karlsruhe, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe.
- Meister, K. et al. (2010). *Anwendung eines agentenbasierten Modells der Verkehrsnachfrage auf die Schweiz*. Stuttgart, HEUREKA 2008.
- Miller, E. J., M. J. Roorda und J. A. Carrasco (2005). A tour-based model of travel mode choice. *Transportation* 32, S. 399-422.
- Nagel, K. (2005). *Multi-agent transportation simulation*. <https://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2004/04-01/> .
- Obermayer, C. (2005). *Analyse des Einflusses von Luftlinienentfernung versus Routenentfernung im Personenfernverkehr*. Diplomarbeit am Institut für Verkehrswesen des Departments für Raum, Landschaft und Infrastruktur der BOKU Wien. Wien, In-

stitut für Verkehrswesen des Departments für Raum, Landschaft und Infrastruktur der BOKU Wien.

Ortuzar, J. d. D. und L. G. Willumsen (1990). Modeling Transport. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, John Wiley Sons.

Ortuzar, J. D. und L. G. Willumsen (2005). Modelling Transport. 2. New York, John Wiley and Sons.

Pirath, C. (1949). Die Grundlagen der Verkehrswirtschaft. 2. Auflage. Berlin u.a.O., Springer Verlag.

PTV AG (2009). PTV Validate – Plattform für internationale Verkehrsdaten. http://www.ptv.de/fileadmin/files_ptv.de/download/traffic/PTV-Validate_1_.pdf.

R+T Topp Skoupil Kuchler und Partner (2002). Aktualisierung der Verkehrsdaten Westumfahrung Mannheim. [im Auftrag der Stadt Mannheim]. Kaiserslautern.

Raimond, T. (2008). Moving towards continuous collection of large scale mobility surveys: are there compelling reasons? 8th International Conference on Survey Methods in Transport. Annecy. 2008.

Raney, B. und K. Nagel (2006). An improved framework for large-scale multi-agent simulations of travel behavior. in P. Rietveld, B. Jourquin und K. Westin (Hg.) Towards better performing European Transportation Systems. Routledge, London.

Richter, K.-J. (1995). Verkehrsökonomie - Elemente quantitativer Verkehrswirtschaft. München/ Wien, Oldenbourg Verlag GmbH.

Schendera, C. F. (2004). Datenmanagement und Datenanalyse mit dem SAS-System. München, R. Oldenbourg.

Schiller, C. (2007). Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum- und Infrastrukturplanung. Dresden, Heft 10/2007 Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden.

Schlich, R. (2004). Verhaltenshomogene Gruppen in Längsschnitterhebungen. Zürich, Dissertation am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich.

Schnabel, W. und D. Lohse (1997a). Grundlagen der Straßen-Verkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 1. Verlag für Bauwesen.

Schnabel, W. und D. Lohse (1997b). Grundlagen der Straßen-Verkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 2. Verlag für Bauwesen.

Schnittger (2007). Fortschreibung des Verkehrsentwicklungsplans der Stadt Erlangen 2006. Ettlingen, INOVAPLAN GmbH.

- Schnittger, S. und D. Zumkeller (2004). Longitudinal Microsimulation as a tool to merge transport planning and traffic engineering models – the MobiTopp model. Strasbourg, France, paper presented at the European Transport Conference.
- Schnittger, S. und D. Zumkeller (2006). mobiTopp - Ein längsschnittorientiertes Mikrosimulationsmodell zur Abschätzung künftiger Verkehrsentwicklungen bei alternativen Raumentwicklungen. AMUS 2006 - Integrierte Mikro-Simulation von Raum- und Verkehrsentwicklung. 193-204. Aachen, Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr RWTH Aachen. Stadt Region Land 81.
- Schwarzmann, R. (1995). Der Einfluss von Nutzerinformationssystemen auf die Verkehrsnachfrage. [Heft 54]. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe.
- Sparmann, U. (1980). ORIENT-Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose. Heft 20. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe.
- Steierwald, G. und G. Heinz (1981). Zusammenhänge zwischen der erwünschten Genauigkeit von Verkehrsuntersuchungen und der Einteilung des Untersuchungsgebiets. 77-120. Bonn, Bad Godesberg, Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau.
- Stopher, P. R., D. T. Hartgen und Y. J. Li (1996). SMART: Simulation Model for Activities, Resources and Travel. Transportation 23 - 3, S. 293-312.
- Timmermans, H. und T. Arentze (2005). A Theoretical Framework for Modeling Activity-Travel Scheduling Decisions in Non-Stationary Environments Under Conditions of Uncertainty and Learning. Eindhoven, Niederlande.
- Varschen, C. und P. Wagner (2006). Mikroskopische Modellierung der Personenverkehrsnachfrage auf Basis von Zeitverwendungstagebüchern. AMUS 2006 - Integrierte Mikro-Simulation von Raum- und Verkehrsentwicklung. 63-70. Aachen, Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr RWTH Aachen. Stadt Region Land 81.
- Waßmuth, V. (2001). Modellierung der Wirkung verkehrsreduzierender Siedlungskonzepte. [Heft 60]. Karlsruhe. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe.
- Wittwer, R. (2008). Raumstrukturelle Einflüsse auf das Verkehrsverhalten - Nutzbarkeit der Ergebnisse großräumiger und lokaler Haushaltsbefragungen für makroskopische Verkehrsplanungsmodelle. Dresden, Fakultät für Verkehrswissenschaften der TU Dresden.
- Zumkeller (2009). The dynamics of change - 15 years German Mobility Panel. Washington, TRB 88th Annual Meeting.

Zumkeller und Poeck (1976). Gesamtverkehrsplan Großraum Nürnberg. München, KOCKS KG.

Zumkeller, D. (1989). Ein sozial-ökologisches Verkehrsmodell zur Simulation von Verkehrsnachfragewirkungen. [46]. Braunschweig. Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen der TU Braunschweig.

Zumkeller, D. et al. (2007). Panelauswertung 2006. Datenaufbereitung, Plausibilisierung und Auswertungen zu den Erhebungen zur Alltagsmobilität 2004/06 sowie zu Fahrleistungen und Treibstoffverbräuchen 2005/07 für das Mobilitätspanel. Bericht FE 70.0753/2004 im Auftrag des BMVBW. Karlsruhe, Institut für Verkehrswesen - Universität Karlsruhe (TH).

Zumkeller, D. und H. Seitz (1994). Aufbereitung vorhandener Daten für Verkehrsplanungszwecke als Ersatz für neue Befragungen. [642]. Bonn. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Bundesminister für Verkehr.

Zumkeller, D., B. Chlond, T. Kuhnimhof und W. Manz (2003). Selektivität des Mobilitätspanels, Schlussbericht zu FE 96.0732/2002 für das BMV. Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe TH.

Glossar: Erläuterung der wichtigen verwendeten Begriffe

Agenda	Liste mit Aktivitäten, die über einen bestimmten Zeitraum durchgeführt werden oder geplant sind.
Aktivität	Eine durchgeführte oder geplante Tätigkeit, die mit einem Ortswechsel verbunden ist.
Aktivitätenmuster	Folge von durchgeführten oder durchzuführenden Aktivitäten einer Person über einen Zeitraum (meist Tag).
Anteil der Berührung des Planungsraums $ab_{i,j}$	Beschreibt den Anteil der Fahrten $F_{i,j}$ von einer Quelle i zu einem Ziel j , die den Planungsraum berühren (→ Berührung des Planungsraums). $ab_{i,j} = \frac{\text{Anzahl der Fahrten}_{i,j}^{\text{Berührung des Planungsraums}}}{\text{Anzahl der Fahrten}_{i,j}}$
Attraktivität	Ist das Maß der Anziehung einer Zelle für einen bestimmten Zweck. Sie berechnet sich aus der Gelegenheit dividiert durch den Widerstand hoch einem Zielwahlparameter.
Außenzelle	Die Außenzellen stellen den räumlichen Bereich außerhalb des Planungsraums bis zu den Fernzellen dar. Darin werden die Verkehre abgebildet, die von Einwohnern der Außenzellen entstehen und Bezug zum Planungsraum haben. (→ Bezug zum Planungsraum)
Berührung des Planungsraums	Eine Fahrt berührt den Planungsraum, wenn diese außerhalb des Planungsraums beginnt und im Planungsraum endet oder diesen durchquert.
Bezug zum Planungsraum	Fahrten haben einen Bezug zum Planungsraum, wenn diese im Planungsraum enden, beginnen oder diesen durchqueren.
Fernzellen	Die Fernzellen (FZ) stellen den räumlichen Bereich am Rand des Untersuchungsgebiets dar. Sie spiegeln den „Rest der Welt“ wider. Hier sind nur die Fernverkehre enthalten, die Bezug zum Planungsraum haben. (→ Bezug zum Planungsraum)
Feste Ziele	siehe Pol

Flexible Ziele	Räumliche Ziele von Aktivitäten, die nicht an einen festen Ort gebunden sind. Darunter fallen alle Aktivitäten mit Ausnahme von Wohnen, Arbeit und Ausbildung.
Gelegenheiten	Stellt eine Messgröße zur Quantifizierung des Anziehungspotentials einer Zelle dar (z. B. Freizeit oder Einkauf).
Kordon	Ein Kordon ist ein System von Zählstellen, das ein Erhebungsgebiet umschließt und die Erfassung des gebietsüberschreitenden Verkehrs ermöglicht.
Makroskopische Modelle	Bei den makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen werden die Verkehrsentstehung, die Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung von Aggregaten modelliert.
Mikroskopische Modelle	Bei den mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen werden die Verkehrserzeugung, die Zielwahl und die Verkehrsmittelwahl von einzelnen Personen modelliert.
Monte-Carlo-Simulation	Wahl einer von mehreren zur Verfügung stehenden Alternativen, die in Form einer kumulierten Verteilungsfunktion vorliegen, mit Hilfe von Zufallszahlen.
Planungsraum	Der Planungsraum beinhaltet den räumlichen Umgriff, in dem alle relevanten Verkehre abgebildet werden und für dessen (verkehrlichen) Bereich in der Regel Handlungskonzepte erarbeitet werden sollen.
Pol	Räumlicher Schwerpunkt des individuellen Mobilitätsgeschehens, der regelmäßig aufgesucht wird, um die Aktivitäten Wohnen, Arbeiten oder Ausbildung durchzuführen.
Raumtypisierung	Raumtypen stellen die planmäßige Ordnung von Gebiets-einheiten dar und beschreiben räumlich begrenzte Gebiete mit ähnlichen Gegebenheiten und Zielsetzungen. In dieser Arbeit wird die Raumtypisierung nach BIK (Regionsgrößenklassen (BIK10)) und BBR (Siedlungsstruktureller Kreistyp) verwendet.
Relevanter Pol	Ein Pol ist für den Planungsraum relevant, wenn auf der Fahrt dorthin der Planungsraum berührt wird (→ Berührung des Planungsraums).

Untersuchungsgebiet	Das Untersuchungsgebiet (UG) schließt die Fernzellen, die Außenzellen und den Planungsraum mit ein.
Verkehrsspinnen	Mit Hilfe von Verkehrsspinnen können die Quellen und Ziele der Fahrten über eine oder mehrere Kanten (=Strecken) in einem Verkehrsumlegungsmodell ermittelt werden.
Zelle (=Bezirk)	Eine Verkehrszelle ist eine abgegrenzte Raumeinheit, die ein Teilgebiet verkörpert, in dem die Personen bei der Verkehrsmodellierung abgebildet werden.

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen (ISSN 0341-5503)

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch

Ab Band 69 erscheint die Reihe bei KIT Scientific Publishing. Die Bände sind unter www.ksp.kit.edu als PDF frei verfügbar oder als Druckausgabe bestellbar.

Heft 70 – Kagerbauer, M. (2010)

Mikroskopische Modellierung des Außenverkehrs eines Planungsraums
ISBN 978-3-86644-553-6

Heft 69 – Ottmann, P. (2010)

Abbildung demographischer Prozesse in Verkehrsentstehungsmodellen mit Hilfe von Längsschnittdaten
ISBN 978-3-86644-555-0

Die Hefte 1 bis 68 der Schriftenreihe können über das Institut für Verkehrswesen zum Preis von 11,00 Euro sowie über den Buchhandel bestellt werden. Mit * gekennzeichnete Hefte sind leider vergriffen.

Heft 68 – Wittowsky, D. (2009)

Dynamische Informationen im ÖPNV – Nutzerakzeptanz und Modellierung

Heft 67 – Geweke, St. (2009)

Wirksamkeit von Verkehrsinformationen und belastungsabhängigen Preisen zur Nutzung von Kapazitätsreserven im Straßennetz

Heft 66 – Kuhnimhof, T. (2007)

Längsschnittmodellierung der Verkehrsnachfrage zur Abbildung multimodalen Verhaltens

Heft 65 – Last, J. (2006)

Barrieren und Potenziale intermodaler Angebotskonzepte im Personenfernverkehr

Heft 64 – Vortisch, P. (2006)

Modellunterstützte Messwertpropagierung zur Verkehrslageschätzung in Stadtstraßennetzen

Heft 63 – Heine-Nims, T. (2006)

Einbeziehung kurzfristiger Verhaltensänderungen bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage

Heft 62 – Manz, W. (2005)

Mikroskopische längsschnittorientierte Abbildung des Personenverkehrs

Heft 61 – Eberhard, O. (2005)

Wirkungsanalyse individuell-dynamischer Zielführungssysteme im Straßenverkehr

Heft 60 - Waßmuth, V. (2002)

Modellierung der Wirkungen verkehrsreduzierender Siedlungskonzepte

Heft 59 - Oketch, T. (2001)

A Model for Heterogeneous Traffic Containing Non-Motorised Vehicles

Heft 58* - Lipps, O. (2001)

Modellierung der individuellen Verhaltensvariationen bei der Verkehrsentstehung

Heft 57 - Lee, S. (1999)

Wechselwirkungen zwischen Verkehr und Telekommunikation in einer asiatischen Stadtumgebung

Heft 56 - Kickner, S. (1998)

Kognition, Einstellung und Verhalten – Eine Untersuchung des individuellen Verkehrsverhaltens in Karlsruhe

Heft 55 - Chlond, B. (1996)

Zeitverwendung und Verkehrsgeschehen – Zur Abschätzung des Verkehrsumfangs bei Änderungen der Freizeitdauer

Heft 54 - Schwarzmann, R. (1995)

Der Einfluß von Nutzerinformationssystemen auf die Verkehrsnachfrage

Heft 53 - Reiter, U. (1994)

Simulation des Verkehrsablaufs mit individuellen Fahrbeeinflussungssystemen

Heft 52 - Nickel, F. (1994)

Stationsmanagement von Luftverkehrsgesellschaften - Eine systemanalytische Betrachtung und empirische Untersuchung der Stationsmanagement-Systeme internationaler Luftverkehrsgesellschaften

Heft 51 - Rekersbrink, A. (1994)

Verkehrsflußsimulation mit Hilfe der Fuzzy-Logic und einem Konzept potentieller Kollisionszeiten

Heft 50 - Höfler, F. (1994)

Leistungsfähigkeit von Ortsdurchfahrten bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen - untersucht mit Hilfe der Simulation

Heft 49 - Liu, Y. (1994)

Eine auf FUZZY basierende Methode zur mehrdimensionalen Beurteilung der Straßenverkehrssicherheit

Heft 48 (1992)

30 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN

Heft 47 - Grigo, R. (1992)

Zur Addition spektraler Anteile des Verkehrslärms

Heft 46 - Hsu, T.P. (1991)

Optimierung der Detektorlage bei verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerung

Heft 45 - Schnittger, St. (1991)

Einfluß von Sicherheitsanforderungen auf die Leistungsfähigkeit von Schnellstraßen

Heft 44 - Zoellmer, J. (1991)

Ein Planungsverfahren für den ÖPNV in der Fläche

Heft 43 - Aly, M.S. (1989)

Headway Distribution Model and Interrelationship between Headway and Fundamental Traffic Flow Characteristics

Heft 42 - Heidemann, D. (1989)

Ein mathematisches Modell des Verkehrsflusses

Heft 41 - Becker, U. (1989)

Beobachtung des Straßenverkehrs vom Flugzeug aus: Eigenschaften, Berechnung und Verwendung von Verkehrsgrößen

Heft 40 - Axhausen, K. (1989)

Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur Parkstandwahl

Heft 39 - Maier, W. (1988)

Bemessungsverfahren für Befragungszählstellen mit Hilfe eines Warteschlangenmodells

Heft 38 - Bleher, W.G. (1987)

Messung des Verkehrsablaufs aus einem fahrenden Fahrzeug – Beurteilung der statistischen Genauigkeit mittels Simulation

Heft 37* - Möller, K. (1986)

Signalgruppenorientiertes Modell zur Optimierung von Festzeitprogrammen an Einzelknotenpunkten

Heft 36* (1987)

25 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN

Heft 35 - Gipps, P.G. (1986)

Simulation of Pedestrian Traffic in Buildings

Heft 34 - Young, W. (1985)

Modelling the Circulation of Parking Vehicles - A Feasibility Study

Heft 33 - Stucke, G. (1985)

Bestimmung der städtischen Fahrtenmatrix durch Verkehrszählungen

Heft 32 - Benz, Th. (1985)

Mikroskopische Simulation von Energieverbrauch und Abgasemission im Straßenverkehr (MISEVA)

Heft 31* - Baass, K. (1985)

Ermittlung eines optimalen Grünbandes auf Hauptverkehrsstraßen

Heft 30 - Bosserhoff, D. (1985)

Statistische Verfahren zur Ermittlung von Quelle-Ziel-Matrizen im Öffentlichen Personennahverkehr - Ein Vergleich

Heft 29 - Haas, M. (1985)

LAERM - Mikroskopisches Modell zur Berechnung des Straßenverkehrslärms

Heft 28 - May, A.D. (1984)

Traffic Management Research at the University of California

Heft 27* - Mott, P. (1984)

Signalsteuerungsverfahren zur Priorisierung des Öffentlichen Personennahverkehrs

Heft 26* - Hubschneider, H. (1983)

Mikroskopisches Simulationssystem für Individualverkehr und Öffentlichen Personennahverkehr

Heft 25* (1982)

20 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN - Ein Institut stellt sich vor

Heft 24* - Leutzbach, W. (1982)

Verkehr auf Binnenwasserstraßen

Heft 23* - Jahnke, C.-D. (1982)

Kolonnenverhalten von Fahrzeugen mit autarken Abstandswarnsystemen

Heft 22* - Adolph, U.-M. (1981)

Systemsimulation des Güterschwerverkehrs auf Straßen

Heft 21* - Allsop, R.E. (1980)

Festzeitsteuerung von Lichtsignalanlagen

Heft 20* - Sparmann, U. (1980)

ORIENT - Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose

Heft 19* - Willmann, G. (1978)

Zustandsformen des Verkehrsablaufs auf Autobahnen

Heft 18* - Handschmann, W. (1978)

Sicherheit und Leistungsfähigkeit städtischer Straßenkreuzungen unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung des Kraftfahrzeugführers

Heft 17* - Zahn, E.M. (1978)

Berechnung gesamtkostenminimaler außerbetrieblicher Transportnetze

Heft 16* - Sahling, B.-M. (1977)

Verkehrsablauf in Netzen - ein graphentheoretisches Optimierungsverfahren

Heft 15 - Laubert, W. (1977)

Betriebsablauf und Leistungsfähigkeit von Kleinkabinenbahnstationen

Heft 14* - Bahm, G. (1977)

Kabinengröße und Betriebsablauf neuer Nahverkehrssysteme

Heft 13* - Haenicke, W. (1977)

Der Einfluß von Verflechtungen in einem bedarfsorientierten Nahverkehrssystem auf die Reisegeschwindigkeit

Heft 12 - Koffler, Th. (1977)

Vorausschätzung des Verkehrsablaufs über den Weg

Heft 11 - Pape, P. (1976)

Weglängen-Reduzierung in Fluggast-Empfangsanlagen durch flexible Vorfeldpositionierung

Heft 10 - Thomas, W. (1974)

Sensitivitätsanalyse eines Verkehrsplanungsmodells

Heft 9* - Köhler, U. (1974)

Stabilität von Fahrzeugkolonnen

Heft 8* - Wiedemann, R. (1974)

Simulation des Straßenverkehrsflusses

Heft 7* - Bey, I. (1972)

Simulationstechnische Analyse der Luftfrachtabfertigung

Heft 6* (1972)

10 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN

Heft 5 - Droste, M. (1971)

Stochastische Methoden der Erfassung und Beschreibung des ruhenden Verkehrs

Heft 4* - Böttger, R. (1970)

Die numerische Behandlung des Verkehrsablaufs an signalgesteuerten Straßenkreuzungen

Heft 3* - Koehler, R. (1968)

Verkehrsablauf auf Binnenwasserstraßen - Untersuchungen zur Leistungsfähigkeitsberechnung und Reisezeitverkürzung

Heft 2* - Stoffers, K.E. (1968)

Berechnung von optimalen Signalzeitenplänen

Heft 1* - Baron, P.S. (1967)

Weglängen als Kriterium zur Beurteilung von Fluggast-Empfangsanlagen

Sonderdruck 1/96 – Leutzbach, W.

Institutsgeschichte 1962 - 1991

Sonderdruck 2/96

ÖPNV in Mittelstädten – Dokumentation eines Fachgesprächs mit Planungshinweisen

Sonderdruck 3/03

80 Jahre Wilhelm Leutzbach – Vorträge zur Festveranstaltung am 14. November 2002.



Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Verkehrswesen

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Peter Vortisch

Die intrapersonelle Differenzierung der Mobilitätsbedürfnisse von Personen bedingt den zunehmenden Einsatz von mikroskopischen Verkehrsnachfragemodellen in der Verkehrsplanung. Dabei spielt auch der Verkehr im Planungsraum, der durch Nicht-Einwohner verursacht wird, eine wichtige Rolle. In dieser Arbeit wird ein Verkehrsnachfragemodell vorgestellt, das auf mikroskopischer Ebene den für den Planungsraum relevanten Verkehr der in den Außenzellen wohnenden Personen abbildet. Voraussetzung dafür ist die Übertragbarkeit von individuellen Mobilitätsdaten, die auf Basis der Daten des Deutschen Mobilitätspanels (MOP) analysiert wird. Darüber hinaus wird eine Methode dargelegt, welche die Abgrenzung von Untersuchungsgebieten für beliebige Planungsräume in Deutschland ermöglicht.

Martin Kagerbauer vollendete 2001 sein Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität München mit dem Diplom. Nach fünfjähriger Tätigkeit in einem Verkehrsplanungsbüro arbeitet er seit 2006 als akademischer Angestellter am Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe (TH) – ab Oktober 2009 Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Der Schwerpunkt seiner Arbeit liegt in der empirischen Mobilitätsforschung und in der mikroskopischen Modellierung der Verkehrsnachfrage.

ISSN 0341-5503

ISBN 978-3-86644-553-6

