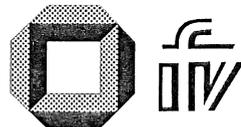


**Tobias Kuhnimhof**

**Längsschnittmodellierung der  
Verkehrsnachfrage zur Abbildung  
multimodalen Verhaltens**

**INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN  
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)  
PROFESSOR DR.-ING. D. ZUMKELLER**



**Schriftenreihe Heft 66/07 ISBN 978-3-9811078-1-4**

© 2007 Institut für Verkehrswesen  
Universität Karlsruhe (TH)  
ISBN 3-9811078-1-0  
978-3-9811078-1-4  
ISSN 0341 - 5503  
Alle Rechte vorbehalten  
Herausgeber und Vertrieb:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller  
Institut für Verkehrswesen  
Universität Karlsruhe (TH)  
Kaiserstraße 12, Postfach 69 80  
D-76128 Karlsruhe  
Telefon: (07 21) 6 08-22 51  
Telefax: (07 21) 6 08-80 31

# Kurzfassung

Kuhnimhof, Tobias

## Längsschnittmodellierung der Verkehrsnachfrage zur Abbildung multimodalen Verhaltens

113 Seiten, 33 Abbildungen, 37 Tabellen

Längsschnitterhebungen über mehrere Tage wie das Deutsche Mobilitätspanel haben in den letzten Jahren zu einem deutlich verbesserten Verständnis individuellen Mobilitätsverhaltens beigetragen. Längsschnittmodelle der Verkehrsnachfrage versprechen eine Ausweitung der gutachterlichen Beurteilungsmöglichkeiten und eine bessere Abbildung der Zusammenhänge zwischen äußeren Einflussgrößen und individuellem Mobilitätsverhalten. Dennoch sind die Erkenntnisse aus Längsschnittanalysen bisher kaum in die Modellierung der Verkehrsnachfrage eingeflossen.

In dieser Arbeit wird ein Modell vorgestellt, das die Verkehrsnachfrage im Alltag mikroskopisch über den Zeitraum einer Woche simuliert. Dadurch gelingt es, neue Zusammenhänge in die Nachfragemodellierung zu integrieren. Einerseits wird die Wirkung von Budgetrestriktionen auf das Mobilitätsverhalten exemplarisch am Beispiel des Zeitbudgets abgebildet. Dies ist beim bisher üblichen Modellzeitraum von einem Tag nicht möglich, da individuelles Verhalten und individuelle Zeitverwendung zu sehr von Tag zu Tag variieren. Andererseits bildet das vorgestellte Modell ab, ob und wie die Verkehrsteilnehmer im Alltag zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln wechseln. Das heißt, es werden Verkehrsmittelnutzerkreise und multimodales Verhalten modelliert. Dies gelingt, indem die Nutzenfunktion des Verkehrsmittelwahlmodells durch neue, längsschnittorientierte Elemente ergänzt wird.

Darüber hinaus eröffnet die Längsschnittorientierung neue Möglichkeiten zur Beurteilung modellierter Nachfragezustände: Zum einen ist eine differenzierte zeitliche Auflösung der Gesamtnachfrage möglich, zum zweiten erlaubt das Modell Aussagen über die zeitliche Varianz der Zusammensetzung des Kollektivs der Infrastrukturnutzer.

Das erarbeitete Modell wird beispielhaft angewendet, um eine Prognose der Verkehrsnachfrage und insbesondere der Verkehrsmittelnutzung für Erlangen im Jahr 2020 zu erstellen. Die Ergebnisse – weitgehende Stagnation der Gesamtnachfrage bei abnehmender ÖV-Nutzung trotz Zunahme des Anteils multimodaler Personen – sind vor dem Hintergrund der absehbaren altersstrukturellen Veränderung bei weiterhin wachsender Motorisierung realistisch und bestätigen das vorgestellte Modell.

## **Abstract**

**Kuhnimhof, Tobias**

### **A Longitudinal Travel Demand Model Simulating Multimodal Mode Use**

**113 pages, 33 figures, 37 tables**

Longitudinal multiday travel surveys such as the German Mobility Panel have contributed fundamentally to a better understanding of individual travel behaviour in the recent years. Longitudinal travel demand models promise new possibilities of appraisal and improvements in modelling the interrelationship of external factors and individual mobility behaviour. However, findings from longitudinal analyses have up to date hardly been incorporated in travel demand modelling.

This thesis presents a microscopic model which simulates travel demand over the course of one week. This enables the integration of new interrelationships in travel demand modelling: On the one hand the presented approach models sensitivity of travellers to budget constraints using travel time budget as an example. This is not possible when the model period is only one day like in most demand models up to now. The reason for this is that individual travel and time use vary too significantly from day to day. On the other hand the presented approach reproduces the mode use habits of travellers in the longitudinal section: The model predicts the clientele of the different modes and their multimodal mode use. In order to do so new elements reflecting the longitudinal approach were introduced in the utility function of the mode choice model.

Moreover, the longitudinal perspective of the model allows for new possibilities of appraisal: Firstly the microscopic longitudinal approach enables a high temporal resolution of the modelled demand. Secondly the model allows to predict how the composition of the user collective changes with time for specific parts of the infrastructure.

The presented model was applied for forecasting travel demand and mode use in the city of Erlangen in the year 2020. The results indicate that total travel demand will stagnate while the mode share of public transport decreases even though there will be more multimodal travellers. This is due to the ageing of the population and growth in car availability. These results conform to expectation and thus confirm the overall approach and applicability of the presented model.

**Längsschnittmodellierung der Verkehrsnachfrage  
zur Abbildung multimodalen Verhaltens**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für

Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften  
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Tobias Kuhnimhof  
aus Stuttgart

Tag der mündlichen Prüfung: 11.07.2007

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. D. Zumkeller

Korreferent: Prof. Dr. W. Rothengatter

Karlsruhe 2007

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe. Im Rahmen verschiedener Projekte hatte ich in dieser Zeit Gelegenheit, Erfahrungen mit empirischen Daten zum Mobilitätsverhalten zu sammeln. Diese Erfahrungen an der spannenden Schnittstelle zwischen dem Verkehrswesen und anderen Wissenschaften mündeten in die vorliegende Dissertation.

Bei der Erstellung der Arbeit wurde mir vielfältige Unterstützung zuteil. Mein Dank gilt dem Hauptreferenten Prof. Dirk Zumkeller für die wohlwollende Betreuung meiner Arbeit und Prof. Werner Rothengatter für die Übernahme des Korreferats. Ich danke auch allen Kollegen am IVV, die mir mit zahlreichen Hinweisen bei meiner Arbeit immer wieder weiter geholfen haben. Besonders erwähnen möchte ich in diesem Zusammenhang Dr. Wilko Manz, Dr. Bastian Chlond und Peter Ottmann. Herzlich verbunden bin ich Dr. Christoph Gringmuth, der seine Arbeit zeitgleich am IWW der Universität Karlsruhe verfasst hat, für die gegenseitige fachliche und moralische Unterstützung in dieser Zeit.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht und mich auf meinem Weg immer unterstützt haben, und meiner Freundin Karolin Reuchlin. Sie hat wesentlich dazu beigetragen, dass die Zeit der Promotion sehr schön war.

Karlsruhe, im Juli 2007

Tobias Kuhnimhof

# Inhalt

1	Einführung .....	1
1.1	Einleitung und Übersicht .....	1
1.2	Datengrundlagen .....	3
1.2.1	Deutsches Mobilitätspanel MOP .....	3
1.2.2	Mobilität in Deutschland 2002 (MiD) .....	4
1.2.3	Mobilitätsbefragung Erlangen 2005 .....	4
2	Theoretische und empirische Voraussetzungen für die längsschnitorientierte Verkehrsnachfragemodellierung .....	5
2.1	Einführung: Stabilität und Varianz von Verhalten und Verkehr .....	5
2.2	Verwendung von Budgets .....	7
2.2.1	Zeitbudget .....	7
2.2.2	Geldbudget .....	11
2.2.3	Schlussfolgerungen für die Modellierung .....	12
2.3	Verkehrsmittelnutzung .....	14
2.3.1	Abgrenzung von Verkehrsmittelnutzerkreisen .....	14
2.3.2	Analyse der individuellen Verkehrsmittelnutzung .....	20
2.3.3	Sonderfall Mitfahrerwege .....	29
2.3.4	Schlussfolgerungen für die Modellierung .....	30
3	Modellierung der Verkehrsnachfrage im Längsschnitt .....	31
3.1	Ausgangslage .....	31
3.1.1	Gründe und Ziele für längsschnitorientierte Nachfragemodellierung .....	32
3.1.2	Anforderungen an längsschnitorientierte Nachfragemodellierung .....	34
3.1.3	Verkehrsentstehung und Zielwahl .....	35
3.1.4	Verkehrsmittelwahl .....	37
3.2	Modellaufbau .....	41
3.2.1	Simulationsstichprobe .....	43
3.2.2	Verkehrsmittelverfügbarkeiten .....	44
3.2.3	Arbeits- und Ausbildungsort .....	50
3.2.4	Hauptpendelverkehrsmittel .....	51

3.2.5	Agenda .....	57
3.2.6	Budget .....	60
3.2.7	Zielwahl .....	64
3.2.8	Scheduling .....	66
3.2.9	Verkehrsmittelwahl .....	70
3.3	Modelldiskussion anhand des Analysefalls Erlangen 2005 .....	82
3.3.1	Angaben zum Analysefall Erlangen 2005 .....	82
3.3.2	Abbildung der Verkehrsnachfrage im Querschnitt .....	83
3.3.3	Abbildung der Verkehrsnachfrage im Längsschnitt .....	89
3.3.4	Fazit der Modelldiskussion .....	93
3.4	Nächste sinnvolle Modellerweiterungen .....	95
4	Anwendungsfall Erlangen 2020: Multimodale Verkehrsmittelnutzung in der Zukunft .....	97
4.1	Ausgangslage .....	97
4.2	Bevölkerung und Motorisierung in Erlangen 2020 .....	98
4.3	Auswirkungen auf die Verkehrsmittelnutzung .....	101
4.4	Fazit der Abschätzung zukünftiger Verkehrsmittelnutzung .....	106
5	Zusammenfassung und Ausblick .....	107
6	Literatur .....	110

# 1 Einführung

## 1.1 Einleitung und Übersicht

Aufgabe von Modellen in der Verkehrsplanung ist es, Wirkungen von Maßnahmen im Verkehrssystem abzuschätzen. Darüber hinaus werden Verkehrsmodelle eingesetzt, um Prognosen der zukünftigen Verkehrsnachfrage unter veränderten allgemeinen Rahmenbedingungen zu erstellen (Kutter 2003). Dabei unterliegen die Einflussgrößen auf dem Verkehrsmarkt einem ständigen Wandel. In der heutigen Situation reichen diese Veränderungen auf Seiten der Nachfrage vom demografischen Wandel bis hin zu veränderten Budgets der privaten Haushalte (Litman 2006; Zumkeller et al. 2004a). Im Hinblick auf angebotsseitige Maßnahmen rückt der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur in den Hintergrund, während andere Maßnahmen wie Telematik und Roadpricing an Bedeutung gewinnen (Ovid Konsortium 2006).

Modelle können die Verkehrsnachfrage in solchen Prognose- oder Planfällen umso realistischer darstellen, je besser die kausalen Zusammenhänge zwischen äußeren Einflussgrößen und Verkehrsnachfrage im Modell abgebildet sind. Das Verständnis dieser kausalen Zusammenhänge zwischen Mobilitätsverhalten und seinen Hintergründen hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert, seit Erhebungen vorliegen, die das Mobilitätsverhalten über einen zeitlichen Längsschnitt von mehreren Tagen erfassen (Zumkeller et al. 2004b).

Erkenntnisse, die aus solchen Längsschnittanalysen vorliegen, sind bislang jedoch kaum in die Modellierung von Verkehrsverhalten eingeflossen. Zwar hat Manz (Manz 2005) ein längsschnittorientiertes Modell des Personenfernverkehrs vorgestellt. Mikroskopische Modelle der Alltagsverkehrsnachfrage bilden das individuelle Verhalten von Verkehrsteilnehmern in der Regel jedoch nach wie vor nur über die Zeitspanne eines Tages ab. Hintergrund ist, dass diesen Modellen üblicherweise Daten aus Stichtagsbefragungen, wie z.B. den Kontiv-Erhebungen, zugrunde liegen.

Es liegt nahe, die Erkenntnisse aus Längsschnitterhebungen und -analysen in der Modellierung von Verkehrsverhalten umzusetzen und den modellierten Zeitraum von einem auf mehrere Tage auszuweiten. Auf diese Weise kann die gesamte Information über Mobilitätsverhalten, die aktuell aus Erhebungen vorliegt, für die Abschätzung und gutachterliche Beurteilung von Plan- oder Prognosefällen genutzt werden.

In der vorliegenden Arbeit wird ein mikroskopisches Modell der Alltagsverkehrsnachfrage vorgestellt, das individuelles Mobilitätsverhalten über den zeitlichen Längsschnitt einer Woche abbildet. Damit eröffnet es neue Möglichkeiten, die Verkehrsnachfrage in Prognose- oder Planfällen zu beurteilen: Mit dem vorgestellten Modell ist es nicht nur möglich, die sich im Zeitverlauf verändernde Gesamtnachfrage auf

der Infrastruktur zu simulieren, wie sie z.B. in einer Wochenganglinie zum Ausdruck kommt. Es ermöglicht auch Aussagen über die zeitliche Varianz der Zusammensetzung des Kollektivs der Nutzer der Infrastruktur.

Darüber hinaus werden neue kausale Zusammenhänge im Modell integriert, die es erlauben, die Wirkung wesentlicher Einflussfaktoren wirklichkeitsnäher abzubilden, als dies bislang möglich ist. Dies betrifft insbesondere zwei Bereiche: Erstens wird als Beispiel für das Simulieren von Verhalten unter Budgetbeschränkungen das Zusammenwirken von Zeitbudget und Mobilität dargestellt und modelliert. Zweitens stellt die Arbeit schwerpunktmäßig den Zusammenhang zwischen Verkehrsmitteloptionen und Verkehrsmittelnutzung dar. Das vorgestellte Modell bildet multimodales Verhalten, das heißt die im Zeitverlauf wechselnde Nutzung verschiedener Verkehrsmittel (Chlond & Lipps 2000), ab. Dies ist eine der wesentlichen Neuerungen gegenüber bisherigen Modellen der Verkehrsnachfrage.

Die Nutzung verfügbarer Verkehrsmitteloptionen ist auch Thema im dargestellten Anwendungsbeispiel für das Modell. In einem Prognosefall wird für die Bevölkerung der Stadt Erlangen abgeschätzt, wie sich die Verkehrsmittelnutzung im Jahr 2020 darstellt. Hierfür werden geänderte Rahmenbedingungen bezüglich demografischer Zusammensetzung und Motorisierung angenommen.

Im Anschluss an diese Einleitung werden die verwendeten Datengrundlagen vorgestellt. Abschnitt 2 der Arbeit stellt die notwendigen empirischen und theoretischen Grundlagen für die Längsschnittmodellierung dar, insbesondere in Hinblick auf Budgetverwendung und Verkehrsmittelnutzung im Längsschnitt. Hier werden auch Kenngrößen eingeführt, die zur Beurteilung des vorgestellten Modells wichtig sind.

Abschnitt 3 der Arbeit widmet sich der Darstellung des erstellten mikroskopischen, längsschnittorientierten Modells der Verkehrsnachfrage. Hierzu werden zunächst aufbauend auf dem ersten Teil der Arbeit die Ziele und Gründe für längsschnittorientierte Modellierung dargestellt. Es wird in das Thema der Mikrosimulation eingeführt und das Gesamtkonzept des erarbeiteten Verkehrsnachfragemodells im Überblick dargestellt. Daran schließt eine Detailbeschreibung der einzelnen Modellbestandteile an. Es folgt die Diskussion des Modells anhand des Analysefalls Erlangen 2005.

Der letzte Abschnitt 4 beschreibt die Anwendung des Modells im Prognosefall Erlangen 2020. Ein Ausblick auf die neuen Möglichkeiten von Nachfragemodellierung und gutachterlicher Beurteilung, die sich durch das vorgestellte Modell ergeben, schließt die Arbeit.

## 1.2 Datengrundlagen

### 1.2.1 Deutsches Mobilitätspanel MOP

Das Deutsche Mobilitätspanel (MOP) ist eine seit 1994 jedes Jahr im Auftrag des Bundesministers für Verkehr durchgeführte Längsschnitterhebung des Mobilitätsverhaltens. Die Erhebung umfasst eine jährliche Stichprobe von etwa 750 bis 1.000 Haushalten bzw. 1.500 bis 2.000 Personen. Grundgesamtheit ist die deutsche Bevölkerung über 10 Jahren (bis 1999 alte Bundesländer, seit 1999 einschließlich der neuen Bundesländer) (Deutsches Mobilitätspanel 2007).

Das MOP ist als rollierende Panelerhebung aufgebaut: Alle Mitglieder der teilnehmenden Haushalte berichten in drei aufeinanderfolgenden Jahren über eine Woche im Herbst ihr Mobilitätsverhalten in einem Wegetagebuch. Planmäßig scheidet Haushalte nach drei Jahren aus der MOP-Stichprobe aus. Die Stichprobe wird jährlich durch neu rekrutierte Haushalte aufgefrischt.

Das MOP enthält in zweierlei Hinsicht Längsschnittinformation über das Mobilitätsverhalten der berichtenden Probanden: Zum einen ist der Vergleich von berichteter Mobilität zwischen verschiedenen Jahren möglich. Zum zweiten ermöglicht der Mobilitätsbericht über eine Woche die Analyse individueller Verhaltensvariation im Alltag.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist vor allem der zeitliche Längsschnitt über sieben Tage von Bedeutung. Die empirischen Analysen zu Budgetverwendung und Verkehrsmittelnutzung im Längsschnitt, die im folgenden Abschnitt der Arbeit vorgestellt werden, basieren hauptsächlich auf den Wochenberichten des MOP. Da sich Variation von Verhalten nur im zeitlichen Längsschnitt analysieren lässt, stellt das MOP gegenwärtig nahezu die einzige adäquate Datenquelle dar, die für solche Analysen geeignete Daten in hinreichender Stichprobengröße zur Verfügung stellt.

In die Auswertungen der vorliegenden Arbeit sind die MOP-Daten aus den Jahren 1996 bis 2005 eingeflossen. Der Auswertedatensatz enthält somit etwa 12.000 Personenwochen bzw. etwa 290.000 Wege. Wenn nicht anders gekennzeichnet, sind die Auswertungen soziodemografisch gewichtet, um Schiefen der Stichprobe gegenüber der Grundgesamtheit auszugleichen.

### **1.2.2 Mobilität in Deutschland 2002 (MiD)**

„Mobilität in Deutschland 2002“ (MiD) ist eine repräsentative Stichtagserhebung des Mobilitätsverhaltens der deutschen Bevölkerung, die im Auftrag des Bundesministers für Verkehr durchgeführt wurde. Grundgesamtheit ist hier die gesamte deutsche Bevölkerung. Die Stichprobengröße liegt bei etwa 26.000 Haushalten bzw. 62.000 Personen, die in einem Mobilitätstagebuch insgesamt etwa 170.000 Wege berichteten (Kunert et al. 2003).

Wegen des Stichtagsdesigns der Erhebung sind die berichteten Mobilitätsdaten in MiD für eine Analyse der Variation des Verhaltens im Längsschnitt nicht geeignet. Der Datensatz enthält jedoch personenbezogene Fragestellungen, die Verkehrsmittelverfügbarkeit und -nutzungshäufigkeit abfragen. Diese Daten wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit herangezogen, um grundsätzliche Aussagen über die Verkehrsmittelnutzungsgewohnheiten der deutschen Bevölkerung zu treffen. Auch diese Auswertungen sind jeweils soziodemografisch gewichtet.

### **1.2.3 Mobilitätsbefragung Erlangen 2005**

Neben MOP und MiD kommen in der Entwicklung des in Abschnitt 3 vorgestellten Modells und in den Modellanwendungen die Daten einer Haushaltsbefragung in der Stadt Erlangen aus dem Jahr 2005 zum Einsatz. Der Datensatz dieser Erhebung im Kontiv-Design umfasst ca. 14.500 Wege, die von 3.700 Personen in 1.800 Haushalten berichtet wurden.

Im Gegensatz zu MOP und MiD lagen für die Daten der Erhebung Erlangen verkehrszellengenaue Angaben zu den Zielen der berichteten Wege vor. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Schätzung eines Verkehrsmittelwahlmodells. Deshalb werden die Daten der Erhebung Erlangen v.a. bei der Entwicklung des Verkehrsmittelwahlmodells eingesetzt.

Darüber hinaus wurden Auswertungen der Erhebung Erlangen im Rahmen der Kalibrierung des Modells für die Anwendungsfälle in Erlangen verwendet. Ergebnisse der Erhebung dienen als Vergleichsdatenbasis, um die Güte der mit dem entwickelten Modell simulierten Verkehrsnachfragedaten bewerten zu können. Die Auswertungen des Datensatzes Erlangen sind ebenfalls jeweils soziodemografisch gewichtet.

## 2 Theoretische und empirische Voraussetzungen für die längsschnittorientierte Verkehrsnachfragemodellierung

### 2.1 Einführung: Stabilität und Varianz von Verhalten und Verkehr

Individuelles Verhalten im Alltag ist einerseits durch Routinen, andererseits durch Abwechslung gekennzeichnet. Dies schlägt sich auch im Verkehrsverhalten nieder: Die tägliche Mobilität ist zum einen geprägt durch einen Rhythmus wiederkehrender Mobilitätsmuster (Axhausen et al. 2002), zum andern aber auch durch Verhaltensvariation (Lipps 2001).

Nur Längsschnitterhebungen der Verkehrsnachfrage über mehrere Tage sind in der Lage, Stabilität und Varianz individuellen Verkehrsverhaltens zu erfassen. Sie ermöglichen beispielsweise die Aufteilung der gesamten, in einer Erhebung beobachteten Varianz, in einen inter- und einen intrapersonellen Anteil (Zumkeller et al. 1994):

- *intrapersonelle Varianz* im Verhalten einzelner Personen von Tag zu Tag
- *interpersonelle Varianz* durch Verhaltensunterschiede verschiedener Personen

Die Gesamtvarianz ( $SSE_{\text{total}}$ ) in einem Mobilitätsdatensatz hinsichtlich Wegen, Kilometern oder Minuten Reisezeit pro Person und Tag kann dabei wie folgt in einen intra- ( $SSE_{\text{intrap}}$ ) und einen interpersonellen ( $SSE_{\text{interp}}$ ) Anteil aufgeteilt werden (Winer 1970): Wegen  $\sum_p \sum_T (x_{pt} - \bar{x}_p) = 0$  gilt

$$\begin{aligned}
 SSE_{\text{total}} &= \sum_p \sum_T (x_{pt} - \bar{x})^2 = \sum_p \sum_T [(x_{pt} - \bar{x}_p) + (\bar{x}_p - \bar{x})]^2 \\
 &= \sum_p \sum_T (x_{pt} - \bar{x}_p)^2 + \sum_p \sum_T (\bar{x}_p - \bar{x})^2 && \text{[GL. 1]} \\
 &= SSE_{\text{intrap}} + SSE_{\text{interp}}
 \end{aligned}$$

Mit:	P	Personen im Datensatz
	T	Beobachtungstage pro Person
	$\bar{x}$	Mittelwert der Mobilitätsgröße x (z.B. km / Personentag) im Datensatz
	$x_{pt}$	Mobilitätskenngröße x der Person p an Tag t
	$\bar{x}_p$	Mittelwert von x der Person p über den Beobachtungszeitraum

Bei Aufteilung der Varianzen im Datensatz des MOP in einen intrapersonellen und einen interpersonellen Anteil ergeben sich die in Tabelle 1 aufgeführten Anteile: Etwa zwei Drittel der Varianz im Mobilitätsverhalten ist auf intrapersonelle Varianz zurückzuführen. Im Mittel sind also die Unterschiede zwischen einzelnen Tagen des selben Verkehrsteilnehmers größer als die Verhaltensunterschiede zwischen Verkehrsteilnehmern. Dies verdeutlicht, wie stark das individuelle tägliche Verkehrsverhalten Schwankungen unterworfen ist, auch wenn z.B. Ganglinien zeigen, dass sich die ag-

gregierte Nachfrage an unterschiedlichen Tagen sehr ähnelt. Für einen großen Teil der einzelnen Verkehrsteilnehmer jedoch gleicht kaum ein Tag dem anderen.

Mobilitätskenngröße	Bundesweiter Mittelwert 1996 - 2005	Anteil intrapersoneller Varianz an Gesamtvarianz ( $SSE_{intrap}/SSE_{total}$ )
Wege pro Person und Tag	3,5	0,59
Kilometer pro Person und Tag	38	0,70
Minuten unterwegs pro Person und Tag	80	0,65

Tabelle 1: Mittelwerte und Anteile intrapersoneller Varianz an Gesamtvarianz für verschiedene Mobilitätskenngrößen (eigene Auswertung, Datengrundlage MOP 1996 – 2004)

Die Varianz individuellen Mobilitätsverhaltens im zeitlichen Längsschnitt, die hier am Beispiel der Mobilitätskenngrößen Wege, Kilometer und Minuten pro Person und Tag, illustriert wurde, durchzieht alle Bereiche der alltäglichen, individuellen Mobilität: Von der Entscheidung, bestimmte Aktivitäten durchzuführen, über die Wahl eines Ziels und des Abfahrtszeitpunkts bis hin zur Wahl eines Verkehrsmittels (Schlich et al. 2000).

Die Belastungen der Verkehrsinfrastruktur stellen die Summe individuellen Verhaltens dar und sind in der Folge ebenfalls durch eine Mischung von Varianz und Stabilität gekennzeichnet: Ein Beispiel für sehr stabile tägliche Belastung, die sich aus stark routinisiertem individuellen Verhalten zusammensetzt, sind die Insassen eines Schulbusses. Ein Gegenbeispiel für täglich andere Nachfrager sind Kunden auf der Zufahrt zu einem Möbelgeschäft. Im Normalfall ist jedoch für die Elemente der Infrastruktur eine Mischung von Varianz und Stabilität des Verkehrs kennzeichnend. Aufgabe und Nutzen längsschnittorientierter Verkehrsnachfragemodellierung bestehen somit darin, Stabilität und Varianz im individuellen Verhalten und letztlich in der Belastung der Infrastruktur abzubilden und diese Information zur Beurteilung der Verkehrssituation nutzbar zu machen.

Darüber hinaus eröffnet das längsschnittorientierte Modellieren die Möglichkeit, die Einschränkungen, die sich aus individuellen Budgetrestriktionen ergeben, in der Abbildung von Verkehrsverhalten zu berücksichtigen: Verkehrsteilnehmer bilanzieren üblicherweise weder Geld noch Zeit am Abend eines jeden Tages. Über längere Zeit hinweg jedoch müssen Menschen ein gewisses Budget einhalten, das zu ihren individuellen Rahmenbedingungen passt.

Im folgenden Abschnitt werden in Hinblick auf die Verwendung von Budgets wichtige Grundlagen für die Modellierung dargestellt. Daran schließen sich empirische Ergebnisse zur Verkehrsmittelnutzung im Längsschnitt an, da die wirklichkeitsnahe Abbildung multimodalen Verhaltens einen Schwerpunkt des vorgestellten Modells darstellt.

## 2.2 Verwendung von Budgets

### 2.2.1 Zeitbudget

Erhebungen geben über die Zeitverwendung vergleichsweise gut Aufschluss. Deshalb liegen über die Zeitaufwendungen für Mobilität relativ viele Erkenntnisse vor, auch aus unterschiedlichen Jahrzehnten und geografischen Kontexten (Szalai 1972). Die Mittelwerte der gemessenen Zeitaufwendungen für Mobilität liegen dabei in einer Größenordnung von einer bis anderthalb Stunden und variieren für Menschen in unterschiedlichen Lebenskontexten weit weniger als andere Mobilitätskenngrößen (Metz 2004) (siehe z.B. Abbildung 1).

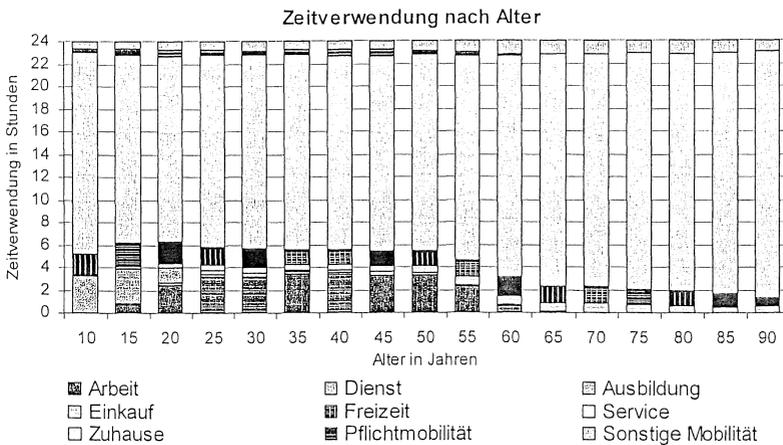


Abbildung 1: Zeitverwendung der deutschen Bevölkerung nach Alter

Diese Beobachtung hat zur These eines stabilen Mobilitätszeitbudgets geführt (Hupkes 1982): Sie besagt, dass Menschen im aggregierten Mittel einen relativ stabilen Anteil ihrer verfügbaren Zeit für Mobilität aufwenden. Dies führt z.B. dazu, dass bei einer Steigerung der Geschwindigkeiten im Verkehr die gewonnene Zeit nicht im eigentlichen Sinne gespart wird, wie dies bei der gesamtwirtschaftlichen Beurteilung von Infrastrukturmaßnahmen unterstellt wird. Stattdessen wird sie in eine Vergrößerung des Aktionsraumes umgesetzt, sofern sich die Menschen dies finanziell leisten können (Zumkeller et al. 1980). Diese These erklärt viele Entwicklungen im Verkehr, z.B. induzierten Verkehr oder die Verkehrsleistungssteigerungen der bundesdeutschen Nachkriegsjahrzehnte.

Vor diesem Hintergrund liegt es nahe, das verfügbare Mobilitätszeitbudget als erklärende Einflussgröße in Verkehrsnachfragemodellen zu integrieren. Darüber hinaus

zeigt die alltägliche Erfahrung, wie sehr die Regimegröße Zeit unsere Aktivitäten-durchführung und damit auch die Mobilität im Alltag beeinflusst.

Wenn im Rahmen einer mikroskopischen Abbildung des Verkehrs die limitierende Wirkung des Zeitbudgets berücksichtigt werden soll, ist es dabei jedoch kaum angebracht, allen Personen im Modell das selbe Zeitbudget, z.B. 80 Minuten, zuzuweisen. Die These vom stabilen Zeitbudget suggeriert zwar, dass der Hintergrund dieser Stabilität der Zeitaufwendungen eine Art universelles, von allen Menschen gleichermaßen angestrebtes Zeitbudget ist (Mokhtarian & Chen 2003). Die Alltagserfahrung der Unterschiedlichkeit von Menschen deutet jedoch bereits darauf hin, dass es sich bei den Zeitaufwendungen für Mobilität kaum um eine Art anthropogene Konstante handeln kann. Mikroanalysen von Mobilitätsverhaltensdaten unterstützen dies: Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse einer multivariaten Analyse der Zeitverwendung auf Basis der MOP-Daten. Ein Mann mittleren Alters in einem kleinen Ort, der während der Beobachtungswoche keine Arbeitsverpflichtung hat, stellt dabei den Referenzfall dar. Eine solche Person verbringt pro Tag im Mittel

- 1240 Minuten zuhause,
- 135 Minuten mit aushäusigen Aktivitäten (da keine Arbeitsverpflichtung besteht, sind dies alles [Küraktivitäten]) und
- 65 Minuten mit [Küraktivitäten]verbundener Mobilität ([Kürmobilität]).

Die Abweichungen vom Referenzfall zeigen jeweils an, wie sich die Zeitverwendung von Personen in einer anderen Lebenssituation vom Referenzfall unterscheidet. So verbringen Personen über 80 Jahren gegenüber dem Referenzfall pro Tag im Mittel etwa 45 Minuten mehr zuhause, wobei dafür 3 Minuten weniger bei Mobilität und 42 Minuten weniger bei aushäusigen Aktivitäten anfallen. Tabelle 2 zeigt auch, wie jede Minute, die durch Arbeit oder Ausbildung (Pflichtaktivitäten) gebunden ist, an anderer Stelle eingespart werden muss: 0,8 Minuten werden pro zusätzlicher Minute Arbeitszeit weniger zuhause verbracht, 0,12 Minuten werden bei Küraktivitäten gespart und 0,08 Minuten bei Kürmobilität.

Steigende Zeitaufwendungen für das Pendeln ([Pflichtmobilität]) führen dabei kaum und nicht signifikant zu sinkenden Zeitaufwendungen für Kürmobilität (-0,01 Minuten pro zusätzlicher Minute Pflichtmobilität). Die Zeit für freiwillige Mobilität hängt zwar deutlich von der Arbeitszeit pro Woche, jedoch nur geringfügig von der zum Pendeln aufgewandten Zeit ab. Eine direkte Kompensation [weniger freiwillige Mobilität wegen mehr Pflichtmobilität] lässt sich nicht finden. Wer mehr Zeit zum Pendeln braucht, ist vor allem weniger zu Hause. Dieses Ergebnis stimmt mit den Befunden anderer Analysen überein (Fujii 1997). Bei dieser multivariaten Analyse wurden auch nichtlineare Abhängigkeiten von Kür- und Pflichtmobilitätszeit untersucht. Dabei konnten jedoch ebenfalls keine signifikanten Zusammenhänge gefunden werden.

Zeiten pro Tag [Min]	Küraktivitäten (alles außer Arbeit und Ausbildung)		Kürmobilität (mit Küraktivitäten verbundene Mobilität)		Zuhause	
	Parameter	Pr >  t	Parameter	Pr >  t	Parameter	Pr >  t
Konstante	134,93	<0,001	65,23	<0,001	1239,84	<0,001
Alter 10 bis 19	38,47	<0,001	-6,39	<0,001	-32,09	<0,001
Alter 20 bis 29	36,31	<0,001	0,33	0,795	-36,64	<0,001
Alter 30 bis 39	16,53	<0,001	-0,32	0,762	-16,21	<0,001
Alter 40 bis 49 (Referenzwert)						
Alter 50 bis 59	1,12	0,647	1,75	0,108	-2,87	0,341
Alter 60 bis 69	-9,62	<0,001	7,78	<0,001	1,83	0,579
Alter 70 bis 79	-26,58	<0,001	-1,48	0,312	28,07	<0,001
Alter 80 bis 99	-42,07	<0,001	-2,57	0,387	44,64	<0,001
Mann (Referenzwert)						
Frau	-7,70	<0,001	-3,88	<0,001	11,58	<0,001
Kinder unter 10 im Haushalt	-15,04	<0,001	-2,79	0,002	17,83	<0,001
Wohnort < 5.000 EW (Ref.-wert)						
Wohnort 5.000 - 20.000 EW	7,84	<0,001	0,54	0,582	-8,38	0,002
Wohnort 20.000 - 50.000 EW	7,35	0,002	1,90	0,069	-9,25	0,001
Wohnort 50.000 - 100.000 EW	19,18	<0,001	6,14	<0,001	-25,32	<0,001
Wohnort > 100.000 EW	17,69	<0,001	8,47	<0,001	-26,16	<0,001
Pkw verfügbar	8,17	<0,001	2,38	<0,001	-10,56	<0,001
Woche mit Arbeit/Ausb. (1/0)	-17,03	<0,001	-5,33	<0,001	22,36	<0,001
Minuten Arbeit/Ausbildung	-0,12	<0,001	-0,08	<0,001	-0,80	<0,001
Minuten Pflichtmob. (Pendeln)	-0,20	<0,001	-0,01	0,427	-0,79	<0,001
R-Quadrat		0,099		0,176		0,653

Tabelle 2: Multivariate Analyse (Regression) der Zeitverwendung (Datengrundlage MOP 1996 - 2005)

Die Analyse in Tabelle 2 zeigt: Erstens ist die Zeit, die für Kürmobilität aufgewendet wird, durchaus deutlich von der Lebenssituation abhängig, insbesondere von den durch Pflichten gebundenen Zeiten. Zweitens findet jedoch keine unmittelbare Kompensation der durch Pflichtmobilität gebundenen Zeit durch Einsparungen bei der Kürmobilität statt. Ein allgemeingültiges Zeitbudget für Mobilität als anthropogene Konstante mit der Folge, dass Verkehrsteilnehmer hohe Zeitaufwendungen für Pflichtmobilität bei anderer Mobilität einsparen, scheint unwahrscheinlich.

Es sind andere Umstände die erklären, dass die Zeitaufwendungen für Mobilität interpersonell weniger variieren als andere Mobilitätskenngrößen. Der Tag hat für alle Menschen 24 Stunden, die zudem in großen Teilen durch notwendige Tätigkeiten (Schlaf, Essen etc.) gebunden sind (Henckel et al. 1989). Zeit kann nur eingeschränkt für später gespart (ggf. durch Verschiebung von Aktivitäten) und zwischen Personen übergeben werden (ggf. durch Übertragen von Aktivitäten). Zudem stehen Zeitaufwendungen für Mobilität und durchgeführte Aktivitäten in einem bestimmten Verhältnis: Für sehr kurze Aufenthalte lohnen lange Wege in der Regel nicht. Im Mittel pendelt sich dabei für Küraktivitäten ein Anteil von etwa 20%-30% Reisezeit an der aushäusigen Kürzeit ein (Chlund 1996). Es scheint also ein allgemeines Ver-

ständnis darüber zu geben, wann sich ein Weg lohnt. Dies sind Gründe dafür, dass die Zeiten für Mobilität bei verschiedenen Personen ähnlich ausfallen.

Dennoch ist es sinnvoll anzunehmen, dass sich im Alltag des Einzelnen ein individuelles Zeitbudget für Mobilität herausbildet. Im Alltag bilden sich Routinen, mit denen insbesondere auch ein routinierter Umgang mit der Zeit verbunden ist. Nur in Ausnahmesituationen verbringen Verkehrsteilnehmer über Tage hinweg wesentlich mehr (z.B. im Urlaub) oder weniger (z.B. bei Krankheit) Zeit mit Mobilität als es ihnen mittelfristig als sinnvoll erscheint. Das Zeitbudget für Mobilität ergibt sich somit aus individuellen Präferenzen und der jeweiligen Lebenssituation.

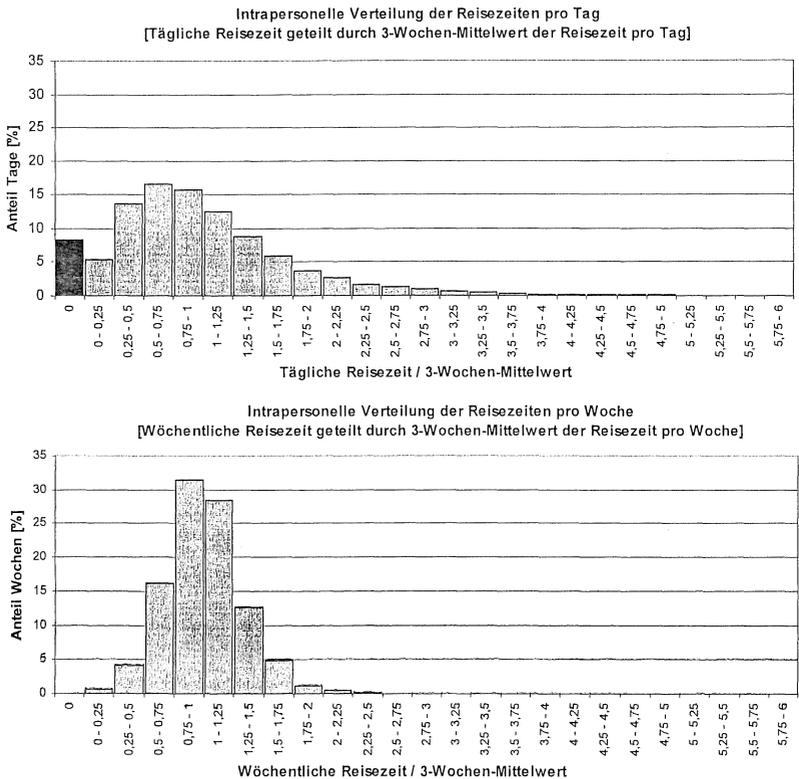


Abbildung 2: Intrapersonelle Verteilung der Reisezeiten pro Tag und der Reisezeiten pro Woche

Gleichzeitig variieren die individuellen Zeitaufwendungen für Mobilität von Tag zu Tag erheblich (Abbildung 2). Eine tägliche, strenge Orientierung am individuell als

sinnvoll erachteten Zeitbudget ist somit nicht festzustellen. Verlängert man jedoch den Bilanzierungszeitraum auf eine Woche, zeigt sich, dass die individuellen Mobilitätszeitaufwendungen im Vergleich zum langfristigen individuellen Mittelwert weit weniger variieren (Abbildung 2). Dies zeigt auch die Alltagserfahrung: Es fällt schwer über eine Woche hinweg täglich deutlich mehr Zeit z.B. für Mobilität aufzuwenden, ohne das andere Aktivitäten darunter leiden.

Bei der Diskussion von Zeitbudgets ist es somit sinnvoll, einen zugehörigen Bilanzierungszeitraum zu betrachten. Dabei ist ein Tag offensichtlich zu kurz. Eine Woche jedoch, die einen Großteil der täglichen Routinen umfasst und damit eine Art Wellenlänge des Alltagslebens darstellt (Kunert 1992), scheint hierfür ein sinnvoller Zeitraum zu sein.

### 2.2.2 Geldbudget

Über die Geldaufwendungen für Mobilität ist im Vergleich zu den dargestellten Zeitaufwendungen relativ wenig bekannt. Das heutige Wissen beschränkt sich im wesentlichen auf Aggregatauswertungen von Einkommens- und Verbrauchserhebungen (Tabelle 3). Es gibt bislang nur erste Ansätze, Mobilitätserhebungen mit Informationen zu Ausgaben anzureichern, um darauf basierend Mikroanalysen der Mobilitätsausgaben durchzuführen (Zumkeller et al. 2005). Deshalb sind die folgenden Ausführungen zum Geldbudget stärker theoretisch als empirisch begründet.

Ausgaben für Mobilität pro Haushalt 2003	€ pro Monat
Kauf von Kfz	109
Einnahmen aus Pkw-Verkäufen	-17
Leasing von Kfz	7
Kauf von Fahrrad, Motorrad u.ä.	9
Kfz-Teile, Reparatur, Wartung	47
Kfz-Steuer	12
Kfz-Versicherung	36
Kraftstoffe, Schmiermittel	82
Verkehrsdienstleistungen	21
sonstige Dienstleistungen (z.B. Maut)	8
Luftverkehr	6
<b>Gesamt</b>	<b>320</b>

Tabelle 3: Ausgaben für Mobilität pro Haushalt und Monat (eigene Auswertung der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe EVS; Statistisches Bundesamt 2006)

Geldbudgets weisen im Vergleich zum Zeitbudget wesentliche Unterschiede auf:

- Geld ist nicht wie die Zeit (24 Stunden pro Tag) unter den Menschen gleich verteilt. Stattdessen variieren Geldbudgets deutlich und es fällt schwer, für die Zuteilung grundsätzlich verfügbarer Geldbudgets eine sinnvolle Größe zu finden (z.B. monatliches Nettoeinkommen).
- Geld kann nahezu unbegrenzt gespart werden. Deshalb sind auch für Geldausgaben längere Bilanzierungszeiträume sinnvoll. Gut wäre als Bilanzie-

rungszeitraum ein Monat, aber auch hier ist mindestens eine Woche notwendig.

- Geld kann problemlos zwischen Personen übertragen werden. Dies hat zur Folge, dass häufig nicht das Individuum die Bilanzierungseinheit für das Geldbudget darstellt, sondern dass das Geldbudget zwischen mehreren Personen, üblicherweise im Rahmen des Haushaltes, bilanziert wird.
- Geldausgaben für Mobilität sind im Mittel zu etwa zwei Dritteln Ausgaben für Fixkosten (Tabelle 3). Im Einzelfall können aber auch alle Mobilitätsausgaben Fixkosten sein (z.B. frei verfügbarer Dienstwagen bei monatlichen Einkommensabzügen). Andererseits können bei individuellen Mobilitätsausgaben auch keine Fixkostenanteile enthalten sein.

Diese Eigenschaften des Geldbudgets führen dazu, dass hohe Ansprüche an ein Modell gestellt sind, wenn das Zusammenwirken zwischen Geldbudget und individueller Mobilität abgebildet werden soll:

- Der Haushaltskontext muss berücksichtigt werden.
- Es müssen Informationen zum grundsätzlich verfügbaren Geldbudget, z.B. zum Haushaltseinkommen, vorliegen.
- Durch Fixkosten gebundene Budgets, z.B. bei Pkw-Besitz, müssen berücksichtigt werden.
- Für den Bilanzierungszeitraum gilt: Je länger desto besser, wobei ein einzelner Tag sicher ungeeignet ist.

Zusammenfassend gilt: Über den genauen Wirkungszusammenhang zwischen individuellen Geldbudgetrestriktionen und Mobilitätsverhalten ist noch wenig bekannt. Zudem sind an ein mikroskopisches Modell, das diesen Zusammenhang abbilden soll, hohe Ansprüche gesetzt. Das Zusammenwirken von Geldbudgets und Mobilitätsverhalten ist für viele Fragestellungen relevant. Deshalb sollte es mittelfristige Zielsetzung der Verkehrsmodellierung sein, die Wirkung von Geldbudgetrestriktionen auf die individuelle Mobilität abzubilden.

### **2.2.3 Schlussfolgerungen für die Modellierung**

Für viele Fragestellungen der Verkehrsmodellierung ist das Zusammenwirken von Budgets und individueller Mobilität wichtig. Dies gilt sowohl für Geldbudgets als auch für Zeitbudgets (Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen 2006b). Ist bei der mikroskopischen Simulation von Verkehrsverhalten der modellierte Zeitraum jedoch auf einen Tag beschränkt, dann ist eine Berücksichtigung von Budgets in der Modellierung kaum möglich. Verkehrsteilnehmer können an einzelnen Tagen ihre Budgets nach Belieben überziehen und das Verhalten ist dennoch realistisch, wie mikroskopische Auswertungen zum Zeitbudget zeigen. Eine tägliche Budgetgrenze in einem mikroskopischen Modell würde somit zu einer sehr unrealistischen Einschränkung des für die einzelnen Tage modellierten Verhaltens führen.

Die Verkehrsnachfragemodellierung über einen längeren Zeitraum ermöglicht erst die Abbildung der Wirkung von Budgetrestriktionen auf das individuelle Mobilitätsverhalten. Dies gilt für das Zeitbudget wie für das Geldbudget. Dabei ist die Woche die kleinste sinnvolle Zeiteinheit, bei der Budgetrestriktionen abgebildet werden können.

Um das Zusammenwirken von Zeitbudgets für Mobilität und individuellem Verhalten abbilden zu können, sollte somit zum einen der Modellzeitraum mindestens eine Woche betragen. Darüber hinaus muss den Personen im Modell ein zur Lebenssituation passendes Zeitbudget zugewiesen werden, das aber dennoch stark zwischen Personen variiert und damit individuelle Präferenzen widerspiegelt. Zur Berücksichtigung der Wirkungen des Geldbudgets müssen zudem Informationen zum Haushaltseinkommen und zu den Ausgaben für Fixkosten vorliegen. Bei der Modellierung der Mobilität unter Geldbudgetrestriktionen muss darüber hinaus der Haushaltskontext berücksichtigt werden.

Das in Abschnitt 3 der Arbeit vorgestellte Modell ist so konzipiert, dass die Erfüllung all dieser Anforderungen in der vorgestellten Modellstruktur möglich ist. Zunächst beschränkt sich das Modell jedoch exemplarisch auf die Abbildung der Wirkungen von Zeitbudgetrestriktionen. Bei Vorliegen ausreichender empirischer Erkenntnisse zum Einsatz von Geldbudgets für Mobilität kann das Modell entsprechend ausgeweitet werden.

## 2.3 Verkehrsmittelnutzung

### 2.3.1 Abgrenzung von Verkehrsmittelnutzercreisen

#### 2.3.1.1 Beobachtungszeit und Verkehrsmittelnutzung

Bei der Erhebung der Verkehrsmittelnutzung über einen kurzen Zeitraum zählt nur ein vergleichsweise geringer Anteil der Bevölkerung zum Nutzerkreis eines bestimmten Verkehrsmittels (Abbildung 3). An einem Stichtag nutzen beispielsweise nur 14% das Fahrrad. Wird der Beobachtungszeitraum ausgedehnt, dann wird der Nutzerkreis der einzelnen Verkehrsmittel größer, da mehr Personen Gelegenheit haben, die einzelnen Verkehrsmittel zu nutzen. Nach einem Beobachtungstag sind 43% der Bevölkerung mindestens einmal zu Fuß gegangen. Im Verlauf einer Woche wählen mehr als drei Viertel der Bevölkerung mindestens einmal das Verkehrsmittel zu Fuß. Die beobachtbaren Nutzerkreise von Verkehrsmitteln hängen somit von der Länge des Beobachtungszeitraumes ab.

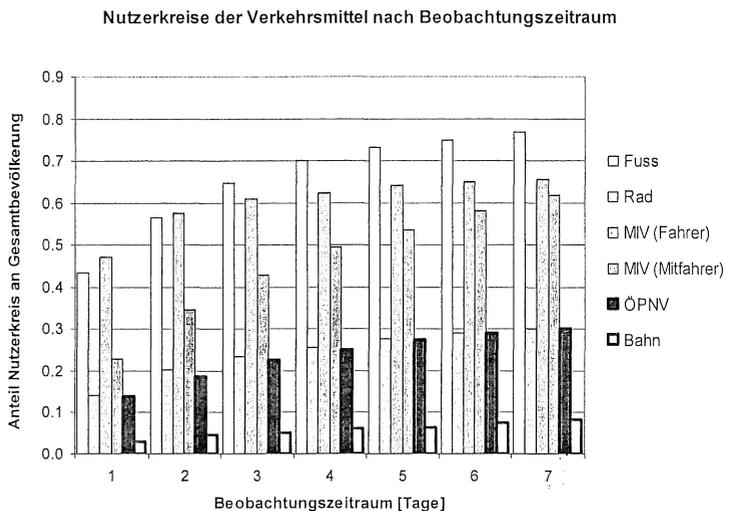


Abbildung 3: Anteil Nutzerkreise der Verkehrsmittel nach Beobachtungszeitraum (eigene Auswertung, Datengrundlage MOP)

Gleichzeitig zeigt Abbildung 3, dass für verschiedene Verkehrsmittel unterschiedlich lange Beobachtungszeiträume zur Beurteilung des Nutzerkreises angezeigt sind. Beim MIV als Fahrer verändert sich der Anteil der Nutzer nach drei bis vier Tagen kaum noch. Die meisten Pkw-Fahrer nutzen den Pkw im Alltag sehr regelmäßig bzw. nahezu täglich. Personen, die als Fahrer einen Pkw selten nutzen, sind eher die Ausnahme. Demgegenüber steigt der Anteil derjenigen, die den MIV als Mitfahrer

nutzen, nahezu linear mit der Anzahl der Beobachtungstage an. Das lässt darauf schließen, dass die meisten Verkehrsteilnehmer gelegentlich als Mitfahrer unterwegs sind, aber nur wenige sehr regelmäßig mitfahren.

Die Kreise der regelmäßigen Nutzer bestimmter Verkehrsmittel können somit auf Basis der MOP-Wochenberichte gut eingegrenzt werden, da sich ein Beobachtungszeitraum von einer Woche für die Erfassung der alltäglichen Verkehrsmittelnutzung gut eignet (Petersen 2003).

Ebenso wie der Nutzerkreis der einzelnen Verkehrsmittel mit der Beobachtungszeit größer wird, nimmt der Anteil derjenigen, die mehrere Verkehrsmittel nutzen, mit der Beobachtungszeit zu (Abbildung 4). Während an einem Stichtag 56% der Verkehrsteilnehmer nur ein Verkehrsmittel verwenden, also monomodal sind, nutzen im Verlauf einer ganzen Woche 92% mehrere Verkehrsmittel. Dabei werden die Verkehrsmittel Fuß, Rad, MIV als Fahrer, ÖV und MIV als Mitfahrer betrachtet.

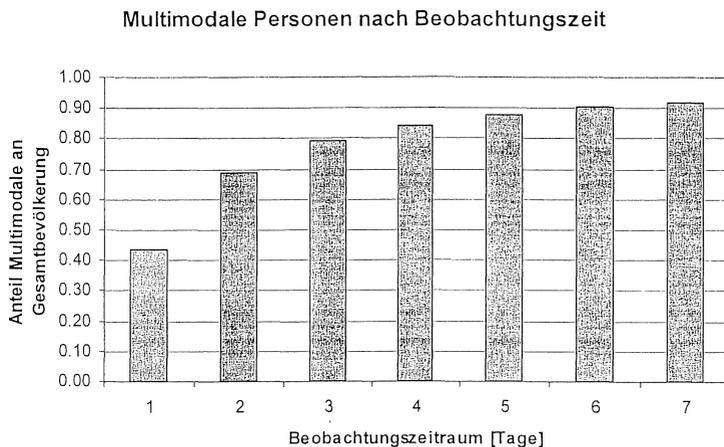


Abbildung 4: Anteil Multimodale Personen nach Beobachtungszeitraum (eigene Auswertung, Datengrundlage MOP)

### 2.3.1.2 Nutzerkreise von MIV und ÖV

Die Nutzerkreise von MIV und ÖV sind für Verkehrsplanung und -politik besonders relevant, da fast die gesamte Verkehrsleistung mit diesen Verkehrsmitteln erbracht wird. Darüber hinaus setzen der MIV, zumindest bei der Nutzung als Fahrer, und der ÖV beim Verkehrsteilnehmer besondere Kompetenzen voraus (von der Ruhren et al. 2004): Führerscheinbesitz und Pkw-Verfügbarkeit bzw. Kenntnisse des ÖV-Angebotes. Das Fahrrad ist zur Bewältigung der Alltagsmobilität außerhalb ihres

Wohnumfeldes nur für wenige Menschen eine Alternative. Zu Fuß und als Mitfahrer können prinzipiell nahezu alle Verkehrsteilnehmer unterwegs sein.

Um die Nutzerkreise von MIV und ÖV eingrenzen zu können, müssen auf Basis der vorliegenden Datensätze die Fragen beantwortet werden, welche Personen Pkw fahren und welche den ÖV nutzen.

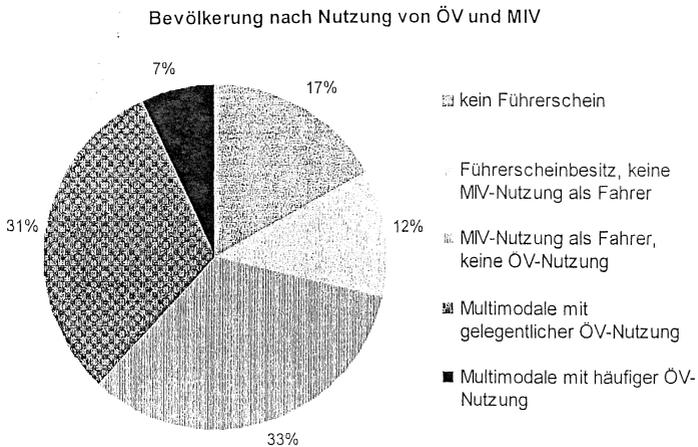
Wie oben ausgeführt, genügt zur Identifikation von Pkw-Fahrern in einem Erhebungsdatensatz üblicherweise eine Beobachtungszeit von einer Woche. Grund hierfür ist, dass die meisten Pkw-Fahrer den Pkw mehrmals pro Woche nutzen. Personen, die zwar einen Führerschein besitzen, den Pkw im Verlauf der Beobachtungswoche jedoch nicht als Fahrer nutzen, können als seltene Pkw-Fahrer charakterisiert werden.

Im Fall der ÖV-Nutzung ist die Abgrenzung des Nutzerkreises schwieriger. Zwar nutzen einige Verkehrsteilnehmer den ÖV regelmäßig und häufig im Alltag. Andererseits gibt es viele Verkehrsteilnehmer, die den ÖV nur gelegentlich nutzen. Anhand der Wochenberichte des MOP können seltene ÖV-Nutzer kaum identifiziert werden und es ist schwierig, regelmäßige Nutzer von gelegentlichen Nutzern zu unterscheiden.

Deshalb gelten bei MOP-Auswertungen folgende Verkehrsteilnehmer als regelmäßige ÖV-Nutzer:

- Personen, die den ÖV in der Berichtswoche auf mindestens zwei Ausgängen nutzen.
- Personen, die über eine ÖV-Zeitkarte verfügen.

Gelegentliche ÖV-Nutzer können anhand der MOP-Daten nur schwer abgegrenzt werden. Um dieses Segment besser eingrenzen zu können, wurden zusätzlich die Fragen zur grundsätzlichen Verkehrsmittelnutzung aus MiD ausgewertet: Nur Personen, die die Angabe machten, den ÖV  zu nutzen, wurden nicht dem ÖV-Nutzerkreis zugerechnet. Alle anderen Verkehrsteilnehmer wurden dem Nutzerkreis des ÖV zugeordnet. Außerdem gilt die Annahme, dass die Angabe, den ÖV  zu nutzen für einen Bezugszeitraum mehrerer Monate Gültigkeit hat. Werden beide Analyseergebnisse zusammengebracht, ergibt sich für die deutsche erwachsene Bevölkerung das Bild in Abbildung 5.



**Abbildung 5:** Die Bevölkerung nach Nutzung von ÖV und MIV (Personen über 18 Jahren, Bezugszeitraum mehrere Monate; eigene Auswertung; Datengrundlage MOP und MiD)

In Bezug auf die Verwendung motorisierter Verkehrsmittel zeigt sich somit eine Dreiteilung der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland: Ein knappes Drittel (29%) nutzt den Pkw nicht als Fahrer, auch wenn nur 17% über keinen Führerschein verfügen. Ein Drittel fährt zwar Pkw, nutzt aber keinen ÖV und kann damit als Pkw-monomodal bezeichnet werden. Ein gutes Drittel (38%) fährt zwar Pkw, nutzt aber auch den ÖV. Die meisten dieser Multimodalen nutzen den ÖV jedoch nur gelegentlich.

Abbildung 6 zeigt, wie sich diese Einteilung der Bevölkerung nach Verkehrsmittelnutzerggruppen in unterschiedlichen Räumen und nach Altersgruppen darstellt. Zum einen zeigen sich Kohorteneffekte, insbesondere bei der Pkw-Verfügbarkeit: Ein großer Teil der heutigen Senioren hat nie einen Führerschein erworben. Zum anderen bestätigt die Darstellung, dass Pkw-Verfügbarkeit und ÖV-Nutzung mit der Größe der Stadt abnimmt, während die ÖV-Nutzung steigt.

### Nutzerkreise von Verkehrsmitteln nach Alter und Größe des Wohnorts

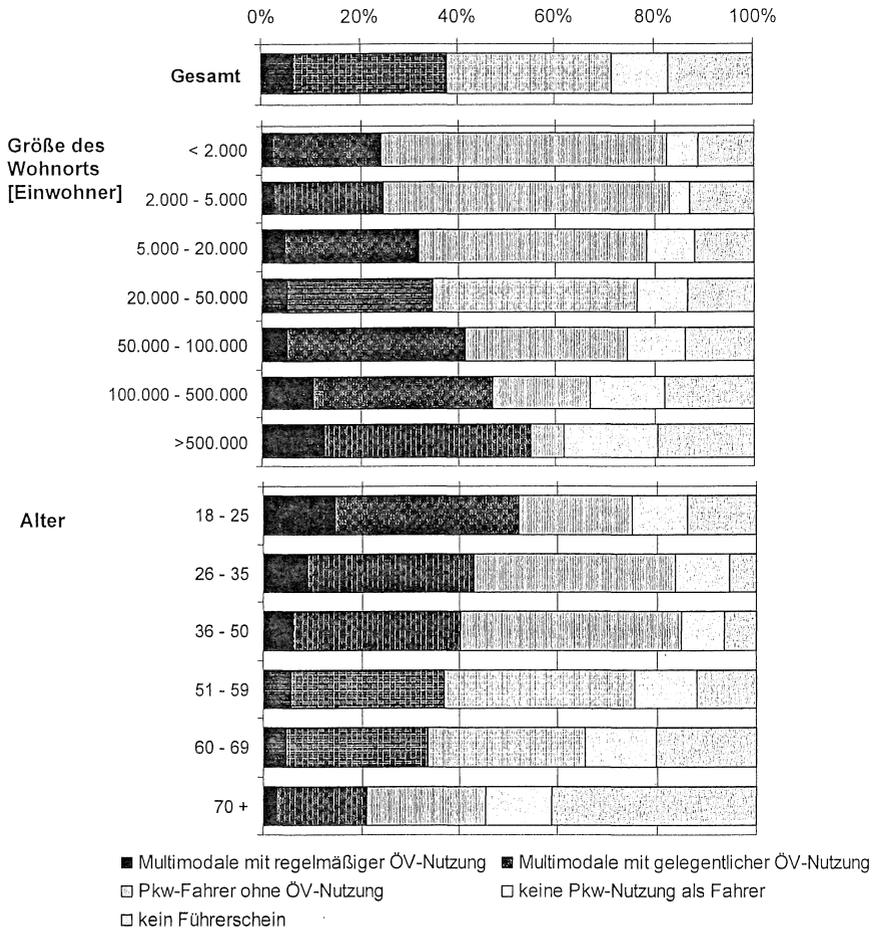


Abbildung 6: Führerscheinbesitz, Pkw-Fahrer und Multimodale nach Alter und Größe des Wohnorts (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP und MID)

Gleichzeitig zeigt Abbildung 6, dass es auch in großen Städten Pkw-Fahrer gibt, die den ÖV nicht in Betracht ziehen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in vielen dieser Fälle der ÖV objektiv gesehen als Option zur Verfügung steht. Die dargestellten Verkehrsmittelnutzerkreise repräsentieren also nicht nur die objektiv zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel. Sie beinhalten vielmehr auch subjektive Verkehrsmittelverfügbarkeiten (Brög 1981).

Für Personen, für die der MIV nicht zur Verfügung steht, ist eine Vereinfachung auf den Wettbewerb zwischen ÖV und MIV durch den Begriff "ÖV-Captives" geprägt worden. Abbildung 6 zeigt übereinstimmend mit anderen Untersuchungen (Zumkeller et al. 2006), dass ebenso auch "Pkw-Captives" in Betracht gezogen werden müssen. Die Abhängigkeit von bestimmten Verkehrsmitteln kann in jedem Fall objektiver oder auch subjektiver Art sein. Wie sehr auch der Pkw seine Nutzer an sich binden kann, veranschaulicht Abbildung 7, in der die Schwierigkeiten des Umstiegs vom Pkw auf den ÖV in Zeiten hoher Kraftstoffpreise karikiert werden.

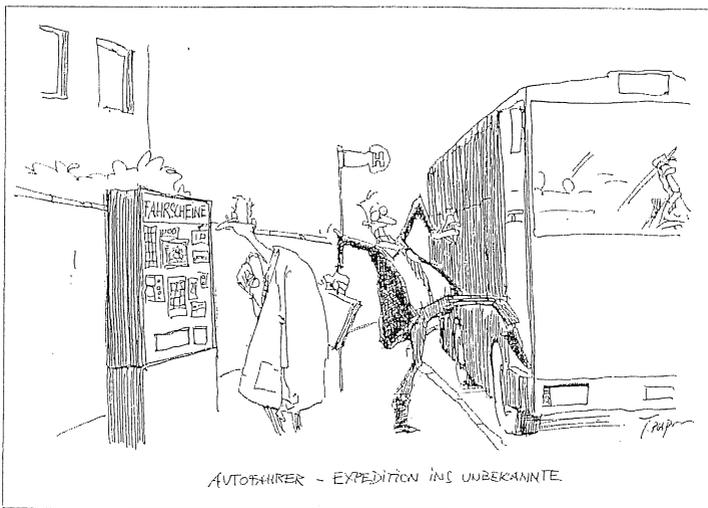


Abbildung 7: „Autofahrer – Expedition ins Unbekannte“ – Karikatur in der Frankfurter Rundschau vom 27.05.2004 (Plassmann 2004)

## 2.3.2 Analyse der individuellen Verkehrsmittelnutzung

### 2.3.2.1 Tour als kleinste Analyseeinheit

Als Tour wird eine Wegeketten bezeichnet, die am selben Ort beginnt und endet (Cirillo & Axhausen 2002). Im Regelfall sind wohnungsbasierte Touren mit Ausgängen identisch. Touren können jedoch auch an einem anderen Ort beginnen und enden, z.B. am Arbeitsplatz in der Pause. In diesem Fall gliedert sich ein Ausgang in zwei Touren: Die erste, die zuhause beginnt und endet und die Wege zwischen Arbeitsplatz und Wohnung umfasst, und die zweite zwischen Arbeitsplatz und Pausenziel (Abbildung 8).

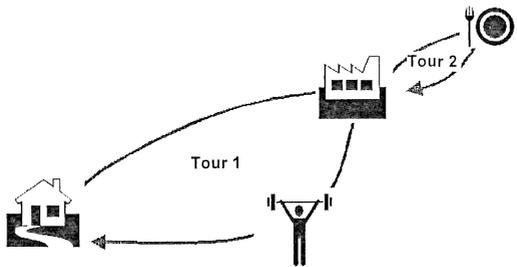


Abbildung 8: Beispiel für Touren als kleinste Analyseeinheit

Die Alltagserfahrung zeigt, dass Touren üblicherweise durchgängig mit demselben Verkehrsmittel erledigt werden. Dies ist insbesondere bei Pkw und Fahrrad der Fall, die in der Regel wieder an den Ausgangsort einer Tour zurückgebracht werden.

Im Folgenden wird untersucht, wie häufig die Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel auf einzelnen Wegen und Touren ist. Diese Analyse geht auf die Frage ein, wie üblich intermodales Verhalten (Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel auf einem Weg (Last 2004)) im Alltag ist und inwiefern es sinnvoll ist, intermodales Verhalten bei der Analyse und Modellierung alltäglicher Verkehrsmittelnutzung im zeitlichen Längsschnitt zu berücksichtigen.

Tabelle 4 zeigt, dass nur bei 7% aller Wege unterschiedliche Verkehrsmittel verknüpft werden. In den meisten dieser Fälle wird dabei das Verkehrsmittel (zu Fuß mit einem anderen Verkehrsmittel kombiniert, z.B. wenn der Verkehrsteilnehmer zu Fuß zur ÖV-Haltestelle gelangt. Berücksichtigt man das Zugangsverkehrsmittel (zu Fuß nicht, sind nur 1% aller Wege intermodal. Darunter sind Rad und ÖV bzw. MiV und ÖV die üblichsten Verkehrsmittelkombinationen. Das intermodale Musterbeispiel im Alltagsverkehr (Park-and-Ride) ist somit insgesamt gesehen von untergeordneter

Bedeutung, obwohl es in vielen Fällen einen sinnvollen Ansatz für die Lösung von Verkehrsproblemen darstellt.

<b>Anteil intermodaler Wege an allen Wegen [%]</b>	
Insgesamt	7,1
ohne Berücksichtigung des Zugangsverkehrsmittels zu Fuß	1,0
Davon entfallen auf	
Kombination von Rad und ÖV	31,4
Kombination von MIV als Fahrer und ÖV	29,7
Kombination von MIV als Mitfahrer und ÖV	28,7
Andere Kombinationen	10,3

**Tabelle 4: Anteil von intermodalen Wegen und Verkehrsmittelkombinationen bei intermodalen Wegen (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP)**

Tabelle 5 bestätigt, dass auch Touren in aller Regel durchgängig mit demselben Verkehrsmittel durchgeführt werden: Bei 84% aller Touren kommt nur ein Verkehrsmittel zum Einsatz. Bei Nichtberücksichtigung des Zugangsverkehrsmittels [zu Fuß] werden 94% aller Touren mit nur einem Verkehrsmittel erledigt.

<b>Anteil intermodaler Touren an allen Touren [%]</b>	
Insgesamt	16,2
ohne Berücksichtigung des Zugangsverkehrsmittels zu Fuß	5,8
Davon entfallen auf	
Kombination von MIV als Fahrer und Mitfahrer	37,8
Kombination von MIV als Mitfahrer und ÖV	31,7
Kombination von MIV Fahrer und ÖV	10,4
Kombination von Rad und ÖV	7,4
Andere Kombinationen	12,7

**Tabelle 5: Anteil von intermodalen Touren und Verkehrsmittelkombinationen bei intermodalen Touren (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP)**

Bei der weiteren Analyse und der späteren Modellierung wird intermodales Verhalten auf Wegen oder Touren nicht differenziert. Stattdessen wird die Tour zur kleinsten Analyseeinheit, und für jede Tour wird ein Hauptverkehrsmittel bestimmt. Die Hierarchie der Verkehrsmittel ist dabei in absteigender Reihenfolge ÖV, MIV als Mitfahrer, MIV als Fahrer, Rad und Fuß. Entsprechend werden Park-and-Ride-Wege als ÖV-Wege gewertet.

Die in Tabelle 5 aufgeführten geringen Anteile intermodaler Wege legen diese Vereinfachungen nahe, um bei Analyse und Modellierung allgemeingültige Aussagen und Modelle zu erhalten. Um die Bedeutung von Park-and-Ride in Spezialfällen zu analysieren, ist eine andere Herangehensweise angezeigt.

In den meisten Fällen bestehen Touren nur aus Hinweg, einer Aktivität und Rückweg. In einigen Fällen werden aber im Rahmen einer Tour verschiedene Aktivitäten verknüpft. Im Fall solcher Aktivitätenketten ist es für viele Auswertungen zweckmäßig,

der Tour einen Hauptzweck zuzuordnen. Dabei wurde im Rahmen dieser Arbeit folgende Hierarchisierung angewendet: Arbeit, Ausbildung > Dienstlich > Service > Einkaufen, Freizeit > Sonstiges. Kommen sowohl Arbeit als auch Ausbildung in einer Aktivitätenkette vor, wird nach Berufstatus der Person (Erwerbstätig oder in Ausbildung) entschieden. Kommen sowohl Einkaufen als auch Freizeit vor, ist die Aktivität mit der längeren Aktivitätsdauer maßgebend.

### **2.3.2.2 Verkehrsmittelwechselindex VMWX als Maß für Varianz der Verkehrsmittelnutzung**

Für metrische Größen, wie z.B. Verkehrsleistung pro Person und Tag, existiert ein statistisches Varianzmaß. Für die Beurteilung der Verkehrsmittelnutzung ist ein ähnliches Varianzmaß notwendig, mit dessen Hilfe unterschiedliche Analyseeinheiten (Personen, Gruppen von Touren etc.) in Hinblick auf die Varianz bei der Verkehrsmittelnutzung verglichen werden können. Bei der Verkehrsmittelnutzung handelt es sich jedoch nicht um eine metrische Größe, sondern um eine diskrete Wahlentscheidung, bei der aus einem Choice-Set zur Auswahl stehender Verkehrsmittel ausgewählt wird. Das übliche statistische Varianzmaß ist folglich zur Beschreibung der Varianz bei der Verkehrsmittelnutzung ungeeignet.

Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit der Verkehrsmittelwechselindex VMWX entwickelt, der im Folgenden vorgestellt wird und ein Maß dafür darstellt, wie sehr zwischen fünf Verkehrsmitteln (Fuß, Rad, MIV als Fahrer, MIV als Mitfahrer, ÖV) variiert wird. Wichtige Zielsetzung dieser Messgröße ist es, Analyseeinheiten, die unterschiedlich viele Touren enthalten, in Hinblick auf die Varianz bei der Verkehrsmittelnutzung miteinander vergleichbar zu machen. Dies ist deshalb wichtig, weil die Anzahl der Touren darüber bestimmt, wie viele Gelegenheiten zum Verwenden unterschiedlicher Verkehrsmittel bestehen: Personen mit vielen Touren haben mehr Gelegenheit, verschiedene Verkehrsmittel einzusetzen, als Personen mit nur wenigen Touren.

Zur Berechnung des Verkehrsmittelwechselindex wird zunächst in Abhängigkeit von der Anzahl der Touren in einer Analyseeinheit eine ideale Nutzungshäufigkeit  $iNUTZ$  für die einzelnen Verkehrsmittel ermittelt. Die ideale Nutzungshäufigkeit ist die Anzahl der Nutzungen der einzelnen Verkehrsmittel, die bei maximaler Varianz vorliegen würde. Ein Beispiel: Eine Person A führt in der Berichtswoche 15 Touren durch. Dann wäre die maximal mögliche Varianz der Verkehrsmittelnutzung gegeben, wenn jedes Verkehrsmittel für genau drei Touren verwendet wird (ideale Nutzungshäufigkeit bei allen Verkehrsmitteln:  $iNUTZ = 3$ ). Person B führe 14 Touren durch. Hier läge die ideale Nutzungshäufigkeit für die vier am meisten genutzten Verkehrsmittel bei drei und für das fünfte Verkehrsmittel bei zwei Nutzungen usw.

Allgemein formuliert:

$$iNUTZ_j = \text{int}\left(\frac{N_T}{5}\right) + (\text{mod}\left(\frac{N_T}{5}\right) \geq j) \quad [\text{GL. 2}]$$

Mit:  $iNUTZ_j$  Ideale Nutzungshäufigkeit von Verkehrsmittel j  
 $j$  Verkehrsmittel, nach Nutzungshäufigkeit absteigend nummeriert  
 $N_T$  Anzahl der betrachteten Touren

Im nächsten Schritt wird über alle fünf Verkehrsmittel aufsummiert, wie sehr die realen Nutzungshäufigkeiten von den idealen Nutzungshäufigkeiten abweichen:

$$SD = 0,5 \sum_j \text{abs}(rNUTZ_j - iNUTZ_j) \quad [\text{GL. 3}]$$

Mit:  $rNUTZ_j$  Wirkliche Nutzungshäufigkeit von Verkehrsmittel j  
 $SD$  Summe der Abweichungen zwischen idealer und realer Nutzungshäufigkeit geteilt durch 2

Der Wert SD stellt die Anzahl der Wahlentscheidungen dar, bei der die Person die Verkehrsmittelwahl nicht im Sinne der maximalen Verkehrsmittelvarianz getroffen hat. Beispiel: Person B hat für die 14 Touren drei Verkehrsmittel je vier mal und zwei Verkehrsmittel je einmal verwendet. Sie hat also drei Wahlentscheidungen nicht ideal - im Sinne der Varianzmaximierung - getroffen (SD=3).

Die Anzahl der in diesem Sinne nicht ideal getroffenen Wahlentscheidungen muss nun noch ins Verhältnis zur Anzahl der Möglichkeiten gesetzt werden, welche die Person hatte, um solche nicht idealen Entscheidungen zu treffen. Im Fall von Person B mit 14 Touren lag die Zahl der möglichen nicht idealen Entscheidungen bei 11. Der Grund hierfür ist, dass drei Wahlentscheidungen auf jeden Fall richtig sind, auch wenn sie alle auf das selbe Verkehrsmittel entfallen, da das im Idealfall am meisten genutzte Verkehrsmittel genau drei Nutzungen aufweisen sollte. Die Anzahl der Möglichkeiten, nicht ideale Wahlentscheidungen im Sinne der Varianzmaximierung zu treffen, berechnet sich allgemein zu:

$$CF = N_T - \text{int}\left(\frac{N_T}{5}\right) - (\text{mod}\left(\frac{N_T}{5}\right) > 0) \quad [\text{GL. 4}]$$

Mit:  $CF$  Anzahl der Möglichkeiten, nicht ideale Wahlentscheidungen zu treffen

Auf Basis von Gleichung 1 bis Gleichung 4 wird der Verkehrsmittelwechselindex wie folgt berechnet:

$$VMWX = 1 - \frac{SD}{CF} \quad [\text{GL. 5}]$$

Trifft eine Person CF nicht ideale Wahlentscheidungen (SD = CF), dann verhält sie sich streng monomodal und der Verkehrsmittelwechselindex VMWX ergibt sich zu

null. Trifft eine Person nur solche Wahlentscheidungen, die zu einer maximalen Varianz bei der Verkehrsmittelwahl führen ( $SD=0$ ), wird VMWX zu eins.

Mit diesem Verkehrsmittelwechselindex wird es möglich, Analyseeinheiten, die eine unterschiedliche Anzahl Touren enthalten, in Hinblick auf die Varianz der Verkehrsmittelnutzung zu vergleichen. In der Regel werden als Analyseeinheiten Personen herangezogen, es können aber auch Personentage oder andere Gruppierungen von Touren verglichen werden.

### 2.3.2.3 Analyse individueller Verkehrsmittelvarianz

Mithilfe des Verkehrsmittelwechselindex ist es möglich, die individuelle Verkehrsmittelvarianz zu messen. Der Mittelwert von VMWX über alle Personen im MOP liegt bei 0,34. Das bedeutet, dass im Mittel etwa zwei Drittel aller Verkehrsmittelwahlentscheidungen nicht im Sinne der größtmöglichen Varianz erfolgen, sondern bei bestimmten Verkehrsmitteln klumpen. Bei einer Person mit 15 Touren könnte dies beispielsweise bedeuten, dass zwei Verkehrsmittel je 7 mal verwendet werden und ein Verkehrsmittel einmal statt alle 5 Verkehrsmittel je 3 mal.

Abbildung 9 zeigt, wie der Verkehrsmittelwechselindex VMWX in der Bevölkerung verteilt ist: Knapp 12% der Bevölkerung sind monomodal oder nahezu monomodal, während die meisten Verkehrsteilnehmer etwa zwischen einem Viertel bis zur Hälfte ihrer theoretischen Verkehrsmittelvariationsmöglichkeiten ausnutzen.

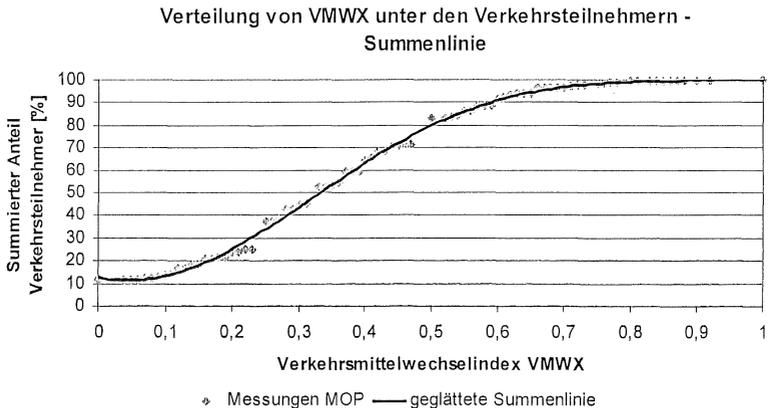


Abbildung 9: Verteilung des Verkehrsmittelwechselindex unter den Verkehrsteilnehmern (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP)

Tabelle 6 stellt dar, wie die Verkehrsmittelnutzung nach anderen Variablen variiert. Es zeigt sich, dass mit steigender Größe des Wohnorts der Anteil der Monomodalen

leicht abnimmt, während der Wechsel zwischen Verkehrsmitteln leicht zunimmt. Betrachtet man das Verkehrsmittelwechselverhalten nach Alter, zeigt sich, dass Jugendliche am meisten zwischen den Verkehrsmitteln wechseln. Stärker als der Einfluss von Wohnortgröße und Alter ist der Einfluss des am meisten genutzten Verkehrsmittels. Personen, die hauptsächlich Rad, ÖV und MIV als Mitfahrer nutzen, variieren in ihrer Verkehrsmittelnutzung deutlich mehr, als diejenigen, die den MIV als Fahrer als meistgenutztes Verkehrsmittel verwenden.

Variable	Beschreibung	Anteil Monomodale [%]	Mittlerer Verkehrsmittelwechselindex VMWX
Einwohnerzahl des Wohnort	unter 2.000	16	0,31
	2.000 bis unter 5.000	12	0,32
	5.000 bis unter 20.000	13	0,33
	20.000 bis unter 50.000	10	0,35
	50.000 bis unter 100.000	11	0,35
	100.000 bis unter 500.000	9	0,37
	über 500.000	10	0,36
Altersklasse	10 bis 17	5	0,40
	18 bis 29	10	0,36
	30 bis 39	11	0,34
	40 bis 49	13	0,32
	50 bis 59	13	0,32
	60 bis 69	11	0,35
	70 bis 79	11	0,35
	80 und älter	15	0,31
Meistgenutztes Verkehrsmittel	Fuß	6	0,37
	Rad	3	0,42
	MIV als Fahrer	16	0,29
	ÖV	6	0,40
	MIV als Mitfahrer	11	0,40
<b>Gesamt</b>		11	0,34

Tabelle 6: Anteil Monomodale und mittlerer VMWX nach Einwohnerzahl des Wohnorts, Altersklasse und meistgenutztem Verkehrsmittel (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP)

Der Befund, dass das meistgenutzte Verkehrsmittel größeren Einfluss auf die Variation des Verkehrsmittels hat als andere Größen, wird auch durch die multivariate Analyse in Tabelle 7 gestützt. Neben Einwohnerzahl, Alter und meistgenutztem Verkehrsmittel wurde hier zusätzlich die Variable [Rolle] als erklärende Variable eingesetzt, die in 12 Klassen die Rolle einer Person im Haushalt beschreibt. Zwar sind alle erklärenden Variablen signifikant, das meistgenutzte Verkehrsmittel ist jedoch die mit Abstand bestimmendste Einflussgröße.

Multivariate Varianzanalyse (ANOVA) der Variable VMWX ( $R^2 = 0,0938$ )				
Variable	Freiheitsgrade	Quadratsumme	Quadratsumme / Freiheitsgrade	Pr > F
Einwohnerzahl	6	3,69	0,61	<,0001
Altersklasse	7	10,04	1,43	<,0001
Rolle	11	6,77	0,62	<,0001
meistgenutztes VM	4	36,57	9,14	<,0001

Tabelle 7: Ergebnisse multivariater Varianzanalyse (ANOVA) von VMWX (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP)

Es zeigt sich, dass der Pkw seine Nutzer stärker an sich bindet als andere Verkehrsmittel dies tun. Der Grund hierfür dürfte die Flexibilität des Pkw sein, der es seinen Nutzern häufig erlaubt, den Alltag ohne die Nutzung anderer Verkehrsmittel zu bestreiten.

#### 2.3.2.4 Routinierte Verkehrsmittelwahl

Die Alltagserfahrung zeigt, dass die Verkehrsmittelnutzung über bestimmte Verkehrsmittelvorlieben hinaus vielfach routiniert erfolgt. Besonders deutlich ist dies im Fall der Pendelwege. Aber auch in anderen Bereichen lassen sich im Alltag Routinen identifizieren, für die dann üblicherweise auch eine routinierte Verkehrsmittelwahl erfolgt.

Im Folgenden wird dargestellt, wie mit Hilfe des Verkehrsmittelwechselindex VMWX im Datensatz des MOP solche Routinen identifiziert werden können. Ziel ist es zum einen, die Alltagserfahrung, dass ähnliche Touren üblicherweise mit demselben Verkehrsmittel durchgeführt werden, empirisch zu untermauern. Zum anderen ist diese Analyse wichtige Grundlage zur späteren Abbildung routinierter Verkehrsmittelwahl im Modell.

Innerhalb der MOP-Wochenberichte können verschiedene Touren einer Person einer Routine zugeordnet werden, wenn sie ähnliche Eigenschaften aufweisen. Diese zu einer Gruppe zusammengefassten Touren sind dann routinierte Touren, denen dieselbe Routine unterliegt. Routinierte Touren einer Person sollten sich hinsichtlich der folgenden Größen ähnlich sein:

- Ausgangspunkt der Tour (Wohnung oder anderer Ort)
- Zwecke und Dauern der im Rahmen der Tour verknüpften Aktivitäten
- Im Rahmen der Tour zurückgelegte Entfernungen

Diese Kriterien müssen nun im Rahmen einer Definition routinierter Touren spezifiziert werden. Bei dieser Definition wurden Pendeltouren ausgeschlossen, da sie einen Sonderfall darstellen. Für Pendelroutinen liegen bei Wochenberichten in vielen Fällen fünf Touren mit vergleichsweise stabilen Verkehrsmittelnutzungsgewohnheiten

vor. Das ist bei anderen Routinen im Verlauf von Wochenberichten, z.B. Einkaufen, eher die Ausnahme.

Für eine Identifikation von Routinen einer Person können verschiedene Verfahren angewendet werden, welche die berichteten Touren dieser Person anhand obiger tourenbeschreibender Größen gruppieren. Zu den bei der vorliegenden Arbeit erprobten Verfahren gehört auch die Cluster-Analyse. Diese liegt zunächst nahe, weil sie das Problem der Gruppierung ähnlicher Touren aus der Gesamtzahl der Touren einer Person gut veranschaulicht. Cluster-Analysen zielen jedoch darauf ab, dass die gebildeten Cluster (hier: Routinen) in Hinblick auf die Cluster-Variablen (tourenbeschreibende Variablen) möglichst homogen sind. Im vorliegenden Fall ist die Zielsetzung der Routinen-Identifikation jedoch, die Varianz der Verkehrsmittelwahl innerhalb der Routinen zu minimieren.

Deshalb wurde zur Identifikation von Routinen ein anwendungsorientierter Ansatz gewählt, bei dem verschiedene berichtete Touren einer Person dann als zur selben Routine gehörend zusammengefasst werden, wenn sie bestimmte Bedingungen erfüllen. Dabei wurden die Kriterien [gleicher Ausgangspunkt] und [gleicher Zweck der Hauptaktivität] vorausgesetzt.

In Hinblick auf die Verknüpfung von Aktivitäten, die Dauer der Hauptaktivität und die zurückgelegten Entfernungen wurden iterativ weitere Kriterienkombinationen erprobt. Die genaue Definition der Kriterien routinierter Touren musste gewährleisten, dass

- ausreichend viele Routinen für belastbare Analysen im MOP-Datensatz vorhanden sind,
- die Routinen im Mittel genügend routinierte Touren (möglichst mehr als zwei) umfassen, so dass interpretierbare Analysen hinsichtlich der Verkehrsmittelvarianz möglich sind und
- die Verkehrsmittelvarianz innerhalb der Routinen möglichst gering ausfällt (Minimierung von VMWX).

Hieraus ergibt sich folgende Definition: Touren einer Person können dann ein und derselben Routine zugeordnet werden, wenn sie jede der folgende Bedingungen erfüllen:

- Gleicher Ausgangspunkt
- Gleicher Zweck der Hauptaktivität
- Ähnliche Dauer der Hauptaktivität (Abweichung bis 5 min bzw. bis 10% bei Aktivitätendauer länger als 50 min)
- Höchstens zwei Aktivitätszwecke, hinsichtlich derer sich die Aktivitätskette aller im Rahmen der Tour verknüpften Aktivitäten unterscheidet (Levenshtein Edit Distance kleiner gleich 2)
- Ähnliche zurückgelegte Gesamtdistanz (Abweichung bis 2 km bzw. bis 20% bei Gesamtdistanz größer 20 km)

Tabelle 8 führt auf, wie viele Touren pro Person und Woche sich im Mittel ergeben. Dabei wird unterschieden zwischen Touren, die einmalig vorkommen, und routinierten Touren, die nach der entwickelten Definition Routinen zugeteilt werden können. Es zeigt sich, dass im Mittel bei jeder zweiten Person im MOP eine Routine identifiziert werden kann, die keine Pendelroutine ist. Im Mittel wiederum gehören zu jeder Routine 2,4 in der Berichtswoche durchgeführte routinierte Touren.

Mittelwerte für Anzahl Touren und Routinen pro Person und Woche	Touren einschließlich Pendeltouren	Ohne Pendeltouren
Einmalige Touren (nicht zu einer Routine gehörig)	7,4	6,5
Routinierte Touren	2,8	1,2
Touren gesamt	10,2	7,6
Routinen	1,0	0,5
Touren pro Routine	2,8	2,4

Tabelle 8: Mittelwerte für Anzahl Touren und Routinen pro Person und Woche (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP)

Nach Erarbeitung einer Definition für Routinen können die Touren eines individuellen Wochenberichtes nun drei Kategorien zugeordnet werden:

1. Pendelroutinen (alle Pendeltouren)
2. Andere Routinen (andere routinierte Touren)
3. Sonstige Touren (einmalige Touren, die keiner Routine zugeordnet werden können)

Eine Routine (Pendelroutinen und andere) umfasst somit immer eine Gruppe von routinierter Touren. Die sonstigen Touren bilden ebenfalls eine Tourengruppe. Tabelle 9 stellt dar, in welchem Maß innerhalb von Tourengruppen dieser Kategorien im Mittel die Verkehrsmittel variiert werden. Beim Pendeln wird, wie oben bereits beschrieben, besonders wenig variiert. Dem Verkehrsmittelwechselindex von 0,1 entspricht im Mittel eine Verkehrsmittelvariation in 13 Arbeitstagen.

Monomodalität und Verkehrsmittelvarianz von Tourenkategorien	Anteil Tourengruppen, die durchgängig mit demselben Verkehrsmittel erledigt werden [%]	Verkehrsmittelvarianz VMWX
Pendelroutinen	72	0,10
Andere Routinen	78	0,19
Sonstige Touren	15	0,38
Gesamt	11	0,34

Tabelle 9: Monomodalität und Verkehrsmittelvarianz nach Pendeltouren, anderen routinierten Touren und einmaligen Touren (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP)

Bei den anderen Routinen zeigt sich ebenfalls eine deutlich geringere Verkehrsmittelvarianz als im Mittel. Beim hohen Anteil der Routinen, die durchgängig mit demselben Verkehrsmittel durchgeführt werden, muss folgendes beachtet werden: In den anderen Routinen sind im Mittel nur 2,4 Touren enthalten, während dies bei den

Pendeltouren und insbesondere bei den sonstigen Touren wesentlich mehr sind. Je mehr Touren in einer Tourengruppe enthalten sind, desto unwahrscheinlicher ist, dass alle mit demselben Verkehrsmittel erledigt werden. Der Verkehrsmittelwechselindex stellt hier eine von der Anzahl der Touren unabhängige Messgröße dar.

Es lassen sich also bei vielen Personen Untergruppen von Touren bilden, die als Routinen zusammengefasst werden können. Während Verkehrsteilnehmer insgesamt im Mittel etwa ein Drittel ihrer theoretischen Verkehrsmittelvariationsmöglichkeiten ausnutzen, werden Verkehrsmittel innerhalb dieser Routinen wesentlich weniger variiert und nur ein Fünftel der theoretischen Verkehrsmittelvariationsmöglichkeiten werden genutzt.

### 2.3.3 Sonderfall Mitfahrerwege

Etwa 14% des Verkehrsaufkommens in Deutschland wird als Mitfahrer im MIV abgewickelt. Diese Wege stellen einen Sonderfall dar, da sie nicht autonom erledigt werden, sondern immer in Begleitung eines Fahrers stattfinden, also koordiniert sind. Auswertungen des MOP deuten darauf hin, dass etwa die Hälfte der Mitfahrerwege im Haushaltskontext stattfinden. Unschärfen sind hier deshalb gegeben, weil beim MOP die Koordination von Wegen im Haushaltskontext nicht unmittelbar von den Berichtern angegeben wird, sondern bei Auswertungen aus ähnlichen Wegemustern verschiedener Haushaltsmitglieder erschlossen werden muss.

Etwa 18% aller Wege sind im Haushaltskontext koordiniert, d.h. sie finden gemeinsam mit anderen Haushaltsmitgliedern statt. Tabelle 10 zeigt, dass sich die Verkehrsmittelwahl bei solchen im Haushaltskontext koordinierten Wegen deutlich anders darstellt, als bei Wegen, die autonom unternommen werden. Insbesondere der MIV als Mitfahrer hat bei solchen Wegen einen deutlich höheren Anteil, während nur wenige Wege mit anderen Haushaltsmitgliedern per Fahrrad oder mit dem ÖV unternommen werden.

Modal Split nach Koordination im Haushaltskontext	Nicht koordiniert [%]	Koordiniert [%]	Gesamt [%]
Zu Fuß	26	20	25
Fahrrad	11	4	10
MIV als Fahrer	42	33	40
ÖV	12	5	11
MIV als Mitfahrer	9	38	14
Summe	100	100	100

Tabelle 10: Modal Split nach Koordination im Haushaltskontext (eigene Auswertung; Datengrundlage MOP; nur vollständig berichtende Haushalte berücksichtigt)

Diese Ergebnisse zeigen zweierlei: Zum einen ist die Entscheidung, einen Weg als Mitfahrer zu erledigen, nicht mit anderen Verkehrsmittelwahlentscheidungen ver-

gleichbar, da Wege als Mitfahrer nicht autonom unternommen werden. Zum zweiten spielt dabei insbesondere der Haushaltskontext eine große Rolle.

#### **2.3.4 Schlussfolgerungen für die Modellierung**

Aus den vorangegangenen Analysen zur Verkehrsmittelnutzung im Längsschnitt und zur Sonderrolle der Mitfahrerwege sind verschiedene Schlussfolgerungen für die Abbildung der Verkehrsmittelwahl in einem längsschnitorientierten Modell zu ziehen:

Die Abgrenzung der Verkehrsmittelnutzerverkreise zeigt, dass Personen in Abhängigkeit von Personeneigenschaften, Raumtyp und individuellen Präferenzen über bestimmte Verkehrsmittel verfügen. Ihnen steht in der Situation der Verkehrsmittelwahl ein - unter Umständen eingeschränkter - Satz von Verkehrsmitteln zur Auswahl (Choice-Set). Diese Choice-Sets haben objektive und individuell-subjektive Hintergründe.

In der Analyse der individuellen Verkehrsmittelnutzung wurde zunächst belegt, dass die Tour eine sinnvolle Modelleinheit für die Verkehrsmittelwahl darstellt. Mit dem Verkehrsmittelwechselindex wurde darüber hinaus eine Messgröße eingeführt, welche die Varianz bei der Verkehrsmittelnutzung misst. Ein Modell der Verkehrsmittelnutzung im Längsschnitt sollte die individuelle Varianz der Verkehrsmittelnutzung wirklichkeitsnah wiedergeben, d.h. Mittelwerte für gemessene und simulierte Verkehrsmittelwechselindizes sollten übereinstimmen. Zudem sollten die gefundenen Varianzunterschiede in der Verkehrsmittelwahl bei routinierten und nicht routinierten Touren richtig abgebildet werden.

Schließlich zeigte die Diskussion der Mitfahrerwege, dass bei der Entscheidung, als Mitfahrer unterwegs zu sein, z.T. andere Einflussgrößen wirken als bei der restlichen Verkehrsmittelwahl. Es erscheint somit sinnvoll, die Mitfahrerwege bei der Verkehrsmittelwahlmodellierung getrennt von den anderen Verkehrsmitteln zu behandeln. Bei Mitfahrerwegen spielt insbesondere der Haushaltskontext eine Rolle. Deshalb ist für eine wirklichkeitsnahe Abbildung der Mitfahrerwege ein Nachfragemodell anzustreben, das den Haushaltskontext berücksichtigt.

### 3 Modellierung der Verkehrsnachfrage im Längsschnitt

#### 3.1 Ausgangslage

Mikroskopische Modelle zur Abbildung individuellen Verkehrsverhaltens sind seit geraumer Zeit verfügbar und in Anwendung (Bhat & Koppelman 2000). Das in dieser Arbeit vorgestellte Modell umfasst die Stufen der Erzeugung der Simulationsstichprobe, der Verkehrsentstehung, der Zielwahl und der Verkehrsmittelwahl (Abbildung 10).

In diesen Modellstufen wird bei Nachfragemodellen zunächst eine virtuelle Bevölkerung bestehend aus Haushalten und Personen gebildet. Diesen Personen werden in der anschließenden Stufe der Verkehrsentstehung Aktivitäten zugewiesen, die sie im modellierten Untersuchungsraum durchführen. Bei der Zielwahl werden der Person plausible Ziele für die einzelnen Aktivitäten zugeordnet. In Abhängigkeit von der jeweiligen Situation und der Verkehrsinfrastruktur erfolgt dann im Rahmen der Verkehrsmittelwahl die Zuordnung eines sinnvollen Verkehrsmittels (Ortuzar & Willumsen 2005). In diesen Modellstufen wird somit die Verkehrsnachfrage auf den verschiedenen Nachfragebeziehungen und für die verschiedenen Verkehrsmittel abgebildet. Anschließend kann eine Netzumlegung erfolgen. Auf diese wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht eingegangen, da sie mit Standardverfahren durchgeführt werden kann.

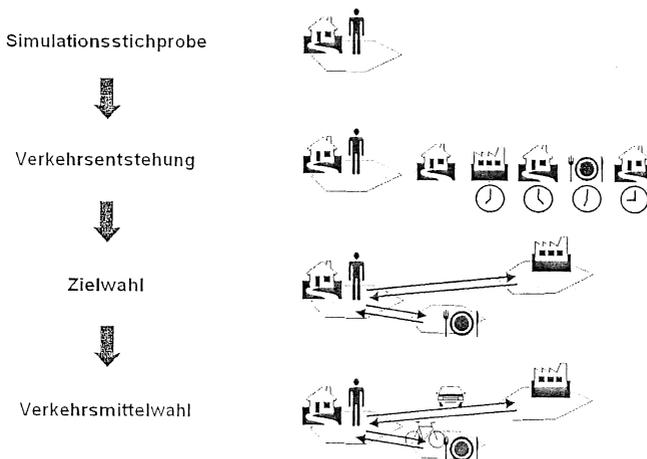


Abbildung 10: Die Stufen der Individualverhaltensmodellierung

### **3.1.1 Gründe und Ziele für längsschnittorientierte Nachfragemodellierung**

Zielsetzung für Modelle der Verkehrsnachfrage ist nicht nur die Abbildung einer bestehenden Nachfragesituation. Auch Nachfrageänderungen bei Veränderungen der Rahmenbedingungen sollen wirklichkeitsnah abgebildet werden, insbesondere sollen Verkehrsmodelle maßnahmesensitiv sein. Hieraus ergibt sich, dass es Ziel von mikroskopischen Verkehrsmodellen ist, individuelle Verhaltensänderungen realistisch abzubilden. Dies gelingt besser, wenn der modellierte Zeitraum nicht nur - wie bei bisherigen Modellen - einen Tag, sondern eine Woche beträgt. Die Gründe hierfür werden in den folgenden Abschnitten aufbauend auf dem ersten Teil der Arbeit dargestellt. Darüber hinaus erlaubt eine längsschnittorientierte Modellierung eine umfassendere Beurteilung der Nachfragesituation, sowohl bei der Abbildung bestehender Verhältnisse als auch bei der Modellierung von Planfällen. Dies wird in Abschnitt 3.1.1.4 dargestellt.

#### **3.1.1.1 Abbildung stabiler Grundmuster individuellen Verhaltens**

Realistische Verhaltensänderungen können letztlich nur dann abgebildet werden, wenn gleichzeitig die stabilen Grundmuster individuellen Verhaltens in einem Modell wirklichkeitsnah wiedergegeben sind. Dies betrifft z.B. Einstellungen (□Mobilitätsstile□) oder Prägungen (□Mobilitätsbiografien□). Deshalb stellt die Integration solcher stabiler Grundmuster in die Verhaltensmodellierung ein Ziel der Forschung dar, auch wenn in diesem Bereich bislang nur erste Schritte erfolgt sind (Böhler et al. 2005).

Diese Grundmuster des Verhaltens kommen jedoch an Einzeltagen häufig nicht zum Ausdruck. Hierzu variiert individuelles Verhalten zu sehr von Tag zu Tag. Wenn es Ziel von Verhaltensmodellierung ist, dass z.B. Einstellungen ihren Ausdruck im modellierten individuellen Verkehrsverhalten finden, ist somit eine längsschnittorientierte Modellierung mehrerer Tage unumgänglich.

Das vorgestellte Modell schafft mit der Längsschnittorientierung die Grundlage, solche Hintergründe individuellen Verhaltens zukünftig im Modell abbilden zu können.

#### **3.1.1.2 Abbildung der Einschränkungen durch Budgetrestriktionen**

Restriktionen der Zeit- und Geldbudgets beschränken die individuellen Handlungsspielräume im Alltag. Sie sind somit in zweierlei Hinsicht für die Modellierung von Verkehrsverhalten von Bedeutung: Zum einen begrenzen sie die Möglichkeiten, wie Verkehrsteilnehmer mit Verhaltensänderungen auf veränderte Rahmenbedingungen, z.B. durch Maßnahmen in der Infrastruktur, reagieren können. Zum zweiten sind bei Modellierungen vielfach die Auswirkungen veränderter Budgets auf die Nachfrage selbst von Interesse.

Vor diesem Hintergrund ist eine realistische Abbildung der Wirkungen von Budgetrestriktionen auf individuelles Verkehrsverhalten im Modell erstrebenswert. Dies gelingt jedoch nicht, wenn der Modellzeitraum nur einen Tag beträgt. Der Grund hierfür ist, dass individuelles Verhalten an Einzeltagen oft kaum in Zusammenhang mit individuellen Budgets steht. An einzelnen Tagen können Budgets deutlich überzogen werden, und das Verhalten ist dennoch realistisch. Erst im Längsschnitt über mehrere Tage lassen sich die Zusammenhänge zwischen Budgets und Verhalten auf individueller Ebene sinnvoll abbilden.

Das vorgestellte Modell umfasst exemplarisch für die Simulation von individuellem Verhalten unter Budgetbeschränkungen die Abbildung der Wirkungen von Zeitbudgetrestriktionen.

### **3.1.1.3 Abbildung der Nutzung von Optionen**

Die Verfügbarkeit von Optionen setzt den Rahmen für die Handlungsspielräume von Verkehrsteilnehmern. Dabei kann diese Verfügbarkeit von Optionen sowohl objektiv als auch subjektiv sein. Besonders deutlich wird dies am Beispiel der Verkehrsmittelverwendung. Der Ausschluss bestimmter Verkehrsmittel aus dem individuellen Choice-Set einerseits und die Vorlieben für Verkehrsmittel andererseits beschränken die Flexibilität von Verkehrsteilnehmern, wenn sie ihr Verhalten neuen Rahmenbedingungen anpassen.

Nur im zeitlichen Längsschnitt lässt sich beurteilen und modellieren, ob und wie sehr Verkehrsteilnehmer die ihnen zur Verfügung stehenden Optionen ausnutzen. Zum Beispiel zeigt erst ein längerer Beurteilungszeitraum, ob Verkehrsteilnehmer im Hinblick auf ihre Verkehrsmittelwahl mono- oder multimodal sind.

Im vorgestellten Modell steht die Abbildung der Nutzung individueller Optionen besonders hinsichtlich der Verkehrsmittelverwendung im Vordergrund.

### **3.1.1.4 Abbildung der zeitlichen Varianz der Zusammensetzung des Kollektivs der Infrastrukturnutzer**

Als Folge der zeitlichen Varianz individuellen Verhaltens setzt sich die aggregierte Nachfrage täglich mehr oder weniger verschieden zusammen, d.h. das Kollektiv der Infrastrukturnutzer variiert. Ein Beispiel hierfür ist der Nutzerkreis des ÖV, der sich einerseits aus regelmäßigen ÖV-Kunden und andererseits aus Gelegenheitskunden zusammensetzt. Das selbe gilt jedoch auch für Nutzer der Straßeninfrastruktur.

Das Wissen, wie die Zusammensetzung des Kollektivs der Infrastrukturnutzer mit der Zeit variiert, liefert in vielen Fällen hilfreiche Informationen zur Beurteilung der potentiellen Wirksamkeit von Maßnahmen, z.B. von Nutzerinformationssystemen. Diese zeitliche Varianz der Zusammensetzung der Nachfrage kann nur dann im Modell rea-

listisch abgebildet werden, wenn das individuelle Verhalten im Längsschnitt modelliert wird, wie dies im hier vorgestellten Modell der Fall ist.

### 3.1.2 Anforderungen an längsschnittorientierte Nachfragemodellierung

Die bisherigen mikroskopischen Modelle zur Abbildung des Personenalltagsverkehrs bilden üblicherweise das individuelle Verhalten über einen Tag ab. Bei der Anwendung sind an ein solches Modell folgende Anforderungen gestellt (Zumkeller 1989):

- Repräsentative Abbildung sozioökonomischer Verteilungen der Bevölkerung im modellierten Untersuchungsraum
- Wirklichkeitsnahe Abbildung von aggregierten Mobilitätskenngrößen (Verkehrsaufkommen, Verkehrsleistung, Ganglinie, Entfernungsverteilung etc.)
- Konsistenz und Plausibilität individuellen Mobilitätsverhaltens
- Abbildung wesentlicher Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen und modelliertem Verhalten zur wirklichkeitsnahen Abschätzung der Maßnahmesensitivität

Die Ausweitung des modellierten Zeitraumes von einem Tag auf eine Woche bringt neue Herausforderungen mit sich. In Bezug auf alle Dimensionen des Mobilitätsverhaltens □ Verkehrsentstehung, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl □ gilt, dass Verkehrsteilnehmer ein gewisses Maß an intrapersoneller Varianz aufweisen. Einerseits gleicht kaum ein Tag eines Verkehrsteilnehmers genau einem anderen. Andererseits gibt es im Alltag des einzelnen viele stabile Elemente, z.B. den Arbeitsbeginn, routinemäßig aufgesuchte Einkaufsziele oder bevorzugte Verkehrsmittel.

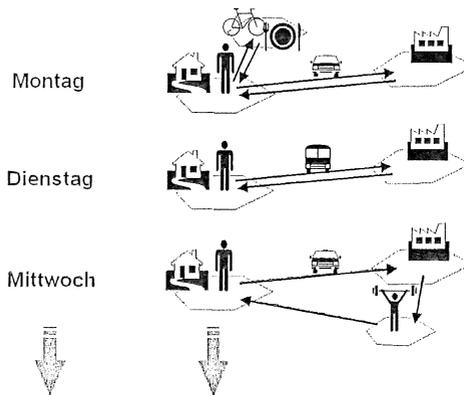


Abbildung 11: Ausweitung des modellierten Zeitraums von einem auf mehrere Tage

Bei der Ausweitung des modellierten Zeitraumes in Verkehrsnachfragemodellen von einem Tag auf eine Woche können also nicht sieben unabhängige, modellierte Tagesabläufe aneinander gefügt werden, um einen individuellen Wochenplan zu bilden. Dabei würde die intrapersonelle Varianz überschätzt. Bei einer siebenmaligen Abbildung des selben Tages würde die Varianz andererseits offensichtlich vernachlässigt.

Wochenmodelle sollten somit gegenüber Tagesmodellen folgende zusätzliche Anforderung erfüllen:

- Wirklichkeitsnahe Abbildung intrapersoneller Varianz und Stabilität des Verhaltens

Daneben müssen alle Anforderungen, die an Tagesmodelle gestellt sind, ebenfalls erfüllt werden, allerdings bezogen auf einen längeren Zeitraum. Das heißt z.B., dass Konsistenz und Plausibilität individuellen Verhaltens für eine Woche gewährleistet sein muss. Nur wenn alle Anforderungen durch das Modell erfüllt werden, kann ein Wochenlängsschnittmodell gegenüber Tagesmodellen zusätzliche Informationen zur Beurteilung der Verkehrsnachfrage bereitstellen.

Dies hat insbesondere für die Modellbereiche Verkehrsentstehung und Zielwahl sowie Verkehrsmittelwahl Konsequenzen. In den folgenden beiden Abschnitten wird in das Thema dieser beiden Bereiche eingeführt, bevor das Modell in seinem Aufbau im Detail beschrieben wird.

### 3.1.3 Verkehrsentstehung und Zielwahl

Im Rahmen der Verkehrsentstehung werden bei mikroskopischen Modellen der Verkehrsnachfrage den Personen in einer Simulation Aktivitätenprogramme zugeordnet. Dies kann dadurch erfolgen, dass einer Person eine Aktivitätenkette (z.B. Wohnen  Arbeiten  Wohnen) zugeordnet wird, bei der die Aktivitäten zunächst nicht weiter durch genaue Zeitpunkte spezifiziert sind (Sparmann 1980). Dabei ist die intrapersonelle Konsistenz und Plausibilität der Aktivitätenkette gewährleistet, wenn es sich bei der zugeordneten Aktivitätenkette um eine empirisch erhobene Aktivitätenkette handelt.

Sind den Aktivitäten aber keine genauen Zeitpunkte zugeordnet, treten Schwierigkeiten auf, wenn eine Nachfrageganglinie erstellt werden oder für das Ergebnis der Nachfragemodellierung eine mikroskopische und dynamische Routensuche erfolgen soll.

Um dieses Problem zu beheben, können den Personen in einer Simulation erhobene Aktivitätenketten mitsamt zugehörigen Zeitpunkten für jede Aktivität zugeordnet werden (Schnittger & Zumkeller 2006). Damit ist weiterhin gewährleistet, dass intrapersonell Aktivitätenabfolge, Aktivitätenfrequenz und Aktivitätenumfang sinnvoll sind. Es entstehen jedoch Konsistenzprobleme beim Übertrag dieser Aktivitätenprogramme in

einen anderen räumlichen Bezug: Notwendige Übergangszeiten zwischen den Zielen für aufeinanderfolgende Aktivitäten haben in einem solchen Modell keinen Einfluss auf die Zeitpunkte der Aktivitätenausübung.

Solche anwendungsorientierten Verfahren, die feste Aktivitätenketten in andere Zusammenhänge übertragen, sind darüber hinaus nicht in der Lage Verhaltensänderungen bei der Verkehrsentstehung abzubilden, die sich durch eine Änderung der Rahmenbedingungen ergeben, z.B. wenn sich Budgets deutlich verändern.

Vor diesem Hintergrund gibt es in der Nachfragemodellierung auch den Ansatz, Verhalten in seinem räumlichen Bezug synthetisch zu bilden. Dieser Synthetisierung von Verhalten werden dabei Regeln und Zusammenhänge zugrundegelegt, die das Ziel haben, zu wirklichkeitsnahen, konsistenten und plausiblen Aktivitätenprogrammen zu führen (Eurotopp Consortium 1990). Mit diesem Vorgehen in der Modellierung ist die Hoffnung verbunden, die kausalen Zusammenhänge zwischen Wünschen und Bedürfnissen der Menschen und ihren äußeren Regimes und dem entstehenden Verkehr abbilden zu können.

Bei einer solchen Synthetisierung von Verhalten müssen somit letztlich die vielfältigen Grundstrukturen menschlichen Verhaltens verstanden und im Modell abgebildet werden (Brüggemann et al. 2003). Derzeit erfolgt dies beispielsweise dadurch, dass in genetischen Algorithmen modifizierte Tagesabläufe anhand einer Nutzenfunktion bewertet werden (Meister et al. 2006). Das Ziel dieses Ansatzes ist letztlich ein Multiagenten-Modell der Verkehrsnachfrage, in der die einzelnen Akteure individuelle Strategien verfolgen. Die Schwierigkeiten dabei bestehen darin, die Vielfältigkeit und Komplexität der Grundstrukturen menschlicher Entscheidungsstrukturen abbilden zu müssen. Nur dann können einerseits im Aggregat Kenngrößen der Verkehrsnachfrage und andererseits konsistentes und plausibles individuelles Verhalten realitätsnah abgebildet werden. Mit zunehmenden Modellzeitraum steigt zudem die Komplexität dieser Bildung von Verhalten deutlich an, da die Regeln, die Varianz und Stabilität des Verhaltens zugrunde liegen, erfasst und modelliert werden müssen.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass in Bezug auf Verkehrsentstehung und Zielwahl derzeit zwei Ansätze verfolgt werden: Der Übertrag von beobachtetem Verhalten auf Modellgebiete ist der stärker anwendungsorientierte Ansatz. Demgegenüber steht der Ansatz menschliches Verhalten synthetisch zu bilden.

Der im vorgestellten Modell eingesetzte GO-Algorithmus (Gringmuth 2006) bietet einen neuen Weg zwischen der Übertragung von Verhalten und der Synthetisierung von Verhalten: Mithilfe des GO-Algorithmus können empirisch erhobene Aktivitätenprogramme an andere Rahmenbedingungen, z.B. einen neuen räumlichen Bezug oder andere Budgetrestriktionen, angepasst werden. Damit sind zum einen intrapersonelle Konsistenz und Plausibilität des Verhaltens gewährleistet. Zusätzlich werden

die Konsistenzprobleme, die beim Übertrag von Verhalten in einen neuen räumlichen Kontext entstehen, gelöst. Intrapersonelle Stabilität bei der Zielwahl kann bei diesem Ansatz gewährleistet werden, indem Personen für bestimmte Aktivitäten über einen eingeschränkten Satz von Routinezielen verfügen. Darüber hinaus berücksichtigt dieser Ansatz Budgets und kann somit Verhaltensänderungen bei der Verkehrsentstehung, die durch neue Budgetrestriktionen entstehen, abbilden.

Diesem Ansatz, der später im Detail erläutert wird, liegt die Annahme zugrunde, dass die grundsätzlichen Aktivitätenwünsche und -bedürfnisse durch Maßnahmen im Verkehrssystem oder durch andere Rahmenbedingungen nicht maßgeblich verändert werden. Lediglich ob und wie die notwendigen oder erwünschten Aktivitäten ausgeführt werden, ist von Verkehrssystem und Rahmenbedingungen abhängig.

### **3.1.4 Verkehrsmittelwahl**

Bei der Verkehrsmittelwahl handelt es sich um eine diskrete Wahlentscheidung, bei der aus einem Satz verfügbarer Verkehrsmittel eines ausgewählt wird. Für die Modellierung solcher Entscheidungen werden üblicherweise nutzenmaximierende Discrete Choice Modelle eingesetzt (McFadden 2001). Der beobachtbare Nutzen der verschiedenen, zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel wird berechnet. Dabei gehen die Eigenschaften des Verkehrsangebots, im Modell üblicherweise repräsentiert durch Reisezeiten und -kosten, in die Nutzenberechnung ein. Anschließend werden auf Basis dieser Nutzenberechnung Wahlwahrscheinlichkeiten für die einzelnen Verkehrsmittel ermittelt (Ben-Akiva & Lerman 1985; Train 2003). Die Wahlwahrscheinlichkeiten sind somit abhängig vom Verkehrsangebot. Maßnahmen im Verkehrssystem, welche die Angebotseigenschaften ändern, schlagen sich in veränderten Wahlwahrscheinlichkeiten nieder. Daraus ergibt sich die Maßnahmesensitivität von Verkehrsmittelwahlmodellen.

Das im vorgestellten Nachfragemodell eingesetzte Verkehrsmittelwahlmodell baut auf diesem bewährten, nutzenmaximierenden Ansatz auf. Aus der Längsschnittorientierung des Modells ergeben sich jedoch Änderungen gegenüber herkömmlichen Modellformulierungen. Diese Änderungen bauen auf grundlegenden Annahmen zur Verkehrsmittelnutzung auf, die im Folgenden dargestellt werden, bevor Datenerfordernisse und Datenlage für die Verkehrsmittelwahl diskutiert werden.

#### **3.1.4.1 Grundannahmen für längsschnittorientierte Verkehrsmittelwahl**

Zielsetzung des erarbeiteten Verkehrsmittelwahlmodells ist Konsistenz im Längsschnitt und das richtige Maß an intrapersoneller Varianz und Stabilität. Vor diesem Hintergrund wurden der Modellierung der Verkehrsmittelwahl verschiedene Annahmen zugrunde gelegt:

Personen verfügen über individuelle Verkehrsmittel Choice-Sets: Diese Choice-Sets bezeichnen jeweils den Satz an verfügbaren Verkehrsmitteln, aus dem Verkehrsteilnehmer in einer konkreten Verkehrsmittelwahlsituation wählen (Train 2003). In vielen Fällen umfassen diese Choice-Sets weniger als die grundsätzlich zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel, z.B. weil einige Personen generell keinen ÖV nutzen. Diese Choice-Sets lassen sich im Vorfeld der eigentlichen Verkehrsmittelwahl modellieren. Verkehrsmittel-Choice-Sets repräsentieren die Kundenkreise der Verkehrsmittel. Sie sind damit in Hinblick auf die Abbildung hypothetischer Maßnahmebedingungen von Bedeutung. In vielen Fällen ändern sich Verkehrsmittel-Choice-Sets von Personen und die grundsätzlichen Verkehrsmittelkundenkreise infolge von Maßnahmen im Verkehrssystem kaum. Um die Auswirkungen von solchen Maßnahmen auf die Verkehrsmittelwahl und die Nachfrage nicht zu überschätzen, ist es deshalb sinnvoll, die Kundenkreise im Vorfeld der Verkehrsmittelwahl im Modell einzugrenzen.

Das Pendelverkehrsmittel nimmt bei Pendlern eine besondere Stellung ein: Es ist wegen der Nutzungshäufigkeit besonders bestimmend und wirkt sich auch auf andere Verkehrsmittelentscheidungen aus. Deshalb ist bei der Modellierung der Wahl des Verkehrsmittels für Nichtpendeltouren der Einfluss des Pendelverkehrsmittels zu beachten.

Personen haben bestimmte Verkehrsmittelvorlieben: Damit haben bei einzelnen Personen ungeachtet der situativen Rahmenbedingungen bestimmte Verkehrsmittel eine höhere Wahrscheinlichkeit, gewählt zu werden, als andere.

Verkehrsmittelwahl erfolgt in vielen Fällen routiniert: Routinierte Touren, die einander sehr ähnlich sind, haben eine vergleichsweise hohe Wahrscheinlichkeit mit demselben Verkehrsmittel durchgeführt zu werden.

Wege als Mitfahrer im Pkw stellen einen Sonderfall dar: Das Verkehrsmittel Pkw als Mitfahrer ist im Hinblick auf die bestimmenden Einflussgrößen bei der Verkehrsmittelwahl mit den anderen Verkehrsmitteln nicht vergleichbar. Deshalb ist die Entscheidung, als Mitfahrer im Pkw unterwegs zu sein, im wesentlichen von der jeweiligen Situation und weniger stark vom Verkehrsangebot abhängig. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, das Verkehrsmittel Pkw als Mitfahrer bei der Verkehrsmittelwahl getrennt von den Verkehrsmitteln MIV als Fahrer, Fuß, Fahrrad und ÖV zu behandeln.

#### **3.1.4.2 Erörterung der Datenlage**

Bei nutzenmaximierenden Discrete Choice Modellen gehen die Eigenschaften der Alternativen in die Berechnung des Nutzens der einzelnen Verkehrsmittel ein und schlagen sich damit in der Wahlwahrscheinlichkeit nieder. Als zentrale infrastrukturabhängige Größen fließen üblicherweise die jeweiligen Reisezeiten, -kosten oder auch andere Eigenschaften der Alternativen ein, die mit der Benutzung der Ver-

kehrsmittel auf bestimmten Quelle-Ziel Relationen verbunden sind. Dadurch, dass sich die Alternativen in Hinblick auf ihre Eigenschaften unterscheiden, ergeben sich je nach Relation unterschiedliche Wahlwahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Verkehrsmittel (Hensher et al. 2005).

Ein Datensatz, auf dessen Grundlage solche Modelle geschätzt werden können, muss somit die Eigenschaften der Alternativen beinhalten: Er muss für jeden Weg im Datensatz nicht nur Zeit und Kosten enthalten, die mit dem wirklich genutzten Verkehrsmittel aufgewendet wurden, sondern zusätzlich die Zeiten und Kosten, die bei der Nutzung aller anderen verfügbaren Verkehrsmittel jeweils hätten aufgewendet werden müssen.

Um die Eigenschaften der Alternativen ermitteln zu können, muss ein Erhebungsdatensatz geocodiert vorliegen, d.h. die Quellen und Ziele aller Wegen müssen adressengau oder zumindest zellgenau vorliegen. In den großen Erhebungen MOP und MiD ist dies nicht der Fall.

Im Datensatz der Befragung Erlangen 2005 lagen die Quellen und Ziele der Wege zellgenau vor. Auf dieser Basis wurden die Eigenschaften der Alternativen ergänzt. Da das entwickelte Verkehrsmittelwahlmodell auf Touren basiert, die i.d.R. aus mehreren Einzelwegen □ z.B. Hin- und Rückweg - bestehen, mussten die Eigenschaften der Alternativen jeweils für ganze Touren zusammengefasst werden. Die Ergänzung der Eigenschaften der Alternativen und die Zusammenfassung über die gesamten Touren erfolgte im Einzelnen wie folgt:

#### **Zeiten:**

- MIV-Fahrzeiten sind einem digitalen Netzmodell für Erlangen entnommen.
- ÖV-Fahrzeiten sind digitalen Fahrplänen entnommen.
- Als Summe von Zu- und Abgangszeit wurden im MIV 6 Minuten und im ÖV 10 Minuten angenommen.
- Wegzeiten zu Fuß und mit dem Fahrrad wurden die Entfernung im IV und entfernungsabhängige Geschwindigkeiten zugrundegelegt.
- Die Zusammenfassung der Zeiten für Touren erfolgte durch Summierung.

#### **Kosten:**

- Als vom Nutzer berücksichtigte Fahrtkosten im MIV wurden Ausgaben für Kraftstoff (Preis: 1,10 □ / Liter) bei einem angenommen Verbrauch von 8 Litern / 100 km zugrunde gelegt.
- Die Preise im ÖV (Einzelfahrschein bzw. Zeitkarte) sind den ÖV-Tarifen im Untersuchungsgebiet entnommen.
- Für die Verkehrsmittel zu Fuß und Fahrrad wurden keine Kosten angenommen.
- Die Zusammenfassung der Kosten für Touren erfolgte durch Summierung.

### Parkprobleme:

- Für den MIV wurde als zusätzliche Variable die Wahrscheinlichkeit, am Ziel des Weges keinen kostenfreien Parkplatz zu finden, berücksichtigt. Diese ergibt sich zellgenau aus der Befragung Erlangen, da hier von den Pkw-Nutzern erfragt wurde, wie sie am Ziel ihr Fahrzeug abgestellt haben.
- Die Zusammenfassung der Wahrscheinlichkeit kostenfreier Parkplätze an den verschiedenen Zielen einer Tour erfolgte für ganze Touren durch Multiplikation.
- Die Wahrscheinlichkeit keinen kostenfreien Parkplatz zu finden (Parkproblem) ergibt sich aus eins minus der Wahrscheinlichkeit einen kostenfreien Parkplatz zu finden.

Der mit diesen Daten zu den Eigenschaften der Alternativen ergänzte Datensatz wurde den vorgestellten Verkehrsmittelwahlmodellen als Schätzdatensatz überall dort zugrunde gelegt, wo die Eigenschaften der Alternativen notwendiger Modellinput waren. Die auf Basis dieses Schätzdatensatzes geschätzten Modelle sind somit bereits auf den Anwendungsfall Erlangen zugeschnitten. Der vorgestellte längsschnittorientierte Ansatz hat jedoch Allgemeingültigkeit.

Es zeigte sich zudem im Verlauf der Modellschätzung, dass die empirischen Befunde zur Verkehrsmittelwahl im Längsschnitt auf MOP-Datenbasis (siehe Abschnitt 2.3) auf die Modelle übertragbar waren, die anhand der Erlangen-Daten geschätzt wurden, obwohl letzteres eine Stichtagserhebung ist. Der Grund hierfür ist, dass es sich auch bei Stichtagserhebungen um Erhebungen mit Längsschnittkomponente handelt. Der Längsschnitt umfasst in diesem Fall zwar nur 24 Stunden, die grundsätzlichen Regeln, die für die Arbeit mit Längsschnittdaten gelten, haben jedoch auch bei Stichtagsdaten Gültigkeit.

### 3.2 Modellaufbau

Vor dem Hintergrund der Längsschnittorientierung des vorgestellten Modells wird der übliche Stufenaufbau der Verkehrsmodellierung neu geordnet und es werden neue Elemente eingeführt (Abbildung 12). Der Aufbau des Modells ist so strukturiert, dass längerfristige Entscheidungen oder Festlegungen, z.B. der Arbeitsplatz, vorab modelliert werden. Diese Festlegungen sind häufig entscheidend für die Stabilität des Verhaltens im Alltag (Axhausen & Widmer 2001). Das eigentliche Alltagsmobilitätsverhalten wird im Anschluss abgebildet (Scheduling und Verkehrsmittelwahl), wobei der Handlungsrahmen, der durch die längerfristigen Festlegungen vorgegeben ist, berücksichtigt wird.

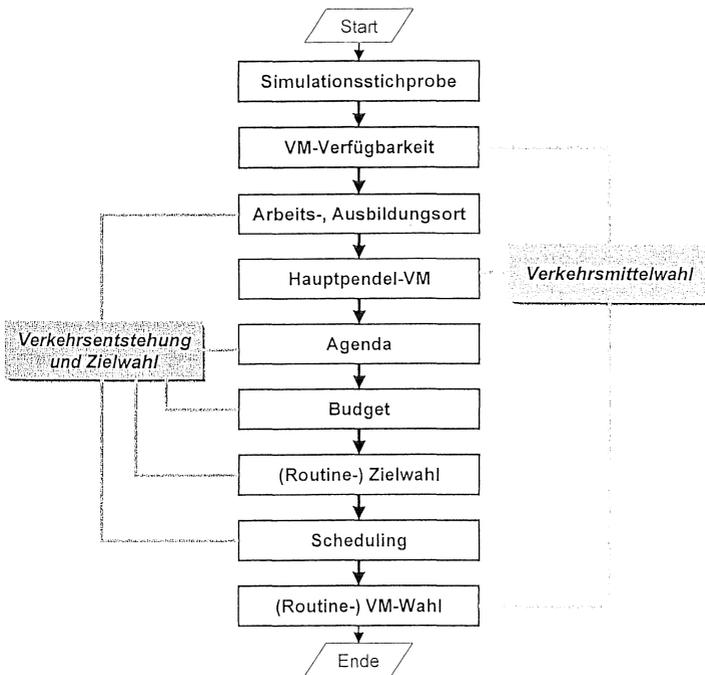


Abbildung 12: Modellaufbau

Dieser Modellaufbau führt dazu, dass Elemente, die sich dem Bereich 'Verkehrsentstehung und Zielwahl' zuordnen lassen, in verschiedene Modellstufen aufgeteilt sind. Dasselbe gilt für den Bereich 'Verkehrsmittelwahl'. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Modellstufen im Detail vorgestellt. Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 13 die Variablen, die dem Simulationsdatensatz in den jeweiligen Mo-

delistufen neu hinzugefügt werden, aufgeführt und der zugehörigen Ebene □ Haushalt, Person, Aktivität bzw. Weg □ zugeordnet.

Die einzelnen im Folgenden vorgestellten Modellschritte wurden zu einem Gesamtsimulationsmodell der Verkehrsnachfrage zusammengestellt. Da sich der Datensatz des MOP auf die Bevölkerung über 10 Jahren beschränkt, wird das Verkehrsverhalten von Kindern unter 10 im Rahmen der Modellierung nicht abgebildet.

	Simulationsstichprobe	VM-Verfügbarkeiten	Arbeits-, Ausbildungsort	Hauptpendel-VM	Agenda	Budget	Zielwahl	Scheduling	VM-Wahl
Haushalt	HH-Form	HH-Form	HH-Form	HH-Form	HH-Form	HH-Form	HH-Form	HH-Form	HH-Form
	Größe	Größe	Größe	Größe	Größe	Größe	Größe	Größe	Größe
	Zahl Kinder	Zahl Kinder	Zahl Kinder	Zahl Kinder	Zahl Kinder	Zahl Kinder	Zahl Kinder	Zahl Kinder	Zahl Kinder
	Anzahl Pkw	Anzahl Pkw	Anzahl Pkw	Anzahl Pkw	Anzahl Pkw	Anzahl Pkw	Anzahl Pkw	Anzahl Pkw	Anzahl Pkw
	Einkommen	Einkommen	Einkommen	Einkommen	Einkommen	Einkommen	Einkommen	Einkommen	Einkommen
	Geschlecht	Geschlecht	Geschlecht	Geschlecht	Geschlecht	Geschlecht	Geschlecht	Geschlecht	Geschlecht
Person	Alter	Alter	Alter	Alter	Alter	Alter	Alter	Alter	Alter
	Berufsstatus	Berufsstatus	Berufsstatus	Berufsstatus	Berufsstatus	Berufsstatus	Berufsstatus	Berufsstatus	Berufsstatus
	P-Rolle	P-Rolle	P-Rolle	P-Rolle	P-Rolle	P-Rolle	P-Rolle	P-Rolle	P-Rolle
	Führerschein	Führerschein	Führerschein	Führerschein	Führerschein	Führerschein	Führerschein	Führerschein	Führerschein
	ÖV-Nutzung	ÖV-Nutzung	ÖV-Nutzung	ÖV-Nutzung	ÖV-Nutzung	ÖV-Nutzung	ÖV-Nutzung	ÖV-Nutzung	ÖV-Nutzung
	Rad-Nutzung	Rad-Nutzung	Pol	Pol	Pol	Pol	Pol	Pol	Pol
Aktivität / Weg	Pendelentf.	Pendelentf.	Pendelentf.	Pendelentf.	Pendelentf.	Pendelentf.	Pendelentf.	Pendelentf.	Pendelentf.
	Pendel-VM	Pendel-VM	Pendel-VM	Pendel-VM	Pendel-VM	Pendel-VM	Pendel-VM	Pendel-VM	Pendel-VM
	Pendeldauer	Pendeldauer	Pendeldauer	Pendeldauer	Pendeldauer	Pendeldauer	Pendeldauer	Pendeldauer	Pendeldauer
	ÖV-Zeitkarte	ÖV-Zeitkarte	ÖV-Zeitkarte	ÖV-Zeitkarte	ÖV-Zeitkarte	ÖV-Zeitkarte	ÖV-Zeitkarte	ÖV-Zeitkarte	ÖV-Zeitkarte
	Budget-index								
					Zweck	Zweck	Zweck	Zweck	Zweck
				Zeitfenster	Zeitfenster	Zeitfenster	Zeitfenster	Zeitfenster	
				orig. Zeitpunkt					
						mögl. Ziele			
							Ziel	Ziel	
							Entfernung	Entfernung	
								Verkehrsmittel	

Abbildung 13: Variablen im Modell nach Modellstufe und Haushalts-, Personen- oder Wege-/Aktivitätenebene

### 3.2.1 Simulationsstichprobe

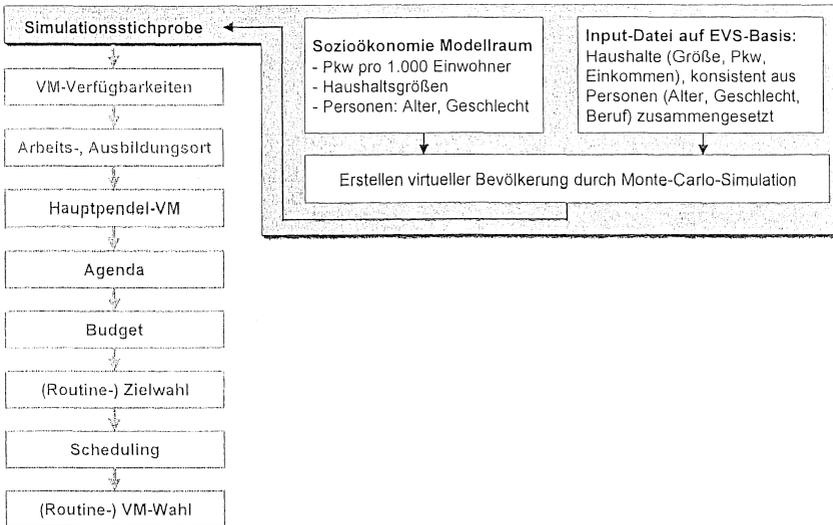


Abbildung 14: Erzeugung der Simulationsstichprobe im Überblick

Im Rahmen der Erzeugung der Simulationsstichprobe werden konsistente Haushalte gebildet, die sich sinnvoll aus Einzelpersonen zusammensetzen und plausible Kombinationen von Haushaltscharakteristika aufweisen. Darüber hinaus repräsentiert die Simulationsstichprobe die Bevölkerung im simulierten Untersuchungsgebiet in Hinblick auf soziodemografische Merkmale, für die Sollverteilungen aus Sekundärstatistiken verfügbar sind. Der Pkw-Besitz ist eine der wichtigsten Einflussgrößen auf die Alltagsmobilität. Da das Kraftfahrt-Bundesamt kleinräumige Angaben zur Zahl der zugelassenen Pkw zur Verfügung stellt, ist es deshalb sinnvoll, auch den Pkw-Besitz bei der Erzeugung der Simulationsstichprobe zu berücksichtigen.

Zur Bildung der Simulationsstichprobe können verschiedene erprobte Methoden eingesetzt werden (Manz 2005; Zumkeller 1989). Das im vorliegenden Fall gewählte Verfahren zieht aus einem umfassenden Haushalts- und Personendatensatz, dessen Basis die Einkommens- und Verbrauchsstichprobe EVS bildet, im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation Haushalte einschließlich aller Haushaltsmitglieder. In diesen Monte-Carlo-Prozess wird durch Klassenbildung (Haushaltsgröße und Pkw-Besitz des Haushalts) und Gewichtung steuernd eingegriffen, so dass die sozioökonomischen Verteilungen der simulierten Bevölkerung wiedergegeben werden.

### 3.2.2 Verkehrsmittelverfügbarkeiten

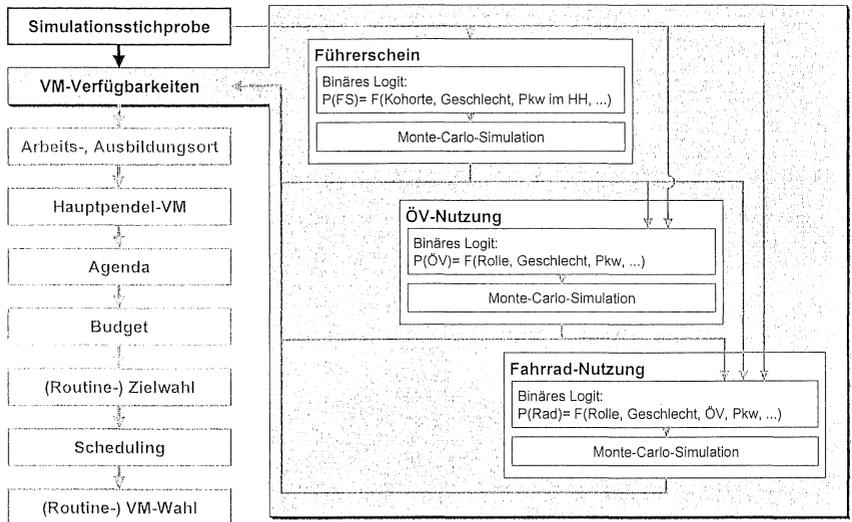


Abbildung 15: Modellierung der Verkehrsmittelverfügbarkeiten im Überblick

In dieser Modellstufe werden die Verkehrsmittel-Choice-Sets der Personen in der Simulationsstichprobe definiert. Dies geschieht vor dem Hintergrund des empirischen Befundes, dass Verkehrsteilnehmer oft nur über eingeschränkte Choice-Sets und nicht über alle Verkehrsmittel verfügen. Dabei können diesen Choice-Sets sowohl subjektive als auch objektive Kriterien zugrunde liegen.

Bei der Modellierung der Verkehrsmittelverfügbarkeiten gilt die Annahme, dass die Verkehrsmittel [zu Fuß] und [MIV als Mitfahrer] im Grundsatz jedem zur Verfügung stehen. Deshalb werden in dieser Modellstufe Führerscheinbesitz, grundsätzliche ÖV-Verfügbarkeit bzw. Bereitschaft zur ÖV-Nutzung und der Fahrradbesitz modelliert. Bei der späteren Verkehrsmittelwahl für einzelne Touren können die Personen im Modell nur aus den ihnen zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln auswählen. Das heißt, es müssen dann jeweils personenspezifisch die Choice-Sets berücksichtigt werden.

Als Schätzdatensatz zur Modellierung der Choice-Sets wurden die Daten von MiD 2002 gewählt, da hier die Befragten nach ihren grundsätzlichen Verkehrsmittelnutzungsgewohnheiten befragt wurden, was für die Modellierung der ÖV-Verfügbarkeit notwendig war. In MiD sind jedoch die spezifischen Eigenschaften des Verkehrssystems, das heißt des Infrastrukturangebots am Wohnort der Befragten, nicht enthalten. Die Infrastruktur konnte somit im Modell nur durch die raumtyp-beschreibende Variable [Einwohnerzahl] angenähert werden.

In der Modellstufe "Verkehrsmittelverfügbarkeiten" werden in gestaffelten, binären Logit-Modellen die Wahrscheinlichkeiten der Verfügbarkeit der verschiedenen Verkehrsmittel ermittelt. Anschließend erfolgt jeweils die Zuweisung der Verkehrsmittelverfügbarkeit in einer Monte-Carlo-Simulation.

Die Hierarchie dieser Logit-Modelle, bei der die Pkw-Verfügbarkeit an erster Stelle steht, ergibt sich zum einen daraus, dass die Pkw-Verfügbarkeit den deutlichsten Einfluss auf individuelle Mobilität hat. Darüber hinaus ist in der Simulationsstichprobe der Pkw-Besitz des Haushalts enthalten. Damit ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass der Führerscheinbesitz und damit die Verfügbarkeit des wichtigen Verkehrsmittels Pkw richtig zugewiesen wird.

Auf die Pkw-Verfügbarkeit folgt die Modellierung der ÖV-Verfügbarkeit, wobei hier bereits einfließen kann, ob eine Person einen Pkw zur Verfügung hat oder nicht. Im letzten Schritt wird die Verfügbarkeit eines Fahrrades modelliert, wobei hier die Ergebnisse beider vorhergehender Modellstufen (Pkw-Verfügbarkeit und ÖV-Verfügbarkeit) einfließen.

Als erklärende sozioökonomische Größen kommen in den verschiedenen Modellen stets ähnliche Variablen zum Einsatz, um die Modelle vergleichbar zu halten. Bei Regressionen mit Klassenvariablen ist zur einfacheren Interpretation die Definition eines Referenzfalls sinnvoll. Auch dieser Referenzfall ist in allen Modellen der selbe: Ein erwerbstätiger Mann zwischen 40 und 50, der in einer mittelgroßen Stadt (50.000 bis 100.000 Einwohner) lebt, sich einen Pkw mit anderen Personen im Haushalt teilt und in dessen Haushalt Schulkinder leben. Die Parameterschätzwerte geben bei den Logit-Modellen jeweils an, wie sich die Nutzenfunktion gegenüber diesem Referenzfall verändert, wenn eine erklärende Variable eine andere Ausprägung annimmt.

Im folgenden werden die Ergebnisse der Logit-Modelle zur Verkehrsmittelverfügbarkeit erörtert, die in den Tabellen auf den Seiten 47 bis 49 im Detail aufgeführt sind.

### 3.2.2.1 Pkw-Verfügbarkeit

Da über die Haushalte in der Simulationsstichprobe bereits die Information über den Pkw-Besitz vorliegt, muss das Modell zur Pkw-Verfügbarkeit den Personen in den Haushalten lediglich einen Führerschein zuweisen, wobei nur Volljährige in Betracht kommen. Daraus ergibt sich ein hoher Erklärungsgehalt des Modells (Tabelle 11): Erwachsene haben in Haushalten mit Pkw so gut wie immer einen Führerschein. So ist der Pkw-Besitz des Haushaltes im multivariaten Modell auch die bestimmende Variable. Dies erklärt auch, weshalb der Raumtyp (Einwohnerzahl) bei der multivariaten Analyse kaum signifikanten Einfluss auf den Führerscheinbesitz hat, obwohl in Großstädten mehr Menschen ohne Führerschein leben, wie die deskriptive Analyse

zeigt. Diejenigen ohne Führerschein in den Großstädten leben in Haushalten ohne Pkw.

Der Führerscheinbesitz ist neben Pkw-Besitz und Raumtyp auch durch das Geschlecht und das Alter bzw. die Jahrgangskohorte beeinflusst: Im MiD-Erhebungsjahr 2002 hatten Personen unter 30 eine geringere Wahrscheinlichkeit, einen Führerschein zu besitzen. Dies ist ein Altersstruktureffekt, da von diesen Personen noch nicht alle Führerscheinkandidaten ihre Fahrerlaubnis erworben haben. Es ist zu erwarten, dass dieser Effekt auch zukünftig beobachtet werden kann.

Demgegenüber hatten 2002 auch ältere Menschen, insbesondere Frauen, eine deutlich geringere Führerscheinbesitzwahrscheinlichkeit. Dies ist eher ein Kohorteneffekt, da diese Personen vielfach ihr Leben lang ohne Führerschein gelebt haben. In den nachrückenden Generationen älterer Menschen wird der Führerscheinbesitz weit stärker verbreitet sein.

Das Modell ist so gestaltet, dass bei der Anwendung für unter 40-Jährige Altersstruktureffekte und für Ältere Kohorteneffekte zum Tragen kommen. Dies ermöglicht eine sinnvolle Abbildung des Führerscheinbesitzes zu zukünftigen Prognosehorizonten, wie im Anwendungsfall Erlangen 2020.

### **3.2.2.2 ÖV-Nutzung**

Tabelle 12 stellt die Ergebnisse der Analyse und Modellierung der generellen ÖV-Nutzung dar, wobei hier die Pkw-Verfügbarkeit bereits als erklärende Variable einfließt: Je einfacher verfügbar ein Pkw ist, desto unwahrscheinlicher ist es, dass eine Person den ÖV nutzt. Wie erwartet, steigt mit zunehmender Größe der Stadt die Wahrscheinlichkeit der ÖV-Nutzung. Im Vergleich zu Männern haben Frauen eine etwas höhere Wahrscheinlichkeit der ÖV-Nutzung. In Bezug auf die Rolle der Person lässt sich feststellen, dass Personen in Ausbildung eine deutlich erhöhte Wahrscheinlichkeit der ÖV-Nutzung haben. Mit Ausnahmen zeigt sich, dass die ÖV-Nutzung bei Alleinlebenden in der Tendenz etwas größer ist, als bei Personen aus Mehrpersonenhaushalten. Dies deckt sich mit anderen empirischen Befunden (von der Ruhren et al. 2004).

### **3.2.2.3 Fahrradverfügbarkeit**

In Tabelle 13 sind die Befunde zur Fahrradverfügbarkeit zusammengestellt. Fahrradbesitz ist hiernach besonders eine Sache der Familien. Schüler und Erwachsene in Haushalten mit Schülern weisen im Vergleich die höchste Wahrscheinlichkeit des Fahrradbesitzes auf. Bei Rentnern ist die Fahrradbesitzwahrscheinlichkeit besonders gering. Ebenso ist die Wahrscheinlichkeit des Fahrradbesitzes in Großstädten geringer als in anderen Raumtypen.

<b>Modellbeschreibung Führerscheinbesitz</b>			
Modellierte Wahrscheinlichkeit	Führerscheinbesitz = JA		
Datensatz	MiD		
Modell	Logitregression (binär)		
<b>Beobachtungen und Verteilung im Datensatz [MiD; gewichtet]</b>			
Führerscheinbesitz	N		%
Kein Führerschein	7161		16
Führerschein	37856		84
<b>Statistiken zur Modellanpassung</b>			
Maß	Formel	Wert	
Log Likelihood	-	-13151,2	
Likelihood Ratio (R)	$2 * (\text{LogL} - \text{LogL0})$	36104,1	
Upper Bound of R (U)	$-2 * \text{LogL0}$	62406,5	
McFadden's LRI	R / U	0,5785	
Variablen / Konstanten	Führerscheinbesitz [%] (deskriptiv)	Parameter-schätzwert (Logit)	Pr > ChiSq (Logit)
<b>Konstante</b>		3,420	<,001
<b>EWZAHL (Einwohnerzahl)</b>			
1: Unter 2.000	88	-0,110	0,202
2: 2.000 bis unter 5.000	86	-0,236	0,001
3: 5.000 bis unter 20.000	87	0,007	0,907
4: 20.000 bis unter 50.000	85	-0,001	0,987
5: 50.000 bis unter 100.000 [Referenz]	85		
6: 100.000 bis unter 500.000	80	-0,113	0,068
7: Über 500.000	79	0,081	0,213
<b>PKW (Pkw im Haushalt)</b>			
0: Kein Pkw im Haushalt	38	-2,659	<,001
1: Pkw im Haushalt [Referenz]	92		
<b>SEX (Geschlecht)</b>			
1: Männlich [Referenz]	92		
2: Weiblich	77	-0,766	<,001
<b>JAHRGKL (Jahrgangsklasse, Alter)</b>			
2: 1984 - 1973 (18 bis 29)	88	-0,566	<,001
3: 1972 - 1963 (30 bis 39)	95	0,355	<,001
4: 1962 - 1953 (40 bis 49) [Referenz]	92		
5: 1952 - 1943 (50 bis 59)	88	-0,243	0,023
6: 1942 - 1933 (60 bis 69)	79	-0,247	0,017
7: 1932 - 1923 (70 bis 79)	63	-0,760	<,001
8: 1922 und davor (80 und älter)	39	-1,202	<,001
<b>JAHRGKL*SEX</b>			
2: 1984 - 1973 (18 bis 29) & 2: weiblich		0,461	<,001
3: 1972 - 1963 (30 bis 39) & 2: weiblich		0,333	0,015
5: 1952 - 1943 (50 bis 59) & 2: weiblich		-0,388	0,003
6: 1942 - 1933 (60 bis 69) & 2: weiblich		-1,100	<,001
7: 1932 - 1923 (70 bis 79) & 2: weiblich		-0,969	<,001
8: 1922 und davor (80 und älter) & 2: weiblich		-0,799	<,001

Tabelle 11: Logit-Modell Führerscheinbesitz

<b>Modellbeschreibung ÖV-Nutzung</b>			
Modellierte Wahrscheinlichkeit	generelle ÖV-Nutzung = JA		
Datensatz	MiD		
Modell	Logitregression (binär)		
<b>Beobachtungen und Verteilung im Datensatz [MiD; gewichtet]</b>			
ÖV-Nutzung	N		%
Keine ÖV-Nutzung	15286		36
ÖV-Nutzung	27347		64
<b>Statistiken zur Modellanpassung</b>			
<b>Maß</b>	<b>Formel</b>		<b>Wert</b>
Log Likelihood	-		-24093,9
Likelihood Ratio (R)	$2 * (\text{LogL} - \text{LogL0})$		10914,5
Upper Bound of R (U)	$-2 * \text{LogL0}$		59102,4
McFadden's LRI	R / U		0,1847
<b>Variablen / Konstanten</b>			
<b>Konstante</b>		0,506	<0,001
<b>EWZAHL (Einwohnerzahl)</b>			
1: Unter 2.000	53	-0,788	<0,001
2: 2.000 bis unter 5.000	55	-0,745	<0,001
3: 5.000 bis unter 20.000	60	-0,488	<0,001
4: 20.000 bis unter 50.000	63	-0,318	<0,001
5: 50.000 bis unter 100.000 [Referenz]	69	-	-
6: 100.000 bis unter 500.000	78	0,400	<0,001
7: Über 500.000	87	1,024	<0,001
<b>SEX (Geschlecht)</b>			
1: Männlich [Referenz]	61	-	-
2: Weiblich	66	0,106	<0,001
<b>ROLLE (Rolle der Person)</b>			
01: Schüler	91	0,966	<0,001
02: In Ausbildung >18	86	1,283	<0,001
03: Erwerbstätige Singles	66	0,294	<0,001
04: Nichterwerbstätige Singles	72	0,222	0,008
05: Erwerbstätige in HH mit Kleinkindern	51	-0,091	0,058
06: Nichterwerbstätige in HH mit Kleinkindern	67	-0,164	0,002
07: Erwerbstätige in HH nur mit Schulkindern [Referenz]	54	-	-
08: Nichterwerbstätige in HH nur mit Schulkindern	86	0,772	<0,001
09: Erwerbstätig in HH ohne Kinder	58	0,052	0,180
10: Nichterwerbstätige in HH ohne Kinder	56	-0,202	<0,001
11: Rentner in Rentner-HH	57	-0,301	<0,001
12: Alleinstandende Rentner	69	-0,187	<0,001
<b>PKWVERF (Pkw-Verfügbarkeit)</b>			
0: Kein Führerschein	89	1,0243	<0,001
1: Führerschein, kein Pkw im Haushalt	86	0,9904	<0,001
2: Geteilter Pkw [Referenz]	61	-	-
3: Persönlicher Pkw	52	-0,3806	<0,001

Tabelle 12: Logit-Modell ÖV-Nutzung

<b>Modellbeschreibung Fahrradverfügbarkeit</b>			
Modellierte Wahrscheinlichkeit	Fahrrad = JA		
Datensatz	MiD		
Modell	Logitregression (binär)		
<b>Beobachtungen und Verteilung im Datensatz [MiD; gewichtet]</b>			
<b>Fahrradverfügbarkeit</b>	<b>N</b>		<b>%</b>
Kein Fahrrad verfügbar	10043		24
Fahrrad verfügbar	32591		76
<b>Statistiken zur Modellanpassung</b>			
<b>Maß</b>	<b>Formel</b>		<b>Wert</b>
Log Likelihood	-		-20996,3
Likelihood Ratio (R)	2 * (LogL - LogL0)		17109,7
Upper Bound of R (U)	- 2 * LogL0		59102,4
McFadden's LRI	R / U		0,2895
<b>Statistiken zur Modellanpassung (detailliert)</b>			
Variablen / Konstanten	Anteil mit Fahrrad [%] (deskriptiv)	Parameter- schätzwert (Logit)	Pr > ChiSq (Logit)
<b>Konstante</b>		1,804	<0,001
<b>EWZAHL (Einwohnerzahl)</b>			
1: Unter 2.000	71	0,298	<0,001
2: 2.000 bis unter 5.000	71	0,242	<0,001
3: 5.000 bis unter 20.000	71	0,242	<0,001
4: 20.000 bis unter 50.000	70	0,200	<0,001
5: 50.000 bis unter 100.000 [Referenz]	68	-	-
6: 100.000 bis unter 500.000	65	-0,075	0,098
7: Über 500.000	65	-0,064	0,186
<b>SEX (Geschlecht)</b>			
1: Männlich	79	-	-
2: Weiblich	74	-0,092	<0,001
<b>ROLLE (Rolle der Person)</b>			
01: Schüler	86	0,393	<0,001
02: In Ausbildung >18	77	-0,670	<0,001
03: Erwerbstätige Singles	77	-0,680	<0,001
04: Nichterwerbstätige Singles	66	-1,042	<0,001
05: Erwerbstätige in HH mit Kleinkindern	85	-0,204	0,002
06: Nichterwerbstätige in HH mit Kleinkindern	64	-0,257	<0,001
07: Erwerbstätige in HH nur mit Schulkindern [Referenz]	87	-	-
08: Nichterwerbstätige in HH nur mit Schulkindern	70	0,511	<0,001
09: Erwerbstätig in HH ohne Kinder	81	-0,476	<0,001
10: Nichterwerbstätige in HH ohne Kinder	76	-0,708	<0,001
11: Rentner in Rentner-HH	68	-1,062	<0,001
12: Alleinstehende Rentner	42	-1,883	<0,001
<b>PKWVERF (Pkw-Verfügbarkeit)</b>			
0: Kein Führerschein	46	-0,8009	<0,001
1: Führerschein, kein Pkw im Haushalt	66	-0,3841	<0,001
2: Geteilter Pkw [Referenz]	82	-	-
3: Persönlicher Pkw	79	-0,096	0,0051
<b>OEVNUTZ (Nutzung des ÖV)</b>			
0: Keine ÖV-Nutzung	75	-	-
1: ÖV-Nutzung	65	0,3438	<0,001

Tabelle 13: Logit-Modell Fahrradverfügbarkeit

### 3.2.3 Arbeits- und Ausbildungsort

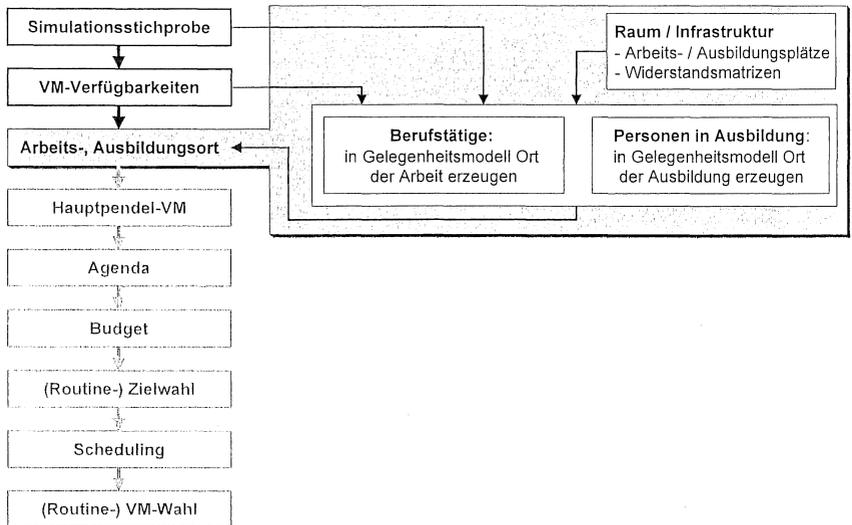


Abbildung 16: Zielwahlmodell Arbeits- und Ausbildungsort im Überblick

Hier erfolgt die Zielwahl für einen Arbeits- bzw. Ausbildungsplatz, der bei vielen Menschen neben dem Wohnort einen weiteren wichtigen Pol im Alltagsleben darstellt (Waßmuth 2001). Diese Zielwahl wird nach der Zuordnung der Verkehrsmittelverfügbarkeiten durchgeführt, da die Pkw-Verfügbarkeit hier deutlichen Einfluss hat. Der Ermittlung der Wahlwahrscheinlichkeit der einzelnen Zielzellen liegt ein übliches Attraktivitätenmodell der folgenden Form zugrunde (Schnabel & Lohse 1997):

$$P_{ij} = \frac{\frac{G_i}{w_{ij}^{\alpha_k}}}{\sum_i \frac{G_i}{w_{ij}^{\alpha_k}}} \quad [\text{GL. 6}]$$

Mit:  $P_{ij}$  Wahlwahrscheinlichkeit der Zelle i für Personen aus Zelle j  
 $G_i$  Anzahl passender Gelegenheiten (Arbeitsplätze, Schulen bzw. andere Ausbildungsorte) in Zelle i  
 $w_{ij}$  Reisewiderstand zwischen den Zellen i und j  
 (gewählt:  $w_{ij} = \max[10 \text{ Minuten, Fahrzeit ÖV in Minuten}]$ )  
 $\alpha_k$  Exponent, differenziert nach Personengruppen k (Arbeit, Ausbildung, mit Pkw, ohne Pkw)

In einer anschließenden Monte-Carlo-Simulation wird jedem Pendler eine Verkehrszelle für den Arbeits- oder Ausbildungsplatz (Polzelle) zugewiesen.

### 3.2.4 Hauptpendelverkehrsmittel

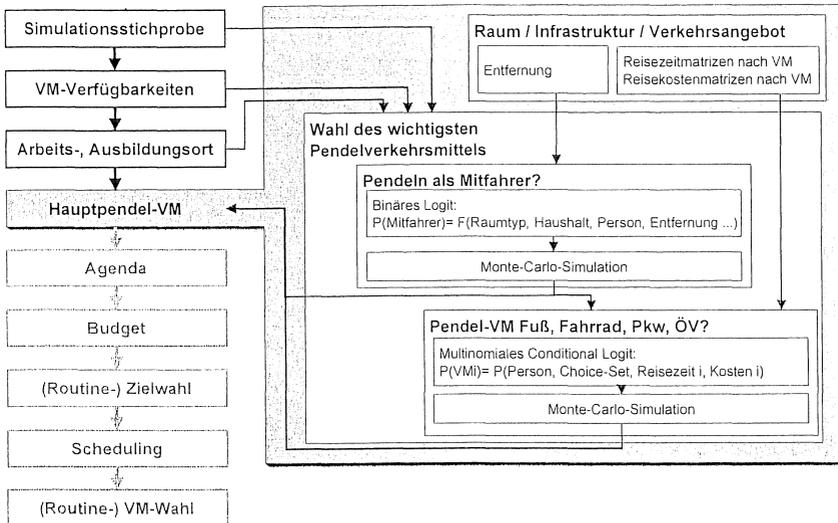


Abbildung 17: Wahl des Hauptpendelverkehrsmittels im Überblick

Nach Bestimmung des Arbeits- bzw. Ausbildungsortes erfolgt die Modellierung des wichtigsten Pendelverkehrsmittels, die sich in zwei Teilschritte gliedert: Zunächst wird bestimmt, ob die Personen in der Simulationsstichprobe als Mitfahrer pendeln. Für alle, die nicht als Mitfahrer pendeln, wird anschließend ein anderes Pendelverkehrsmittel bestimmt. Zur Bestimmung der Wahlwahrscheinlichkeiten kommen dabei jeweils Logit-Modelle zum Einsatz. Die Zuordnung des Pendelns als Mitfahrer oder eines anderen Pendelverkehrsmittels erfolgt anschließend jeweils durch Monte-Carlo-Simulation.

Nach der Zuordnung des wichtigsten Pendelverkehrsmittels kann auch der ÖV-Zeitkartenbesitz sinnvoll modelliert werden. Personen, die mit dem ÖV pendeln, wird eine Zeitkarte zugeordnet. Für alle anderen Verkehrsteilnehmer in der Simulationsstichprobe wird in einem binären Logit-Modell die Wahrscheinlichkeit des Zeitkartenbesitzes ermittelt und auf dieser Basis anschließend eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt.

Die Modelle zur Wahl des wichtigsten Pendelverkehrsmittels werden im Folgenden näher erläutert. Die Ergebnisse der Modelle sind im Einzelnen in den Tabellen auf den Seiten 55 und 56 zusammengestellt.

### 3.2.4.1 Pendelverkehrsmittel MIV als Mitfahrer

8% der deutschen Pendler pendeln als Mitfahrer. Auf Basis des Befragungsdatensatzes Erlangen (~ 3% Mitfahrpendler) konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen konkretem Verkehrsangebot (Fahrzeiten alternativer Verkehrsmittel) und der Wahrscheinlichkeit des Pendelns als Mitfahrer nachgewiesen werden. Dies rechtfertigt die Annahme, dass das Pendeln als Mitfahrer in Erlangen deutlich stärker durch andere Rahmenbedingungen beeinflusst wird. Die Gelegenheit, den Pendelweg als Mitfahrer zu erledigen, z.B. weil ein Kollege in der Nachbarschaft wohnt, dürfte von größerer Bedeutung sein als z.B. die Fahrdauer mit dem Alternativverkehrsmittel ÖV.

Die spezielle Stärke des kleinen Erlangen-Datensatzes, der die Eigenschaften der Alternativen beinhaltet, spielte bei der Modellierung des Pendelverkehrsmittels Mitfahrer damit keine signifikante Rolle. Somit konnte bei diesem Modell auf den umfangreicheren Datensatz des MOP ausgewichen werden. Die Ergebnisse dieses Modells sind in Tabelle 14 zusammengestellt.

Es zeigt sich, dass Mitfahren auf dem Land deutlich weiter verbreitet ist als in der Stadt. Dies ist ein Hinweis darauf, dass das Verkehrsangebot durchaus eine Rolle spielt, auch wenn dies anhand des kleineren, städtischen Erlangen-Datensatzes nicht konkret nachgewiesen werden konnte. Frauen sowie Singles und Erwerbstätige ohne Kinder haben eine höhere Wahrscheinlichkeit, als Mitfahrer zu Pendeln. Ist der Zugriff auf einen Pkw einfach, wird das Pendeln als Mitfahrer unwahrscheinlich. Das selbe gilt bei kurzen Pendelwegen.

### 3.2.4.2 Pendelverkehrsmittel zu Fuß, Fahrrad, MIV als Fahrer, ÖV

Die überwiegende Mehrwert der Pendler nutzt für den Weg zum Arbeits- oder Ausbildungsplatz eines der Verkehrsmittel zu Fuß, Fahrrad, MIV als Fahrer oder den ÖV. Zur Modellierung einer Verkehrsmittelwahlentscheidung ist unter Berücksichtigung des Verkehrsinfrastrukturangebots ein nutzenmaximierendes Discrete Choice Modell geeignet, in das die Eigenschaften der Alternativen eingehen. Im vorliegenden Fall wurde ein Conditional Logit Modell gewählt, bei dem sich die Wahlwahrscheinlichkeit folgendermaßen berechnet (Ben-Akiva & Lerman 1985):

$$P_{n,i} = \frac{e^{U_{n,i}}}{\sum_1 e^{U_{n,i}}} \quad [\text{GL. 7}]$$

Mit:  $P_{n,i}$                       Wahlwahrscheinlichkeit des Verkehrsmittels  $i$  für Person  $n$   
 $U_{n,i}$                       Nutzen des Verkehrsmittels  $i$  für Person  $n$

Die Nutzen der einzelnen Verkehrsmittel errechnen sich dabei wie folgt:

$$\begin{aligned}
 U_{ni} = & \beta_i \\
 & + \beta_{AS_j} AS_{i,j} + \beta_{AS_{j+1}} AS_{i,j+1} + \dots \\
 & + \beta_{ZEIT} Zeit_i + \beta_{KOSTEN} Kosten_i
 \end{aligned}
 \quad [GL. 8]$$

Mit:	$U_{ni}$	Nutzen des Verkehrsmittels i für Person n
	$\beta_i$	Konstante des Verkehrsmittels i
	$\beta_{AS_j}$	Koeffizienten der alternativen-spezifischen Variablen $AS_j$
	$AS_{i,j}$	Alternativenspezifische Variablen j des Verkehrsmittel i
	$\beta_{ZEIT}$	Koeffizient der Alternativeneigenschaft Reisezeit
	$Zeit_i$	Alternativeneigenschaft Reisezeit des Verkehrsmittel i
	$\beta_{KOSTEN}$	Koeffizient der Alternativeneigenschaft Reisekosten
	$Kosten_i$	Alternativeneigenschaft Reisekosten des Verkehrsmittel i

Als Schätzdatensatz wurden die Daten der Befragung Erlangen 2005 zugrunde gelegt, welche die Eigenschaften der Alternativen für die Relation Wohnzelle-Polzelle enthalten. Als Fahrkosten im MIV und als Fahrzeiten lagen die in Abschnitt 3.1.4 dargestellten Annahmen zugrunde. Zur Berechnung des ÖV-Fahrpreises wurden der Monatskartenpreis geteilt durch eine zweimalige Nutzung an 20 Arbeitstagen pro Monat angenommen. Die Modellierung des Pendelverkehrsmittels erfolgte auf Tourenbasis, d.h. es wurden die Eigenschaften der Alternativen für die direkte Tour Wohnen-Arbeit-Wohnen zugrunde gelegt.

Das Ergebnis der Modellierung des Pendelverkehrsmittels ist in Tabelle 15 aufgeführt. Auffällig ist der hohe Modal Split Anteil des Fahrrads in Erlangen und die geringe Bedeutung des Pkw als Pendelverkehrsmittel. Insgesamt erreicht das Modell mit  $LRI = 0,49$  einen vergleichsweise hohen Erklärungsgehalt.

Verkehrsmittel, die im Choice-Set einer Person nicht zur Verfügung standen, wurden durch eine alternativen-spezifische Variable gekennzeichnet. Wie das Ergebnis in Tabelle 16 zeigt, wirkt sich das Fehlen eines Verkehrsmittels im individuellen Choice-Set stark negativ in der Nutzenfunktion dieses Verkehrsmittels aus. Das wiederum führt dazu, dass die Wahlwahrscheinlichkeit verschwindend wird.

Die zur Kennzeichnung im Choice-Set nicht vorhandener Verkehrsmittel notwendige Information über die grundsätzliche ÖV-Nutzung von Personen war im Erlangen-Datensatz zunächst nicht enthalten. Deshalb wurde auf Basis von MiD-Daten (ebenfalls eine Stichtagserhebung) in einem Modell (Binäres Logit) geschätzt, welcher Anteil derjenigen, die an einem Stichtag keinen ÖV nutzen, zu den dauerhaften ÖV-Nichtnutzern gehört. Dieses Modell wurde auf die Erlangen-Daten angewendet. Das heißt, unter denjenigen Erlangern, die am Stichtag keinen ÖV nutzten, wurden durch Modellierung und Simulation einige zu dauerhaften ÖV-Nichtnutzern bestimmt. Diesen Personen stand dann im Datensatz, welcher der Schätzung des Verkehrsmittelwahlmodells zugrunde gelegt wurde, kein ÖV zur Verfügung. Auf diese Weise konnte

ein Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt werden, das individuell verschiedene Choice-Sets berücksichtigt.

Die Parameterschätzwerte der übrigen alternativenspezifischen Variablen lassen sich wie folgt interpretieren:

- Studenten haben eine höhere Wahrscheinlichkeit, mit dem Fahrrad zu pendeln.
- Erwerbstätige und Personen mit persönlichem Pkw haben eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, mit dem Pkw zu pendeln.
- Parkplatzprobleme in der Zielzelle spielen bei Pendelwegen insgesamt keine signifikante Rolle. Dies ist darauf zurückzuführen, dass viele Pendler am Arbeitsplatz einen festen Parkplatz zur Verfügung haben und allgemeine Parkplatznot in einer Verkehrszelle Personen, die in dieser Zelle arbeiten, oft nur wenig betrifft.
- Der ÖV kommt auf kurzen Entfernungen (einfacher Weg  $< 2$  km ) weniger in Frage.
- Demgegenüber steigt die Wahrscheinlichkeit der Nutzung motorisierter Verkehrsmittel bei längeren Entfernungen (einfacher Weg  $> 2$  km) stärker, als dies durch zusätzliche Zeitaufwendungen erklärt werden kann.

Die Parameterschätzwerte für Zeit und Kosten sind schwieriger zu interpretieren: Es konnte eine deutlich höhere Modellgüte erreicht werden, wenn die Reisezeit nicht linear, sondern als Wurzel aus der Reisezeit eingeht. Das bedeutet, dass die Reisezeit je nach Länge des Weges unterschiedlich bewertet wird. Bei kurzen Wegen geht jede Minute zusätzliche Reisezeit wesentlich stärker negativ in die Nutzenfunktion ein als bei längeren Wegen. Dies entspricht auch der Alltagserfahrung. In Bezug auf die Reisekosten war eine solche Nichtlinearität im vorliegenden Datensatz nicht zu beobachten. Dies führt dazu, dass der Zeitkostensatz, d.h. die Bewertung jeder zusätzlichen Stunde Reisezeit in Euro, über die Gesamtreisezeit variiert und bei kurzen Wegen höher ausfällt.

<b>Modellbeschreibung Mitfahrpendeln</b>			
Modellierte Wahrscheinlichkeit	Pendeln als Mitfahrer = JA		
Datensatz	MOP		
Modell	Logitregression (binär)		
<b>Beobachtungen und Verteilung im Datensatz [MOP; gewichtet]</b>			
<b>Pendeln</b>	<b>N</b>	<b>%</b>	
Nicht als Mitfahrer	7847	92	
Als Mitfahrer	639	8	
<b>Statistiken zur Modellanpassung</b>			
<b>Maß</b>	<b>Formel</b>	<b>Wert</b>	
Log Likelihood	-	-2141,0	
Likelihood Ratio (R)	2 * (LogL - LogL0)	7481,7	
Upper Bound of R (U)	- 2 * LogL0	11763,6	
McFadden's LRI	R / U	0,6360	
<b>Variablen / Konstanten</b>			
<b>Konstante</b>	<b>Anteil Mitfahr- pendler [%] (deskriptiv)</b>	<b>Parameter- schätzwert (Logit)</b>	<b>Pr &gt; ChiSq (Logit)</b>
<b>EWZAHL (Einwohnerzahl)</b>		-2,740	<0,001
1: Unter 2.000	9	0,508	0,015
2: 2.000 bis unter 5.000	9	0,508	0,010
3: 5.000 bis unter 20.000	9	0,498	0,003
4: 20.000 bis unter 50.000	9	0,370	0,035
5: 50.000 bis unter 100.000 [Referenz]	7	-	-
6: 100.000 bis unter 500.000	6	-0,216	0,247
7: Über 500.000	3	-1,023	<0,001
<b>SEX (Geschlecht)</b>			
1: Männlich [Referenz]	7	-	-
2: Weiblich	8	0,180	0,035
<b>ROLLE (Rolle der Person)</b>			
01: Schüler	9	-0,637	0,001
02: In Ausbildung >18	9	0,119	0,448
03: Erwerbstätige Singles	4	0,420	0,019
05: Erwerbstätige in HH mit Kleinkindern	6	0,036	0,829
07: Erwerbstätige in HH nur mit Schulkindern [Referenz]	7	-	-
09: Erwerbstätig in HH ohne Kinder	9	0,267	0,035
<b>PKWVERF (Pkw-Verfügbarkeit)</b>			
0: Kein Führerschein	10	0,458	0,002
1: Führerschein, kein Pkw im Haushalt	5	-0,112	0,613
2: Geteilter Pkw [Referenz]	11	-	-
3: Persönlicher Pkw	4	-1,194	<0,001
<b>PENDELWEGKMKL (Pendelweglänge [KM])</b>			
1: 0 bis unter 2 KM [Referenz]	8	-	-
2: 2 bis unter 8 KM	8	0,305	0,016
3: 8 bis unter 20 KM	7	0,158	0,244
4: 20 und mehr KM	7	0,091	0,539

Tabelle 14: Logit-Modell Pendeln als Mitfahrer

<b>Modellbeschreibung Pendelverkehrsmittelwahl</b>		
Modellierte Wahrscheinlichkeit	Pendelverkehrsmittel	
Datensatz	Erlangen 2005	
Modell	Conditional Logit	
<b>Beobachtungen und Verteilung im Datensatz [Erlangen 2005; gewichtet]</b>		
<b>Pendelverkehrsmittel</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
Fuß	83	7
Fahrrad	480	39
MIV als Fahrer	454	37
ÖV	203	17
<b>Statistiken zur Modellanpassung</b>		
<b>Maß</b>	<b>Formel</b>	<b>Wert</b>
Log Likelihood	-	-868,1
Likelihood Ratio (R)	$2 * (\text{LogL} - \text{LogL0})$	1646,3
Upper Bound of R (U)	$-2 * \text{LogL0}$	3382,6
McFadden's LRI	R / U	0,4867
	<b>Parameter- schätzwert (CLogit)</b>	<b>Pr &gt;  t  (CLogit)</b>
<b>Konstanten</b>		
Fuß	1,242	<0,001
Fahrrad	0,367	0,148
MIV als Fahrer	-0,829	0,005
<b>Alternativenspezifische Variablen</b>		
Fuß: Zeit [Min]	-0,048	<0,001
Fahrrad: Student	0,471	0,013
Fahrrad: kein Fahrrad zur Verfügung	-3,894	<0,001
MIV als Fahrer: persönlicher Pkw	1,313	<0,001
MIV als Fahrer: Erwerbstätig	0,497	0,018
MIV als Fahrer: kein Pkw zur Verfügung	-3,814	<0,001
MIV als Fahrer: Parkplatzprobleme am Ziel	-0,004	0,455
ÖV: Person nutzt keinen ÖV	-3,376	<0,001
ÖV: Tour < 4 Km	-1,621	0,003
ÖV & MIV: Tour > 4 Km	0,344	<0,001
<b>Zeit, Kosten:</b>		
(Zeit [Min]) <sup>0,5</sup>	-0,256	<0,001
Kosten [Euro]	-0,453	<0,001

Tabelle 15: Logit Modell Pendel mit den Verkehrsmitteln Fuß, Fahrrad, Pkw als Fahrer, ÖV

### 3.2.5 Agenda

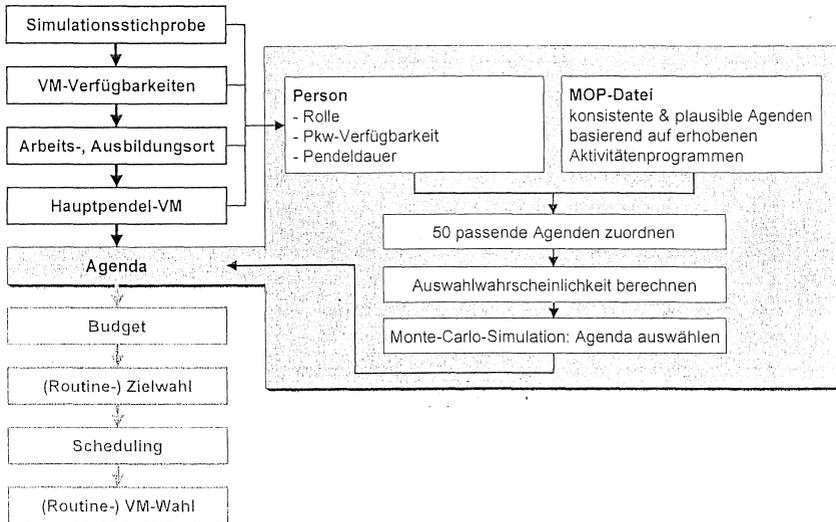


Abbildung 18: Zuordnen der Aktivitätenagenda im Überblick

In dieser Modellstufe wird jeder Person in der Simulationsstichprobe eine passende Agenda zugewiesen. Eine Agenda ist ein Programm mit verschiedenen Aktivitätsvorhaben, die im Verlauf der simulierten Woche geplant sind. Dabei handelt es sich um wirklich durchgeführte, im Rahmen des MOP erhobene Aktivitätenprogramme. Damit ist gewährleistet, dass diese Aktivitätenprogramme in sich konsistent und plausibel sind und das richtige Maß an Varianz und Stabilität bei der Aktivitätenausübung aufweisen.

Die Zuweisung eines Aktivitätenprogramms erfolgt einerseits anhand sozioökonomischer Randbedingungen. Andererseits sind Aktivitätenvorhaben stark dem Regime der Zeit unterworfen. Pendlern mit sehr zeitintensiven Pendelwegen bleibt weniger Zeit für andere Aktivitäten. Deshalb wird die Agenda nach Modellierung von Polzeile und Pendelverkehrsmittel zugewiesen, da diese beiden Variablen die im Alltag wesentliche Größe Pendelzeit festlegen.

Somit erfolgt die Zuordnung der Agenda nach 24 Zuspielkategorien und auf Basis der Pendelwegdauer. Die 24 Kategorien ergeben sich aus 12 Personenrollen, die Berufstätigkeit und Rolle der Person im Haushalt beschreiben (siehe z.B. Tabelle 12), jeweils mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit. Jeder Person in der Simulationsstichprobe werden etwa 50 Personen aus dem großen Datensatz des MOP zugeordnet, die in die selbe Zuspielkategorie fallen. Die Zahl 50 hat sich hierbei unter Berücksichtigung von Rechenzeit und Modellergebnis als sinnvoll erwiesen.

Bei Personen mit Pendelwegen sind dies diejenigen 50 Personen aus dem MOP-Datensatz, die der Person in der Simulationsstichprobe hinsichtlich der Pendelwegdauer am ähnlichsten sind. Bei Personen ohne Pendelweg werden Personen aus der selben Zuspieldkategorie zufällig ausgewählt. Je nach Zuspieldkategorie und Pendelweglänge variiert die Zahl der passenden Personen, deshalb wird die angestrebte Zahl von 50 ähnlichen Personen nicht immer erreicht.

Aus diesen passenden 50 MOP-Personen muss nun eine Person ausgewählt werden, deren berichtetes Aktivitätenprogramm der simulierten Person als Agenda zugeordnet wird. Dies geschieht prinzipiell stochastisch anhand einer Monte-Carlo-Simulation. Es empfiehlt sich jedoch in vielen Fällen, diesen Auswahlprozess zu steuern: Spezielle Untersuchungsgebiete können gegenüber der Grundgesamtheit Deutschland Besonderheiten aufweisen, wie z.B. eine besonders hohe Zahl von Freizeitwegen pro Person. Um dies bei der Zuweisung der Agenda zu berücksichtigen, werden Gewichte vergeben, welche die Auswahlwahrscheinlichkeit von Aktivitätenprogrammen mit bestimmten Eigenschaften herab- oder heraufsetzen.

Deshalb wird die Auswahlwahrscheinlichkeit der Aktivitätenprogramme in Abhängigkeit der darin enthaltenen, durchgeführten Aktivitäten folgendermaßen berechnet:

$$P_{ij} = \frac{\prod_z AG_z^{N_{z,j}}}{\sum_j \prod_z AG_z^{N_{z,j}}} \quad \text{[GL. 9]}$$

Mit:	$P_{ij}$	Wahrscheinlichkeit, das Person i in der Simulationsstichprobe das Aktivitätenprogramm j zugeordnet wird.
	$N_{z,j}$	Anzahl der Aktivitäten mit Zweck z in Aktivitätenprogramm j
	$AG_z$	Gewicht zur Steuerung der Auswahl von Aktivitätenprogrammen mit Aktivitäten des Zweck z

Eine Steuerung der Aktivitätenprogramm-Zuspieldung durch Gewichtung ist dann sinnvoll, wenn z.B. Besonderheiten im Verhalten der Bevölkerung eines Untersuchungsgebietes vorliegen, die durch Befragungen bekannt sind. Dieses Verfahren eröffnet aber auch andere Möglichkeiten, innerhalb der durch Rolle und Pkw-Verfügbarkeit gebildeten sozioökonomischen Kategorien Personen mit besonderen Merkmalen verstärkt in einer Simulation zu berücksichtigen. Dies ist beispielsweise auch bei der Simulation von Zukunftsszenarien hilfreich, wenn z.B. eine Situation abgebildet werden soll, in der es gegenüber heute vermehrt freizeitaktive Senioren gibt.

Mit dem beschriebenen Ansatz gelingt es somit, den Personen in der Simulationsstichprobe eine Aktivitätenagenda zuzuordnen, die einerseits zur sozioökonomischen Situation der Person passt und andererseits unter Berücksichtigung der Zeitaufwendungen für Pflichtmobilität ein plausibles Bild ergibt. Gleichzeitig kann auf Besonder-

heiten im Verhalten der Bevölkerung eines Untersuchungsgebietes eingegangen werden.

Die den Personen in der Simulationsstichprobe in dieser Modellstufe zugewiesenen Agenden enthalten Aktivitätenvorhaben, die folgendermaßen spezifiziert sind:

- Zweck
- Dauer
- Mögliches Zeitfenster, innerhalb dessen die Aktivität durchgeführt werden kann
- Bevorzugter Zeitpunkt  $X_i$ , entspricht dem Originalzeitpunkt im Wochenverlauf, zum dem die Aktivität durchgeführt wurde

Die möglichen Zeitfenster der Aktivitäten, die in den original MOP-Daten nicht enthalten sind, werden plausibel ergänzt und ergeben sich z.B. bei Einkaufsaktivitäten durch die Ladenöffnungszeiten. Darüber hinaus gehört zu jeder Agenda auch ein Zeitbudget-Index, dessen Bedeutung in der folgenden Beschreibung der Budgetzuweisung erläutert wird.

### 3.2.6 Budget

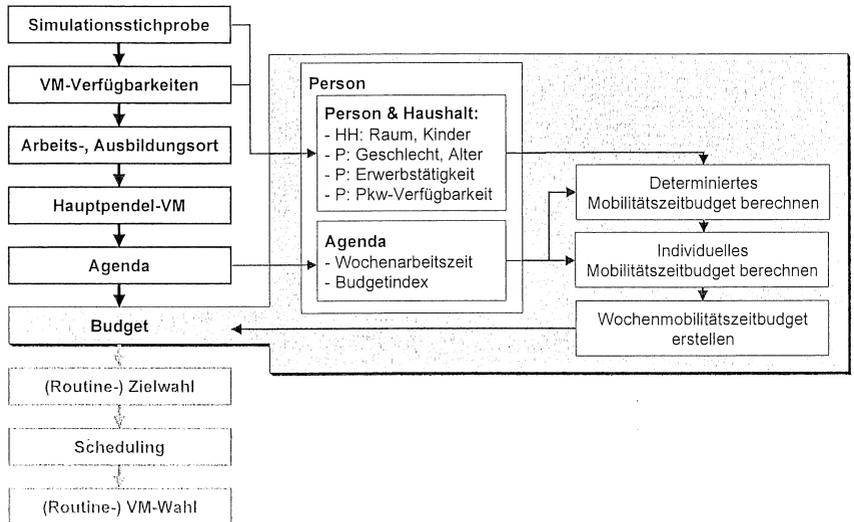


Abbildung 19: Zuordnung eines Wochenmobilitätszeitbudgets im Überblick

Nach Zuweisung einer Agenda wird jeder Person ein Budget für Mobilität zugewiesen, über das sie im Verlauf der modellierten Woche verfügen kann. Exemplarisch handelt es sich dabei um das Zeitbudget. In Zukunft kann auch ein Kostenbudget eingeführt werden.

Einerseits wird das für Mobilität verfügbare Zeitbudget durch die äußeren Randbedingungen der Lebenssituation einer Person beschrieben, z.B. durch die Arbeitszeit und den Pendelweg. Dies kann als determinierter Teil des Zeitbudgets aufgefasst werden. Dieser wird im Modell durch eine Funktion zugewiesen, die auf einer Regressionsanalyse der Zeitverwendung basiert. Andererseits unterscheiden sich Menschen in ähnlichen Lebenssituationen in Hinblick auf ihre Zeitverwendung und ein Mobilitätszeitbudget muss auch zu der zuvor zugewiesenen Aktivitätenagenda passen. Vor diesem Hintergrund wird bei der Zuweisung des Mobilitätszeitbudgets auch eine individuelle Komponente berücksichtigt, die auf Basis des zur Agenda passenden Zeitbudget-Indexes erstellt wird.

#### 3.2.6.1 Determiniertes Mobilitätszeitbudget

Das determinierte Mobilitätszeitbudget setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen: Zunächst aus notwendigen Pflichtmobilitätszeiten, die im wesentlichen durch die Pendeldauer für Hin- und Rückweg zwischen Arbeitsplatz und Wohnung multipliziert mit der Anzahl der Arbeitstage festgelegt ist. Im Einzelfall können auch bei den ande-

ren Aktivitäten des Alltags Pflichten enthalten sein. Dennoch kann die übrige aufgewandte Mobilitätszeit als fakultative Mobilitätszeit aufgefasst werden.

Personengruppen- und lebenssituationsspezifische Mittelwerte für diese fakultative Mobilitätszeit pro Woche können anhand von Regressionsanalysen ermittelt werden. Das Ergebnis einer solchen Analyse auf Basis der MOP-Daten ist in Tabelle 16 auf Seite 63 dargestellt und kann folgendermaßen zusammengefasst werden: Die für fakultative Mobilität aufgewendete Zeit ist geringer

- ... je geringer die Einwohnerzahl des Wohnorts ist.
- ... wenn Kinder im Haushalt leben.
- ... bei Frauen, Jugendlichen, Nichterwerbstätigen und Rentnern, insbesondere in hohen Altersklassen.
- ... wenn der Zugriff auf einen Pkw schwer ist.
- ... je mehr Zeit für die Aktivitäten Arbeit oder Ausbildung aufgewendet werden muss.

Der in dieser Regression ermittelte funktionale Zusammenhang zwischen Randgrößen der Lebenssituation und der fakultativen Mobilitätszeit wird im Modell unterstellt, um das fakultative Mobilitätszeitbudget  $ZB_f$  zu berechnen (Tabelle 16):

$$ZB_f = F(\text{Einwohner, Kinder, Geschlecht, Alter, Erwerbstätigkeit, Pkw, Pflichtzeiten}) \quad [\text{GL. 10}]$$

Das gesamte determinierte Mobilitätszeitbudget ergibt sich unter Berücksichtigung der für das Pendeln notwendigen Zeiten zu:

$$ZB_{\text{det}} = ZB_f + 2 \cdot Z_P \cdot N_{\text{AT}} \quad [\text{GL. 11}]$$

Mit:	$ZB_f$	Zeitbudget für fakultative Mobilität
	$ZB_{\text{det}}$	Determiniertes gesamtes Mobilitätszeitbudget
	$Z_P$	Zeit für den einfachen Pendelweg
	$N_{\text{AT}}$	Anzahl Tage mit Arbeit, Ausbildung

Das Regressionsmodell zur fakultativen Mobilitätszeit erklärt 16% der Varianz (Tabelle 16). Da aus definitorischen Gründen der Term  $2 \cdot Z_P \cdot N_{\text{AT}}$ , d.h. die Pendelzeit pro Woche, die Differenz zwischen gesamter determinierter Mobilitätszeit und fakultativer Mobilitätszeit zu 100% erklärt, wird durch die Gleichungen 10 und 11 die gesamte determinierte Mobilitätszeit ebenfalls zu 16% erklärt. Das bedeutet, das Mobilitätszeitbudget ist zum Großteil durch eine individuelle Komponente geprägt.

### 3.2.6.2 Individuelles Mobilitätszeitbudget

Die individuelle Komponente des Mobilitätszeitbudgets steht im engen Zusammenhang mit der Aktivitätenagenda einer Person. Personen, die im Vergleich zu anderen Personen in ähnlicher Lebenssituation eine sehr volle Aktivitätenagenda haben, weisen einen höheren Zeitverbrauch für Mobilität als der Durchschnitt auf. Das heißt, sie liegen mit ihrem individuellen Zeitbudget über dem durch die Lebenssituation deter-

minierten. Im umgekehrten Fall liegen die Personen mit ihrem individuellen Zeitbudget unter dem determinierten Zeitbudget.

Jede dem MOP entnommene Agenda ist dadurch gekennzeichnet, dass die berichtende MOP-Person  $j$  ein Mobilitätszeitbudget  $ZB_{MOB,j}$  aufweist, das in einem bestimmten Verhältnis zu ihrem determinierten Zeitbudget  $ZB_{det,j}$  steht und damit zum berichteten Aktivitätenprogramm passt. Der Zeitbudgetindex  $ZBIX_j$  gibt dabei die relative Differenz zwischen wirklichem und determiniertem Zeitbudget der MOP-Person  $j$  an:

$$ZBIX_j = (ZB_{MOB,j} - ZB_{det,j}) / ZB_{det,j} \quad [GL. 12]$$

Mit:  $ZBIX_j$  Zeitbudgetindex, passend zu Aktivitätenprogramm der MOP-Person  $j$   
 $ZB_{det,j}$  Determiniertes gesamtes Mobilitätszeitbudget der MOP-Person  $j$   
 $ZB_{MOB,j}$  Für Mobilität wirklich aufgewandte Zeit der MOP-Person  $j$

Dieser Zeitbudgetindex  $ZBIX_j$  wird als Kenngröße bei Aktivitätenprogramm  $j$  mitgeführt, wenn dieses einer Person  $i$  aus der Simulationsstichprobe im Modell zugeordnet wird. Mithilfe von  $ZBIX_j$  kann nun für die simulierte Person  $i$  ein individuelles wöchentliches Mobilitätszeitbudget  $ZB_{MOB,i}$  erstellt werden, das zur zugewiesenen Agenda  $j$  passt:

$$ZB_{MOB,i} = ZB_{det,i} (1 + ZBIX_j) \quad [GL. 13]$$

Mit:  $ZBIX_j$  Zeitbudgetindex, passend zum zugewiesenen Aktivitätenprogramm  $j$   
 $ZB_{det,i}$  Determiniertes gesamtes Mobilitätszeitbudget der simulierten Person  $i$   
 $ZB_{MOB,i}$  Gesamtes Mobilitätszeitbudget der simulierten Person  $i$

Durch dieses Vorgehen wird erreicht, dass einer Person in der Simulationsstichprobe ein Mobilitätszeitbudget zugewiesenen wird, das einerseits zur Lebenssituation der Person passt (Rolle, Pkw-Verfügbarkeit etc. sowie Arbeitszeiten und Pendelzeiten) und andererseits mit der zugewiesenen Agenda ein stimmiges Bild ergibt.

Dieser Ansatz eröffnet die Möglichkeit, die zugewiesenen Mobilitätszeitbudgets Szenariobedingungen anzupassen, z.B. bei einer Abbildung einer Situation mit längeren Arbeitszeiten, die sich negativ auf die Mobilitätszeitbudgets auswirken.

<b>Modellbeschreibung fakultative Mobilitätszeit</b>			
Modellierte Größe	Min. fakultative Mobilität pro Woche		
Datensatz	MOP		
Modell	Lineare Regression		
<b>Beobachtungen und Mittelwert im Datensatz [MOP; gewichtet]</b>			
	<b>N</b>	<b>Mittelwert [Min]</b>	
	17083	445	
<b>Modellgüte</b>			
<b>Maß</b>		<b>Wert</b>	
R-Quadrat		0,16	
Variablen / Konstanten	Fakultative Mobilität pro Woche [Min]	Parameter-schätzwert (Regression)	Pr >  t  (Regression)
<b>Konstante</b>		664,63	<0,001
<b>EWZAHN (Einwohnerzahl)</b>			
1: Unter 2.000	391	-64,64	<0,001
2: 2.000 bis unter 5.000	409	-34,05	<0,001
3: 5.000 bis unter 20.000	423	-43,79	<0,001
4: 20.000 bis unter 50.000	448	-25,68	<0,001
5 - 7: 50.000 und mehr [Referenz]	473	-	-
<b>KINDERHH (Kinder unter 10 im Haushalt)</b>			
0: Keine Kinder [Referenz]	460	-	-
1: Kinder	380	-38,47	<0,001
<b>SEX (Geschlecht)</b>			
1: Männlich [Referenz]	454	-	-
2: Weiblich	436	-62,60	<0,001
<b>ALTERKL (Alter)</b>			
1: 10 bis 17 Jahre	288	-104,74	<0,001
2 - 6: 18 - 69 Jahre [Referenz]	453	-	-
7: 70 - 79 Jahre	502	-63,71	<0,001
8: 80 Jahre und älter	481	-69,91	0,001
<b>BS (Status der Erwerbstätigkeit)</b>			
1: Nicht erwerbstätig	495	-85,56	<0,001
2 - 4: In Ausbildung oder erwerbstätig [Referenz]	392	-	-
5: Rentner	536	-39,64	<0,001
<b>PKWVERF (Pkw-Verfügbarkeit)</b>			
0: Kein Führerschein	403	-36,08	<0,001
1 - 2: Führerschein, kein pers. Pkw [Referenz]	453	-	-
3: Persönlicher Pkw	462	23,43	<0,001
<b>ARBAUSBMIN (Arbeits-, Ausbildungszeit pro Woche)</b>			
Minuten Arbeit, Ausbildung pro Woche		-0,12	<0,001

Tabelle 16: Lineares Regressionsmodell fakultative Mobilitätszeit pro Woche

### 3.2.7 Zielwahl

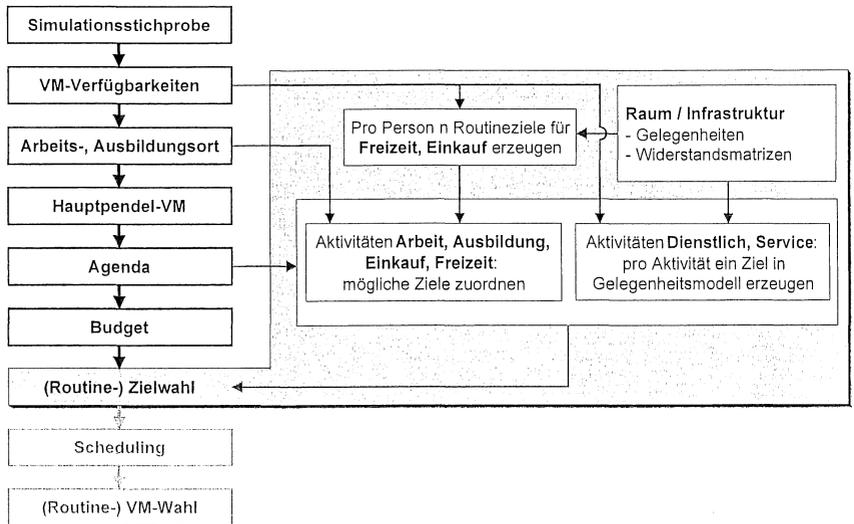


Abbildung 20: Zielwahl im Überblick

Im Rahmen der Modellstufe Zielwahl wird die Agenda dadurch ergänzt, dass jeder geplanten Aktivität mögliche Ziele zugewiesen werden, an denen die Aktivität durchgeführt werden kann. Es kann sich dabei um unterschiedlich viele Ziele handeln, die in einem Gelegenheitsmodell (vgl. Gleichung 6) mit anschließender Monte-Carlo-Simulation erzeugt werden. Dabei werden Routinen bei der Zielwahl berücksichtigt.

#### 3.2.7.1 Zielwahl bei Aktivitäten mit Routinezielen

Einige Aktivitäten im Alltag sind durch routinierte Zielwahl gekennzeichnet. Dies ist offensichtlich bei nahezu allen Aktivitäten der Zwecke Arbeit bzw. Ausbildung der Fall. Hier werden folglich den einzelnen Aktivitäten in der Simulation die zuvor modellierten Orte für Arbeit bzw. Ausbildung als einziges mögliches Ziel zugewiesen. Aber auch andere Aktivitäten im Alltag werden häufig wiederholt an denselben Zielen durchgeführt. Hierzu gehört vor allem ein Großteil der Einkäufe und viele Freizeitaktivitäten. Für diese Aktivitäten werden deshalb im Modell für jede Person Routineziele erzeugt. Dabei hat sich eine Anzahl von je vier verschiedenen Zielen als sinnvoll erwiesen.

Da Pendler gelegentlich auf dem Weg zwischen Wohnung und Arbeit Aktivitäten einschleichen, werden für Pendler je zwei weitere mögliche Ziele für Einkäufen und Freizeit erzeugt. In diesem Fall geht bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit der Zielzellen im Gelegenheitsmodell als Widerstand nicht nur der direkte Weg zwischen

Wohnung und Zielzelle ein. Statt dessen wird der summierte Widerstand zwischen Wohnung und Zielzelle und zwischen Zielzelle und Polzelle (Arbeits- bzw. Ausbildungsort) berücksichtigt. Dadurch liegen diese zusätzlichen Ziele in der Tendenz günstig zwischen Wohnort und Arbeits- bzw. Ausbildungsort.

Das Gelegenheitsmodell für diese Routineziele berücksichtigt die unterschiedlichen Widerstandssensitivitäten bei den Aktivitäten Einkaufen und Freizeit sowie die Pkw-Verfügbarkeit durch unterschiedliche Exponenten  $\alpha$  des Widerstandes.

Den einzelnen Aktivitäten der Zwecke Einkaufen und Freizeit in der Agenda werden nun jeweils diese vier (bzw. sechs bei Pendlern) Routineziele als mögliche Ziele zugewiesen. Dies führt dazu, dass im Rahmen des späteren Scheduling, bei dem die eigentliche Auswahl eines konkreten Ziels erfolgt, zwar zwischen den Zielen variiert wird, jedoch auch immer wieder die selben Ziele angesteuert werden.

### 3.2.7.2 Zielwahl bei Aktivitäten mit Nichtroutinezielen

Aktivitäten mit anderen Zwecken wird jeweils nur ein, in einem Gelegenheitsmodell erzeugtes, Ziel zugewiesen. Auch hier werden durch unterschiedliche Exponenten  $\alpha$  des Widerstandes aktivitätenspezifische Widerstandssensitivitäten sowie die Pkw-Verfügbarkeit der simulierten Personen berücksichtigt. Dass bei diesen Aktivitäten nur ein Ziel möglich ist, hat im Scheduling Konsequenzen: Die Aktivität wird am zugewiesenen Ziel durchgeführt, wenn dies im Rahmen des vorgegebenen Zeitfensters und Budgets möglich ist. Andernfalls wird sie verworfen.

Den Aktivitäten der Zwecke Einkaufen und Freizeit werden also mögliche Routineziele zugeordnet und allen anderen Aktivitäten, ausgenommen Arbeit und Ausbildung, Nichtroutineziele. Im Rahmen der bisherigen Modellanwendungen, mit einer eingeschränkten Differenzierung der sekundärstatistischen Daten zu zweckspezifischen Gelegenheiten, hat sich dies als sinnvoll erwiesen. Es ist im vorgestellten Modellansatz jedoch auch denkbar, Einkaufs- oder Freizeitaktivitäten nach Routine- und Nichtroutineaktivitäten zu differenzieren und dies bei der Zielwahl zu berücksichtigen (Kuhnimhof & Waßmuth 2001). So könnte beispielweise ein besonderer Einkauf, z.B. Möbel, als Nichtroutineeinkauf charakterisiert werden, dem dann auch nur ein Ziel zugeordnet wird. Kann dieses Ziel nicht erreicht werden, so kann der Einkauf nicht stattfinden. Umgekehrt können bisherige Nichtroutineaktivitäten, z.B. die Service-Aktivität  $\square$ Kind in den Kindergarten bringen $\square$  als Aktivitäten mit Routinezielen differenziert werden. Der vorgestellte Ansatz erlaubt also weitgehende Differenzierungsmöglichkeiten, die zu einer verbesserten Zielwahlmodellierung beitragen. Dies setzt jedoch auch eine entsprechende, stärker differenzierte Strukturdatendatei zu den zweckspezifischen Gelegenheiten voraus.

### 3.2.8 Scheduling

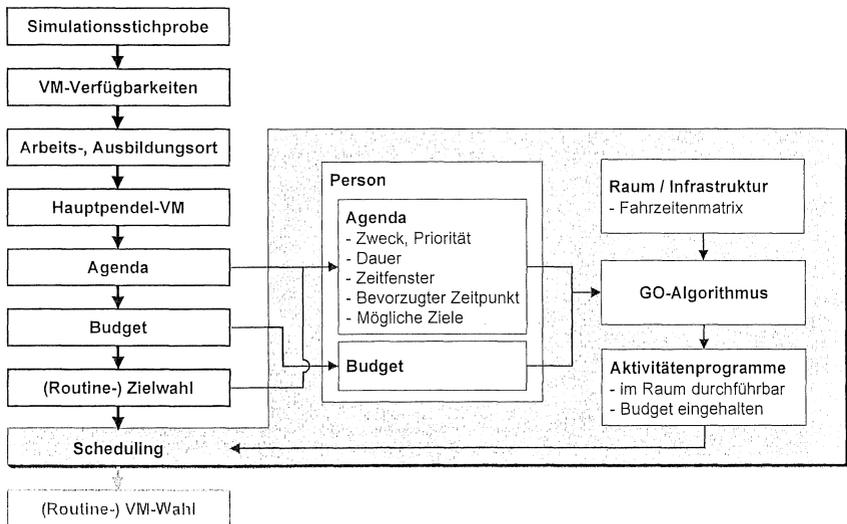


Abbildung 21: Scheduling im Überblick

Nach Zuweisen von Agenda, Zeitbudget und möglichen Zielen für die einzelnen Aktivitäten wird nun auf dieser Basis anhand eines Schedulingalgorithmus für jede simulierte Person ein Aktivitätenprogramm erstellt. Dieses Aktivitätenprogramm besteht aus einer Abfolge von Aktivitäten mit genauem Beginnzeitpunkt und Ort. In der Erstellung des Aktivitätenprogramms geht eine Fahrzeitenmatrix ein, so dass die Fahrzeit zwischen den Zielen als notwendige Übergangszeit zwischen den Aktivitäten berücksichtigt wird. Es wird also ein wirkliches Aktivitätenprogramm, das ursprünglich in einem anderen räumlichen Bezug durchgeführt und im MOP aufgezeichnet worden ist, in den räumlichen Zusammenhang des modellierten Untersuchungsgebietes übertragen.

#### 3.2.8.1 GO-Algorithmus

Der für diese Scheduling-Modellstufe eingesetzte GO-Algorithmus gehört zur Gruppe der Greedy-Algorithmen. Er wurde für die Analyse des Zusammenwirkens von Budgetrestriktionen und Mobilitätsverhalten entwickelt, die Gringmuth anhand von virtuellen Personen und Aktivitätenprogrammen durchführte (Gringmuth 2006). Bei diesen Analysen führte der GO-Algorithmus zu plausiblen Ergebnissen und bietet sich deshalb für Anwendungen in größerem Maßstab an.

Greedy-Algorithmen finden für die bearbeiteten Probleme i.d.R. keine global optimalen Lösungen, sondern lediglich mögliche Lösungen, die sich aus lokalen Entschei-

dungen zusammensetzen (Cormen 2001; Neumann & Morlock 2002). Im vorliegenden Fall heißt das: Für das Problem, eine vorgegebene Agenda aus geplanten Aktivitätenvorhaben in einem bestimmten Raum unter bestimmten Rahmenbedingungen durchzuführen, gibt es in der Regel viele verschiedene Lösungen. Diese unterscheiden sich in den Durchführungsorten und der zeitlichen Lage der Aktivitäten.

Der GO-Algorithmus erzeugt genau eine Lösung, die kein globales Optimum darstellen muss. Er erstellt im vorliegenden Fall nicht das beste durchführbare Aktivitätenprogramm, sondern lediglich ein mögliches. Deshalb muss auch kein globales Optimierungskriterium, wie z.B. größtmögliche Zeitersparnis im Wochenverlauf, formuliert werden. Dieses mögliche Aktivitätenprogramm kommt durch lokale Entscheidungen zustande, bei denen jeweils eine Aktivität nach der anderen gesetzt wird.

Diesem Vorgehen zur Erstellung von Aktivitätenprogrammen liegt die Annahme zugrunde, dass das schrittweise Abarbeiten der Aktivitätenwünsche und Bedürfnisse menschliches Verhalten wirklichkeitsnäher abbildet, als dies durch das Formulieren und Anstreben eines globalen Optimums derzeit möglich ist.

Im Folgenden wird zunächst der GO-Algorithmus, wie er im vorgestellten Modell implementiert wurde, erläutert. Danach wird dargestellt, in welchen Punkten der Algorithmus gegenüber der von Gringmuth eingesetzten Version angepasst wurde, um den Praxisanforderungen einer Verkehrsnachfragemodellierung in einem realen Raum gerecht zu werden.

### 3.2.8.2 Funktionsweise des GO-Algorithmus im Modell

Der Input des GO-Algorithmus besteht einerseits für jede simulierte Person aus einer Liste von Aktivitätenvorhaben, die durch Zweck, Zeitfenster, bevorzugtem Zeitpunkt und mögliche Ziele gekennzeichnet sind. Gemäß ihrem Zweck ist den Aktivitäten aus der Liste eine Priorität zugeordnet (Tabelle 17).

Zweck der Aktivität	Priorität
Arbeit, Ausbildung	1
Dienstlich	2
Service	3
Einkaufen, Freizeit	4
Sonstiges	5

Tabelle 17: Priorisierung der Aktivitäten im Input des GO-Algorithmus

Andererseits verfügt jede Person über ein bestimmtes Budget für Mobilität. Darüber hinaus ist als Input eine Matrix der Fahrzeiten (hier: MIV) zwischen den Zellen hinterlegt.

Der Ablauf des GO-Algorithmus beginnt damit, dass die Aktivitäten aufsteigend nach Priorität und nach Freiheitsgraden (Breite der möglichen Zeitfenster) sortiert werden, um anschließend in dieser Reihenfolge abgearbeitet zu werden. Danach werden die

einzelnen Aktivitäten nacheinander gesetzt. Dabei wird beim Setzen einer Aktivität jede mögliche Zeit-Ziel-Kombinationen ausgehend vom bevorzugten Zeitpunkt für die Aktivität abgearbeitet. Kann die Aktivität an einem Ziel zu einer bestimmten Zeit durchgeführt werden, ohne dass sich Kollisionen zwischen Aktivitätendauer und Zeitfenster oder hinsichtlich der Übergangszeit zwischen Zellen ergeben, dann wird die Aktivität gesetzt. Dies wird solange wiederholt, bis entweder das Zeitbudget für Mobilität erreicht ist oder keine weiteren Aktivitäten in der Agenda vorhanden sind.

Der Output des GO-Algorithmus besteht für jede simulierte Person aus einem Aktivitätenprogramm, d.h. einer Liste von Aktivitäten mit allen notwendigen Spezifikationen einschließlich Beginnzeitpunkt und Ort. Dieses Aktivitätenprogramm kann im simulierten Untersuchungsgebiet tatsächlich durchgeführt werden.

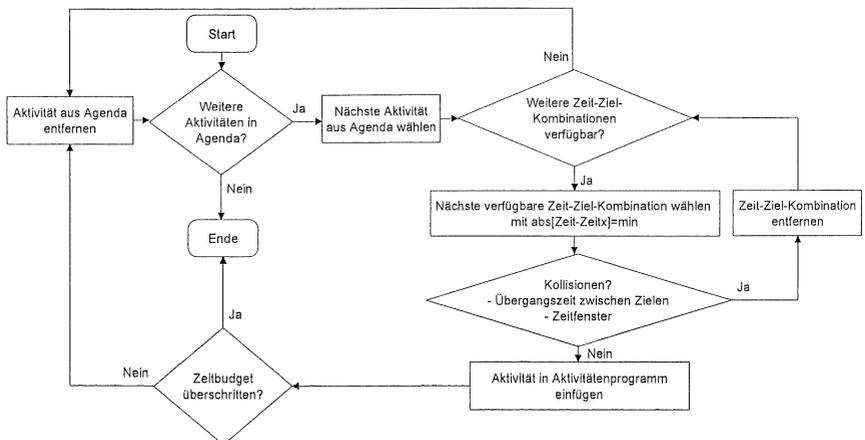


Abbildung 22: Ablauf des GO-Algorithmus im Modell

### 3.2.8.3 Anpassung des GO-Algorithmus an die Anforderungen des Modells

Der GO-Algorithmus wurde entwickelt, um Änderungen im Mobilitätsverhalten als Reaktion auf sich ändernde Rahmenbedingungen oder Budgets zu analysieren. Gringmuth setzte bei diesen Analysen fiktive, aber für bestimmte Personengruppen typische Agenden ein und variierte räumlich-zeitliche Rahmenbedingungen und Budgets.

Im Rahmen des hier vorgestellten Modells wird der GO-Algorithmus erstmals in großem Maßstab, d.h. für die Bevölkerung eines realen Untersuchungsraumes, angewendet. Deshalb bestehen die den Personen in der Simulation zugewiesenen Agen-

den nicht aus fiktiven, sondern empirisch erhobenen Aktivitätenprogrammen. Damit sind intrapersonelle Plausibilität und Konsistenz der einzelnen Aktivitätenprogramme ebenso gewährleistet, wie die Wiedergabe empirischer Verteilungen im Aggregat.

Für die GO-Implementierung in der vorliegenden Anwendung mussten auch Anpassungen am Algorithmus selbst vorgenommen werden:

Zum einen wurde die beschriebene Minimierung der Differenz zwischen der neuen, gesetzten zeitlichen Lage und dem bevorzugten Zeitpunkt für eine Aktivität neu in den Algorithmus integriert. In der bisherigen Version des GO wurden Aktivitäten innerhalb des zur Verfügung stehenden Zeitfensters zufällig gesetzt. Die lokale Optimierung nach zeitlicher Lage war notwendig, um eine realistische Abbildung von Ganglinien der Nachfrage und der entsprechenden Nachfragespitzen zu erreichen. Darüber hinaus konnte auf diese Art erreicht werden, dass Aktivitäten auf Ausgängen wirklichkeitsnah miteinander verknüpft werden. Bei zufälliger zeitlicher Setzung entstehen zwischen üblicherweise aufeinanderfolgenden Aktivitäten unrealistische Zeitlücken.

Zum zweiten wurde die Möglichkeit, bei einer Aktivität zwischen verschiedenen möglichen Zielen zu wählen, neu im Algorithmus implementiert. In der bisherigen GO-Version war jeweils nur ein Ziel pro Aktivität vorgesehen.

Diese beschriebenen Anpassungen des GO-Algorithmus dienen insgesamt dazu, den Algorithmus in der anwendungsorientierten Verkehrsnachfragemodellierung einsetzen zu können.

### 3.2.9 Verkehrsmittelwahl

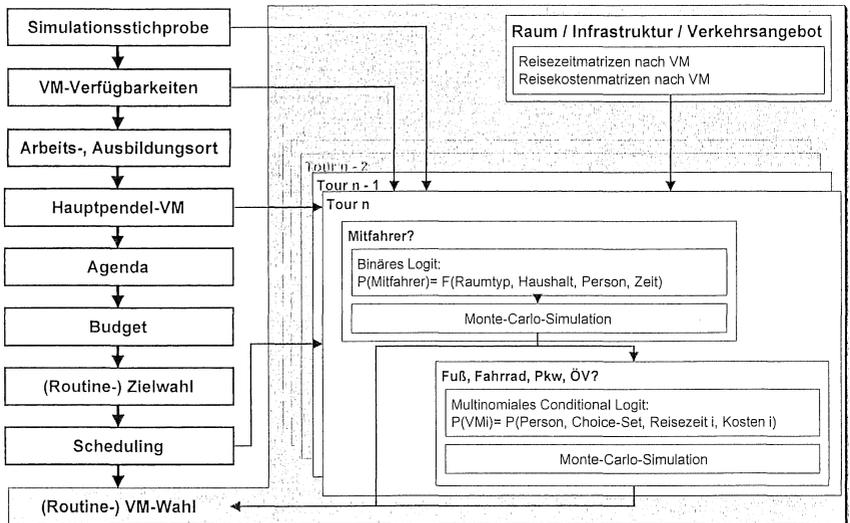


Abbildung 23: Verkehrsmittelwahl im Überblick

Abschließend erfolgt die Verkehrsmittelwahl, bei der den Wegen zwischen den einzelnen Aktivitäten passende Verkehrsmittel zugeordnet werden. Dabei werden zunächst die Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Verkehrsmittel ermittelt. Hierbei gehen Variablen zur Person, zur Situation, zur generellen und situativen Verkehrsmittelverfügbarkeit, sowie zur Verkehrsinfrastruktur (Zeit, Kosten) ein. Darüber hinaus berücksichtigt das Modell in Erweiterung konventioneller Verkehrsmittelwahlmodelle bei jeder Wahlsituation einer simulierten Person, welche Verkehrsmittel diese Person zuvor gewählt hat. Durch dieses Modellgedächtnis gelingt es, Bindungen an Verkehrsmittel und Routinen bei der Verkehrsmittelwahl abzubilden.

Zuvor sind den Personen im Modell bereits Verkehrsmittel-Choice-Sets und das Hauptpendelverkehrsmittel zugewiesen worden. Die eigentliche Verkehrsmittelwahl erfolgt nun auf Tourenebene. Dabei müssen folgende Unterscheidungen getroffen werden:

Touren, die als Mitfahrer durchgeführt werden, werden getrennt behandelt. Grund ist, dass bei ihnen andere Variablen, nämlich Situation und Gelegenheit zum Mitfahren, bestimmend sind als bei Touren mit den Verkehrsmitteln zu Fuß, Fahrrad, Pkw als Fahrer und ÖV. Deshalb gliedert sich die Verkehrsmittelwahl für Nichtpendeltouren in ein Modell der Mitfahrwahrscheinlichkeit und in das Verkehrsmittelwahlmodell für andere Verkehrsmittel.

Ein weiterer Spezialfall sind die Pendelwege, für die zwar im Regelfall auf das Hauptpendelverkehrsmittel zurückgegriffen wird. Jedoch wird auch hier im Einzelfall variiert, wenn auch selten. Um diesen Spezialfall von Varianz und Stabilität der Pendelverkehrsmittelwahl abbilden zu können, werden auch Pendelwege im Modell getrennt von anderen Wegen behandelt.

Im Folgenden wird zunächst das Konzept des längsschnittorientierten Verkehrsmittelwahlmodells dargestellt. Es stellt die Grundlage zum Verständnis der einzelnen bei der Verkehrsmittelwahl eingesetzten Modelle dar. Anschließend werden die drei Bestandteile des Verkehrsmittelwahlmodells - Mitfahrerwege, Nichtpendeltouren mit anderen Verkehrsmitteln, Pendeltouren - erläutert.

### **3.2.9.1 Längsschnittorientiertes Verkehrsmittelwahlmodell – Modellkonzept**

Als Grundform für die Modellierung der Verkehrsmittelwahl wurde wie bei der Bestimmung des wichtigsten Pendelverkehrsmittels ein Conditional Logit-Modell gewählt. Die Verkehrsmittel werden jeweils für ganze Touren modelliert, das heißt einschließlich Hin- und Rückweg und gegebenenfalls Unterbrechungen. Als Eigenschaften der Alternativen Zeit und Kosten gehen die nach der Beschreibung in Abschnitt 3.1.4 zugeordneten Größen ein, wobei für Zeitkartenbesitzer im Stadtgebiet im ÖV keine weiteren Kosten anfallen. Individuelle Choice-Sets werden durch alternativenspezifische Kennzeichnung nicht verfügbarer Verkehrsmittel abgebildet, wobei für die Identifikation der ÖV-Nichtnutzer im Schätzdatensatz vorab eine Simulation eingesetzt wird (vgl. Abschnitt 3.2.4).

In Abschnitt 3.1.4 wurden jedoch weitere grundlegende Annahmen für die Verkehrsmittelwahl im Längsschnitt formuliert. Aus diesen Annahmen und aus der Berücksichtigung des Umstandes, dass Choice-Sets in bestimmten Situationen eingeschränkt sein können, ergeben sich wichtige Änderungen gegenüber einer konventionellen Formulierung des Conditional Logit-Modells:

Situative Verkehrsmittel-Choice-Sets: Hinsichtlich der Choice-Sets muss zusätzlich zu den oben modellierten grundsätzlichen Verkehrsmittelverfügbarkeiten der Person die jeweilige Situation, in der eine Verkehrsmittelentscheidung fällt, berücksichtigt werden (Miller et al. 2005): Beginnt eine Tour nicht zuhause, sondern handelt es sich beispielsweise um einen Einkauf vom Arbeitsplatz aus, stehen nicht alle Verkehrsmittel zur Verfügung. In solchen Fällen stehen standardmäßig nur Fuß und ÖV zur Verfügung, sowie eines der Verkehrsmittel Pkw oder Fahrrad, soweit diese als Pendelverkehrsmittel eingesetzt wurden. Bei Touren, die nicht zuhause beginnen und enden, stehen somit situativ eingeschränkte Choice-Sets zur Verfügung. Dies wurde bei der beschriebenen Modellschätzung berücksichtigt und geht in die Modellierung ein, indem situativ nicht zur Verfügung stehende Verkehrsmittel ebenso wie ständig nicht

zur Verfügung stehende Verkehrsmittel durch alternativenspezifische Variablen gekennzeichnet wurden.

Sonderstellung des Hauptpendelverkehrsmittels: Bei der Formulierung des Modells für Nichtpendelwege wurde unterstellt, dass das Hauptpendelverkehrsmittel auch im übrigen Alltag besonders häufig eingesetzt wird. Dies ist im Modell dadurch berücksichtigt, dass das jeweilige Hauptpendelverkehrsmittel einer Person  $i$  mit einer personenabhängigen alternativenspezifischen Variablen ( $HPENDELVM = 1$ ) gekennzeichnet wird.

Bindungen an Verkehrsmittel: Bei der ersten beobachteten Verkehrsmittelwahl ( $n = 1$ ) einer Person im Schätzdatensatz kann noch keine Bindung an ein bestimmtes Verkehrsmittel beobachtet werden. Existieren solche Bindungen jedoch, bedeutet dies, dass bei späteren Verkehrsmittelwahlen ( $n > 1$ ) schon einmal gewählte Verkehrsmittel eine höhere Wahlwahrscheinlichkeit aufweisen als bislang noch nicht gewählte Verkehrsmittel. Deshalb wurden bei der Modellschätzung bereits gewählte Verkehrsmittel mit einer Variablen ( $GENUTZT$ ) markiert. Diese Variable geht bei späteren Touren als erklärende Variable ein.

Gleichzeitig kann hier unterstellt werden: Je häufiger ein Verkehrsmittel bereits verwendet wurde, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass es wieder verwendet wird. Dieser Zusammenhang kann sich jedoch nicht linear darstellen. Deshalb wurde als Variable  $GENUTZT$  die mit einem Exponenten kleiner eins versehene Anzahl der Nutzungen eines Verkehrsmittels gewählt. Dabei erwies sich ein Exponent von 0,25 in Hinblick auf den Erklärungsgehalt des Gesamtmodells als sinnvoll. Wegen der Nutzung der Stichtagsbefragung Erlangen als Schätzdatensatz ist die Anzahl der eingehenden Verkehrsmittelnutzungen auf drei begrenzt (s.u.).

Routinierte Verkehrsmittelwahl: In Abschnitt 2.3.2 der Arbeit wurde belegt, dass sich im Alltagsverkehr Routinen identifizieren lassen, die häufig mit demselben Verkehrsmittel erledigt werden. Dies ist im Modell folgendermaßen berücksichtigt: Die Touren im Schätzdatensatz werden nach den in Abschnitt 2.3.2 erarbeiteten Regeln Routinen zugeordnet. Gehört eine Tour zu einer Routine, die im Verlauf des Berichtes schon einmal durchgeführt wurde, dann werden diejenigen Verkehrsmittel, die zuvor für die gleiche routinierte Tour eingesetzt wurden, gekennzeichnet ( $RGENUTZT = 1$ ).

Aus diesen Überlegungen ergibt sich eine Nutzenfunktion, die gegenüber der konventionellen Modellformulierung um drei für den Längsschnitt wichtige Elemente ( $GENUTZT$ ,  $RGENUTZT$ ,  $PENDELVM$ ) ergänzt ist:

$$\begin{aligned}
U_{ni} = & \beta_i \\
& + \beta_{AS_j} AS_{i,j} + \beta_{AS_{j+1}} AS_{i,j+1} + \dots \\
& + \beta_{ZEIT} Zeit_i + \beta_{KOSTEN} Kosten_i \\
& + \beta_{GENUTZT} GENUTZT_i \\
& + \beta_{RGENUTZT} RGENUTZT_i \\
& + \beta_{HPENDELVM} HPENDELVM_i
\end{aligned}
\tag{GL. 14}$$

Mit:	$U_{ni}$	Nutzen des Verkehrsmittels i für Person n
	$\beta_i$	Konstante des Verkehrsmittels i
	$\beta_{AS_j}$	Koeffizienten der alternativen-spezifischen Variablen $AS_j$
	$AS_{i,j}$	Alternativenspezifische Variablen j des Verkehrsmittels i
	$\beta_{ZEIT}$	Koeffizient der Alternativeneigenschaft Reisezeit
	$Zeit_i$	Alternativeneigenschaft Reisezeit des Verkehrsmittels i
	$\beta_{KOSTEN}$	Koeffizient der Alternativeneigenschaft Reisekosten
	$Kosten_i$	Alternativeneigenschaft Reisekosten des Verkehrsmittels i
	$\beta_{GENUTZT}$	Koeffizient der allgemeinen vorherigen Nutzung des Verkehrsmittels i
	$GENUTZT_i$	Beschreibung der allgemeinen vorherigen Nutzung des Verkehrsmittels i
	$\beta_{RGENUTZT}$	Koeffizient der vorherigen Nutzung des Verkehrsmittels i für eine Tour der selben Routine
	$RGENUTZT_i$	Kennzeichnung, ob Verkehrsmittel i bereits für eine Tour der selben Routine genutzt wurde
	$\beta_{HPENDELVM}$	Koeffizient, wenn Verkehrsmittel i Hauptpendelverkehrsmittel ist
	$HPENDELVM_i$	Kennzeichnung, ob Verkehrsmittel i Hauptpendelverkehrsmittel ist

Dabei ist:

$$RGENUTZT_i = [\max(NNUTZ_i, 3)]^{0,25} \tag{GL. 15}$$

Mit:  $NNUTZ_i$  Anzahl der Nutzungen von Verkehrsmittel i zum betrachteten Zeitpunkt

Die Berechnung der Wahlwahrscheinlichkeiten erfolgt analog zu Gleichung 7 (Seite 52). Die auf diese Weise berechneten Nutzen und Wahlwahrscheinlichkeiten lassen sich anwendungsorientiert wie folgt interpretieren: Die Modellierung der ersten Verkehrsmittelwahlentscheidung einer Person erfolgt - abgesehen von der Berücksichtigung des individuellen und situativen Choice-Sets und des Pendelverkehrsmittels - konventionell ( $GENUTZT = 0$  und  $RGENUTZT = 0$ ). Sie bildet somit den Querschnitt zum Zeitpunkt der jeweils ersten Wege konventionell ab.

Alle weiteren Verkehrsmittelwahlentscheidungen berücksichtigen die vorhergegangenen Entscheidungen, indem bereits genutzte Verkehrsmittel einen höheren Nutzen und damit eine höhere Wahlwahrscheinlichkeit aufweisen ( $GENUTZT > 0$ ). Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn ein Verkehrsmittel bereits für dieselbe Routine eingesetzt wurde ( $RGENUTZT = 1$ ). Damit erhalten die Personen im Modell eine

Bindung an bestimmte Verkehrsmittel, und die intrapersonelle Stabilität der Verkehrsmittelwahl, insbesondere bei Routinen, kann abgebildet werden.

Im ersten Teil der Arbeit wurde das Verständnis für multimodales Verhalten und die Regeln für routinierte Verkehrsmittelwahl anhand der Wochenberichte des MOP erarbeitet. Dennoch eignet sich auch ein Stichtagsdatensatz über 24 Stunden wie derjenige der Erhebung Erlangen für die Modellschätzung eines längsschnitorientierten Verkehrsmittelwahlmodells. Auch ein 24-Stunden-Datensatz stellt einen Längsschnitt dar, in dem viele Personen mehrere Touren berichten. Ebenso kommt es in einem Stichtagsdatensatz vor, dass verschiedene Touren einer Person der selben Routine zugeordnet werden können, auch wenn dies selten ist.

Ein Stichtagsdatensatz wie die Befragung Erlangen ist somit grundsätzlich geeignet, die anhand der MOP-Wochenberichte erarbeiteten Zusammenhänge in einem längsschnitorientierten Verkehrsmittelwahlmodell umzusetzen. Allerdings sind mit diesem Datensatz auch Einschränkungen verbunden, die durch die Stichprobengröße bzw. durch den Stichtagscharakter verursacht sind:

- Nur in seltenen Fällen weisen Berichte mehr als drei Nutzungen desselben Verkehrsmittels auf verschiedenen Touren am selben Tag auf. Deshalb ist die Anzahl der in die Variable GENUTZT eingehenden Nutzungen eines Verkehrsmittels auf drei beschränkt (siehe Gleichung 15).
- Die Anzahl der berichteten Mitfahrerwege ist zu gering, um alle neuen, längsschnitorientierten Elemente des Verkehrsmittelwahlmodells in der Schätzung des Modells der Mitfahrerwege berücksichtigen zu können. Deshalb wurde bei dem Modell der Mitfahrerwege ein vereinfachter Ansatz gewählt.
- Auch für die Modellierung des Verkehrsmittels auf Pendelwegen wurde ein vereinfachter Ansatz gewählt, da ein Stichtagsdatensatz nicht geeignet ist, Varianz bei der Pendelverkehrsmittelwahl abzubilden.

Im Folgenden wird dargestellt wie dieser Ansatz bzw. die vereinfachten Ansätze in den einzelnen Modellelementen umgesetzt wurden. Die Ergebnisse der Modellschätzungen sind in den Tabellen 18,19 und 20 auf Seite 76, 78 und 81 zusammengestellt.

### **3.2.9.2 Nichtpendeltouren - Mitfahren**

Wegen der Größe der Stichprobe wurde beim Mitfahrermodell auf eine Berücksichtigung einzelner oben beschriebener Elemente zur Abbildung des Längsschnitts bei der Verkehrsmittelwahl verzichtet. Allerdings gilt auch für das Mitfahren, dass einige Verkehrsteilnehmer besonders häufig als Mitfahrer unterwegs sind. Deshalb ist es notwendig, die vorherigen Nutzungen des Verkehrsmittels Mitfahren im Modell zu berücksichtigen. Aus diesen Erwägungen ergibt sich die folgende, gegenüber Gleichung 14, vereinfachte Nutzenfunktion:

$$\begin{aligned}
U_{ni} = & \beta_i \\
& + \beta_{AS_i} AS_{i,j} + \beta_{AS_{i+1}} AS_{i,j+1} + \dots \\
& + \beta_{ZEIT} ZEIT_i \\
& + \beta_{GENUTZT} GENUTZT_i
\end{aligned}
\tag{GL. 16}$$

Die Signifikanz der Variablen GENUTZT in Tabelle 18 bestätigt die Erwartung, dass Personen im Schätzdatensatz oder Modell, die schon einmal als Mitfahrer unterwegs waren, eine höhere Wahrscheinlichkeit des Mitfahrens aufweisen, als andere.

Die Frage, ob jemand einen Weg als Mitfahrer im MIV zurücklegt, ist vor allem durch die Situation und die Gelegenheit zum Mitfahren bestimmt. Dabei spielt der Haushaltskontext eine besondere Rolle. Vor diesem Hintergrund ist verständlich, dass die einflussreichen Variablen bei der Bestimmung der Mitfahrwahrscheinlichkeit andere sind, als bei den Wahlmodellen für andere Verkehrsmittel.

Die Ergebnisse der Modellschätzung in Tabelle 18 bestätigen dies: Während die alternativenspezifischen Variablen, die hier im wesentlichen die Situation der Verkehrsmittelwahl beschreiben, alle hochsignifikant sind, ist der Einfluss des Verkehrsangebots schwach signifikant. Dabei ist der Einfluss des Verkehrsangebots durch den Zeitvergleich mit den schnellsten verfügbaren alternativen Verkehrsmittel (zu Fuß, Fahrrad oder ÖV) abgebildet. Es zeigt sich, dass die Wahrscheinlichkeit des Mitfahrens auf kurzen Wegen erwartungsgemäß eher gering ist.

Die alternativenspezifischen Variablen bezeichnen zum einen den Kontext der Person, der die allgemeine Gelegenheit zum Mitfahren einer Person beschreibt, die sich durch den Haushaltskontext ergibt. Die alternativenspezifischen Variablen, die sich auf Zweck und Uhrzeit der Tour beziehen, beschreiben die situative Gelegenheit zum Mitfahren. Diese ergibt sich v.a. dadurch, dass bestimmte Wege koordiniert im Haushaltskontext durchgeführt werden.

Ein zukünftiges Verkehrsentstehungsmodell, das bereits bei der Zuweisung der Agenda und Modellierung des Aktivitätenprogramms die Koordination im Haushaltskontext berücksichtigt, könnte v.a. bei der Bestimmung der Mitfahrerwege zu einer weiteren Verbesserung der Verkehrsmittelwahlmodellierung beitragen. Auch aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Modellierung der Mitfahrerwege getrennt von den anderen Wegen durchzuführen, da dieser modulare Aufbau die Integration weiterer Informationen in einzelnen Modellschritten ermöglicht.

<b>Modellbeschreibung Mitfahren Nichtpendeltouren</b>		
Modellierte Wahrscheinlichkeit	Verkehrsmittel Mitfahrer=Ja	
Datensatz	Erlangen 2005	
Modell	Logit (Binär)	
<b>Beobachtungen und Verteilung im Datensatz [Erlangen 2005; gewichtet]</b>		
<b>Verkehrsmittel</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
Mitfahren	265	10
Andere Verkehrsmittel	2464	90
<b>Statistiken zur Modellanpassung</b>		
<b>Maß</b>	<b>Formel</b>	<b>Wert</b>
Log Likelihood	-	-688,4
Likelihood Ratio (R)	$2 * (\text{LogL} - \text{LogL0})$	2406,4
Upper Bound of R (U)	$-2 * \text{LogL0}$	3783,2
McFadden's LRI	R / U	0,6361
	<b>Parameter- schätzwert (Logit)</b>	<b>Pt &gt;  t  (Logit)</b>
<b>Konstanten</b>		
Mitfahren	-4,583	<0,001
<b>Alternativenspezifische Variablen</b>		
Mitfahren: Person in Mehrpersonenhaushalt mit Pkw	1,115	<0,001
Mitfahren: Weiblich	0,933	<0,001
Mitfahren: ohne Führerschein in Haushalt mit Pkw	1,032	<0,001
Mitfahren: Tourbeginn zwischen 18 und 21 Uhr	0,796	<0,001
Mitfahren: Hauptzweck der Tour Einkaufen	1,190	<0,001
Mitfahren: Hauptzweck der Tour Freizeit	1,106	0,002
Mitfahren: 10 - Tour-Km bei Touren < 10 km	-0,334	<0,001
Mitfahren: Tour-Km - 10 bei Touren > 10 km	0,009	0,038
<b>Nutzungsbeschreibende Variablen</b>		
GENUTZT: (Anzahl vorherigen Mitfahrens) <sup>0,25</sup>	1,205	<0,001
<b>Zeit</b>		
Zusätzl. Reisezeit im Vgl. zu schnellstem Alternativ-VM [Min]	-0,002	0,128

Tabelle 18: Logit-Modell Mitfahren bei Nichtpendeltouren

### 3.2.9.3 Nichtpendeltouren - Verkehrsmittel zu Fuß, Fahrrad, MIV als Fahrer, ÖV

Beim Verkehrsmittelwahlmodell für Nichtpendeltouren, die nicht als Mitfahrer erledigt werden, konnten alle in Gleichung 14 beschriebenen neuen Elemente in die Nutzenfunktion eingeführt werden.

Die Signifikanz dieser nutzungsbeschreibenden Variablen (GENUTZT, RGENUTZT, PENDELVM) in Tabelle 19 zeigt, dass die getroffenen Annahmen zu sinnvollen Ergänzungen der konventionellen Form von Verkehrsmittelwahlmodellen führen: Je häufiger Verkehrsmittel im Vorfeld einer Tour schon einmal von einer Person gewählt wurden, desto wahrscheinlicher ist die Wiederwahl. Dies gilt besonders, wenn die betreffende Person das Verkehrsmittel schon einmal für eine routinierte Tour verwendet hat, die derjenigen gleicht, die sie im Begriff ist durchzuführen. Pendelverkehrsmittel werden auch im übrigen Alltag bevorzugt eingesetzt.

Auch hier spielen die alternativenspezifischen Variablen über ihre Funktion zur Beschreibung der Choice-Sets hinaus eine wichtige Rolle bei der Verkehrsmittelwahl:

- Junge Verkehrsteilnehmer unter 22 Jahren haben eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, das Fahrrad zu wählen.
- Personen mit persönlichem Pkw haben eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, den Pkw zu wählen.
- Bei Parkplatzproblemen in den jeweiligen Zielzellen sinkt die Wahrscheinlichkeit, den Pkw zu wählen, signifikant.

Die Eigenschaften der Alternativen Zeit und Kosten zeigen plausiblen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl. Sowohl Zeit als auch Kosten werden negativ bewertet. Auch hier erwies es sich im Sinne der Maximierung des Erklärungsgehaltes des Modells als günstig, die Zeit nicht linear, sondern mit der Quadratwurzel eingehen zu lassen. Des weiteren zeigt sich, dass die Zeit (zu Fuß) etwas negativer bewertet wird als die Zeit mit anderen Verkehrsmitteln. Aus der Nichtlinearität der Zeitbewertung ergeben sich nichtlineare Zeitkostensätze, die in Abbildung 24 dargestellt sind. Die mit der Gesamtreisezeit auf einer Tour abnehmenden Zeitkostensätze decken sich mit der Alltagserfahrung, dass bei längeren Wegen eine zusätzliche Minute Reisezeit bei der Verkehrsmittelwahl weniger ins Gewicht fällt als bei kurzen Wegen.

Modellbeschreibung Verkehrsmittelwahl Nichtpendeltouren		
Modellierte Wahrscheinlichkeit	Verkehrsmittel Nichtpendeltouren	
Datensatz	Erlangen 2005	
Modell	Conditional Logit	
Beobachtungen und Verteilung im Datensatz [Erlangen 2005; gewichtet]		
Verkehrsmittel	N	%
Fuß	414	17
Fahrrad	871	35
MIV als Fahrer	941	38
ÖV	238	10
Statistiken zur Modellanpassung		
Maß	Formel	Wert
Log Likelihood	-	-1922,0
Likelihood Ratio (R)	2 * (LogL - LogL0)	2987,0
Upper Bound of R (U)	- 2 * LogL0	6831,7
McFadden's LRI	R / U	0,4372
	Parameter- schätzwert (CLogit)	Pr >  t  (CLogit)
<b>Konstanten</b>		
Fuß	1,248	<0,001
Fahrrad	0,008	0,955
MIV als Fahrer	-0,330	0,038
<b>Alternativenspezifische Variablen</b>		
Fuß: Zeit [Min]	-0,012	0,002
Fahrrad: Person unter 22 Jahre	0,678	<0,001
Fahrrad: kein Fahrrad zur Verfügung	-3,852	<0,001
MIV als Fahrer: persönlicher Pkw	0,589	<0,001
MIV als Fahrer: kein Pkw zur Verfügung	-3,296	<0,001
MIV als Fahrer: Parkplatzprobleme am Ziel	-0,014	<0,001
ÖV: Person nutzt keinen ÖV	-4,385	<0,001
ÖV & MIV: Tour > 4 Km	0,174	<0,001
<b>Nutzungsbeschreibende Variablen</b>		
GENUTZT: (Anzahl vorheriger Nutzungen des VM) <sup>0,25</sup>	0,785	<0,001
RGENUTZT: VM bereits für dieselbe Routine genutzt	1,637	<0,001
IPENDELVM: VM ist Pendelverkehrsmittel	0,332	<0,001
<b>Zeit, Kosten:</b>		
(Zeit [Min]) <sup>0,5</sup>	-0,730	<0,001
Kosten [Euro]	-0,281	<0,001

Tabelle 19: Logit-Modell Verkehrsmittelwahl Nichtpendeltouren für Fuß, Fahrrad, Pkw als Fahrer, ÖV

### Zeitkostensätze nach Gesamtreisezeit

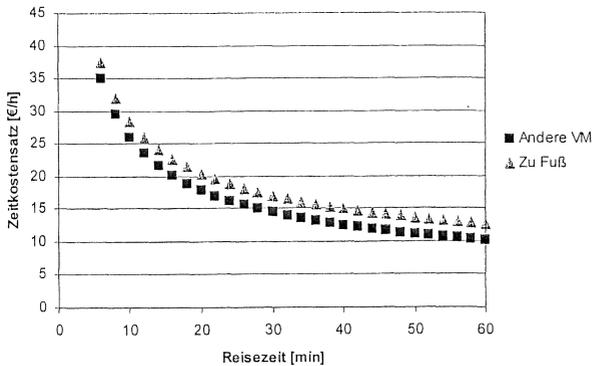


Abbildung 24: Zeitkostensätze in Abhängigkeit der Reisezeit

#### 3.2.9.4 Verkehrsmittelwahl auf Pendeltouren

Bei der in Abschnitt 3.2.4 beschriebenen Wahl eines Hauptpendelverkehrsmittels ist jedem Pendler in der Simulationsstichprobe das wichtigste Pendelverkehrsmittel zugewiesen worden. Dieses Hauptpendelverkehrsmittel spielt eine wichtige Rolle, da es z.B. die verfügbaren Zeitbudgets von Pendlern beeinflusst und darüber mitentscheidet, ob Personen eine Zeitkarte besitzen.

An einzelnen Tagen wird allerdings zum Teil auf andere Verkehrsmittel ausgewichen, d.h. auch beim Pendeln wird das Verkehrsmittel variiert ( $VMWX = 0,1$ ; siehe Abschnitt 2.3.2). Grund hierfür kann zum Beispiel das Wetter sein oder, dass das Pendeln mit anderen Aktivitäten wie Einkaufen verknüpft wird. Diese Variation des Verkehrsmittels beim Pendeln kann nicht abgebildet werden, wenn den simulierten Personen für jede Pendeltour immer das zuvor festgelegte Hauptpendelverkehrsmittel zugewiesen wird.

Auf Basis des vorliegenden Erlangen Datensatzes kann kein Modell geschätzt werden, das die Variation des Verkehrsmittels beim Pendeln an verschiedenen Tagen abbilden kann, da es sich um eine Stichtagsbefragung handelt. Deshalb wurde zunächst ein Modell geschätzt, das die Wahlsituation am Stichtag möglichst gut abbildet.

Tabelle 20 zeigt das Ergebnis dieser Modellschätzung, die weitgehende Ähnlichkeit mit der Ergebnissen der Hauptpendelverkehrsmittelwahl aufweist (Tabelle 15). Der Unterschied besteht darin, dass bei dem Modell in Tabelle 20 nicht der direkte Weg Wohnen  $\square$  Arbeiten  $\square$  Wohnen für Eigenschaften der Tour unterstellt wurde. Stattdessen wurde berücksichtigt, wenn auf dem Weg von oder zu der Arbeit andere Akti-

vitäten eingeschoben wurden. Dadurch erreicht dieses Modell einen höheren Erklärungsgehalt als das Modell zur Bestimmung des Hauptpendelverkehrsmittels. Die Parameterschätzwerte fallen erwartungsgemäß sehr ähnlich aus, damit kann das Modell analog zu Abschnitt 3.2.4 interpretiert werden. Lediglich die Parkplatzprobleme spielen nun eine etwas deutlichere Rolle. Dies ist auch verständlich, da bei eingeschobenen Aktivitäten die Vorteile der einfachen Parkplatzverfügbarkeit, die oft am Arbeitsplatz gelten, keine Rolle spielen.

Ein unveränderter Einsatz dieses Modells in der Anwendung würde jedoch Probleme mit sich bringen: Erstens entstehen Konsistenzprobleme, da die Rolle des zuvor beschriebenen Hauptpendelverkehrsmittels nicht beachtet wird. Zweitens könnte die deutliche Stabilität der Verkehrsmittelwahl beim Pendeln nicht abgebildet werden. Deshalb wird in die Nutzenfunktion, die in der Modellschätzung ermittelt wurde, ein zusätzliches Element  $\theta$  integriert, das die Sonderrolle des zuvor bestimmten Hauptpendelverkehrsmittels beschreibt und gleichzeitig für Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl im Modell sorgt:

$$\begin{aligned}
 U_{ni} = & \beta_i \\
 & + \beta_{AS_i} AS_{i,j} + \beta_{AS_{i+1}} AS_{i,j+1} + \dots \\
 & + \beta_{ZEIT} Zeit_i + \beta_{KOSTEN} Kosten_i \\
 & + \theta_{HPENDELVM} HPENDELVM_i
 \end{aligned}
 \tag{GL. 17}$$

Mit:  $\theta_{HPENDELVM}$  Koeffizient, wenn Verkehrsmittel  $i$  Pendelverkehrsmittel ist  
 $HPENDELVM_i$  = 1 wenn Verkehrsmittel  $i$  Pendelverkehrsmittel ist

Der Koeffizient  $\theta$  in Gleichung 17 kann wie beschrieben nicht zusammen mit den anderen Modellkoeffizienten anhand des Erlangen Datensatzes geschätzt werden. Aus dem MOP ist jedoch bekannt, dass für Pendelwege gilt  $VMWX = 0,1$ . Somit kann  $\theta$  so kalibriert werden, dass bei Modellanwendungen ein angemessenes Maß an Varianz bei der Verkehrsmittelwahl auf Pendelwegen erreicht wird. Für den untersuchten Anwendungsfall Erlangen hat sich  $\theta = 2,8$  als sinnvoll erwiesen.

Ein Vergleich mit den anderen Koeffizienten aus Tabelle 20 zeigt, dass bei  $\theta = 2,8$  das Hauptpendelverkehrsmittel die Nutzenfunktion erwartungsgemäß deutlich dominiert. Anschaulich interpretiert führt dieses Modell in der Anwendung zu folgendem Ergebnis: In der Regel wird für eine Pendeltour das zuvor definierte Hauptpendelverkehrsmittel verwendet. Es besteht jedoch eine gewisse, von der jeweiligen Situation abhängige Wahrscheinlichkeit, dass auf andere Verkehrsmittel ausgewichen wird. Insofern bietet Gleichung 17 eine anwendungsorientierte und sinnvolle Modellformulierung, auch wenn das Modell nicht geschlossen geschätzt werden kann.

Modellbeschreibung Verkehrsmittelwahl Pendeltouren		
Modellierte Wahrscheinlichkeit	Verkehrsmittel Pendeltouren	
Datensatz	Erlangen 2005	
Modell	Conditional Logit	
Beobachtungen und Verteilung im Datensatz [Erlangen 2005; gewichtet]		
Verkehrsmittel	N	%
Fuß	90	8
Fahrrad	469	40
MIV als Fahrer	412	36
ÖV	189	16
Statistiken zur Modellanpassung		
Maß	Formel	Wert
Log Likelihood	-	-756,8
Likelihood Ratio (R)	$2 * (\text{LogL} - \text{LogL0})$	1702,6
Upper Bound of R (U)	$-2 * \text{LogL0}$	3216,2
McFadden's LRI	R / U	0,5294
	Parameter- schätzwert (CLogit)	Pr >  t  (CLogit)
<b>Konstanten</b>		
Fuß	1,175	<0,001
Fahrrad	0,149	0,395
MIV als Fahrer	-1,190	<0,001
<b>Alternativenspezifische Variablen</b>		
Fuß: Zeit [Min]	-0,044	<0,001
Fahrrad: Student	0,338	0,085
Fahrrad: kein Fahrrad zur Verfügung	-3,153	0,002
MIV als Fahrer: persönlicher Pkw	1,391	<0,001
MIV als Fahrer: Erwerbstätig	0,413	0,079
MIV als Fahrer: kein Pkw zur Verfügung	-3,332	<0,001
MIV als Fahrer: Parkplatzprobleme am Ziel	-0,011	0,019
ÖV: Person nutzt keinen ÖV	-3,059	<0,001
ÖV: einfacher Pendelweg < 2KM	-1,070	0,014
ÖV & MIV: Tour > 4 Km	0,331	<0,001
<b>Zeit, Kosten:</b>		
(Zeit [Min]) <sup>0,5</sup>	-0,373	<0,001
Kosten [Euro]	-0,492	<0,001

Tabelle 20: Logit-Modell Verkehrsmittelwahl Pendeltouren

### **3.3 Modelldiskussion anhand des Analysefalls Erlangen 2005**

Im Folgenden wird das beschriebene Längsschnittmodell in einem Analysefall auf die Stadt Erlangen angewendet. Diese Modellanwendung dient der Modellevaluation und Diskussion der Güte der Ergebnisse. Eine Anwendung auf Erlangen bietet sich an, da für diese Stadt der beschriebene Befragungsdatensatz aus dem Jahr 2005 zur Verfügung steht. Damit ist zum einen gewährleistet, dass die Verkehrsmittelwahlmodelle, die auf Basis des Erlangen-Datensatzes geschätzt wurden, für diesen Anwendungsfall geeicht sind. Zum zweiten bietet die Befragung Erlangen eine Basis, um vergleichen zu können, wie gut die simulierten Ergebnisse im Querschnitt mit der erhobenen Verkehrsnachfrage übereinstimmen. Nähere Angaben zum Analysefall Erlangen folgen im nächsten Abschnitt.

Die Erwartung an das vorgestellte Modell ist bei der Abbildung der Verkehrsnachfrage in Erlangen zunächst, Querschnittskenngößen gut wieder zu geben. Wie dies gelingt, wird im übernächsten Abschnitt dargestellt. Danach wird diskutiert, inwieweit es dem Modell gelingt, auch den Längsschnitt, insbesondere in Hinblick auf die Verkehrsmittelwahl, wirklichkeitsnah abzubilden.

#### **3.3.1 Angaben zum Analysefall Erlangen 2005**

Beim vorgestellten Analysefall wird das Verhalten der Bevölkerung Erlangens simuliert. Dabei beschränkt sich die Simulation auf 10% der Erlanger Haushalte, dies entspricht etwa zehntausend Personen. Das Stadtgebiet Erlangens wurde für die Simulation in 77 Zellen gegliedert. Die als Aktionsraum für die Simulationsbevölkerung ebenfalls relevante Umgebung wurde durch weitere 87 Zellen repräsentiert, so dass sich eine Gesamtzahl von 164 Verkehrszellen ergibt. Die Widerstandsmatrizen zwischen diesen Zellen wurden wie in Abschnitt 3.1.4 beschrieben ermittelt. Die zielwahlrelevanten Gelegenheiten lagen für die Zellen differenziert nach den Zwecken Arbeit, Ausbildung, Geschäftlich, Dienstlich, Einkaufen und Freizeit vor.

Ein für die Anwendung des Modells in der Praxis relevanter Wert ist die Rechenzeit: Diese ist beim vorgestellten Modell proportional zur modellierten Stichprobengröße und beträgt bei zehntausend Personen und durchschnittlicher Rechnerausstattung etwa 20 Minuten. Damit ist das Modell für den Praxiseinsatz in der Verkehrsnachfragemodellierung gut geeignet.

Da sich die Simulation im vorgestellten Analysefall auf die Bevölkerung Erlangens beschränkt, ist der Verkehr von außen nach Erlangen einfahrender Verkehrsteilnehmer nicht eingeschlossen. Zur Abbildung des Verkehrs auf der Infrastruktur durch Umlegung wäre somit also noch die ergänzende Simulation der Bevölkerung in relevanten Außenzellen notwendig. Zur Beurteilung der längsschnittorientierten Abbil-

derung der Verkehrsnachfrage ist jedoch die Simulation der Bevölkerung Erlangens ausreichend.

### 3.3.2 Abbildung der Verkehrsnachfrage im Querschnitt

Auf den folgenden Seiten sind typische Querschnittskenngrößen der Verkehrsnachfrage aus dem Simulationsergebnis den gemessenen Kenngrößen der Erhebung Erlangen 2005 gegenübergestellt. Dabei muss beachtet werden, dass sich diese Vergleiche nur auf die Wochentage Montag bis Freitag beziehen, obwohl die Simulation auch das Wochenende einschließt. In der Befragung Erlangen sind jedoch keine Wochenendtage enthalten, weshalb bei Berücksichtigung von Samstag und Sonntag keine vergleichbaren Kenngrößen ermittelt werden können.

Eckwerte der Mobilität pro Person und Tag	Verkehrsbeteiligung		Anzahl Wege		Kilometer		Minuten unterwegs		Minuten aushäusige Aktivitäten	
	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation
nach Status der Erwerbstätigkeit										
Nicht erwerbstätig	0,83	0,89	3,8	3,9	20	23	57	67	201	168
Schüler	0,91	0,97	3,6	4,0	15	15	58	65	370	401
Student	0,90	0,96	4,1	4,5	24	22	66	75	362	416
Erwerbstätig	0,93	0,96	3,9	3,9	27	27	68	72	448	455
Rentner	0,88	0,87	3,6	3,2	21	19	63	58	147	136
Erlangen Gesamt	0,90	0,93	3,8	3,8	23	23	64	68	339	327

Tabelle 21: Eckwerte der Mobilität pro Person und Tag nach Erwerbstätigkeit – Vergleich Befragung Erlangen und Simulation

In Tabelle 21 sind die zentralen Eckwerte der Mobilität nach Status der Erwerbstätigkeit im Vergleich Befragung und Simulation zusammengestellt. Es zeigt sich, dass die erhobenen Mobilitätskennziffern in den Simulationsergebnissen sowohl vom generellen Umfang als auch von der Struktur her gut getroffen werden. Lediglich die Verkehrsbeteiligung und die Minuten unterwegs fallen im Eckwert in der Simulation leicht erhöht aus. Die Minuten unterwegs fallen allerdings in der Befragung Erlangen auch im Vergleich zu den bundesweiten Kennwerten aus dem MOP sehr gering aus. Insgesamt zeigt sich in den verschiedenen Kenngrößen, dass die strukturellen Unterschiede zwischen aktiven und weniger aktiven Personengruppen in der Simulation wirklichkeitsnah wiedergegeben werden, auch wenn in einzelnen Größen Abweichungen zu erkennen sind.

In Tabelle 22 ist aufgeführt, wie sich die Aktivitäten der Personen in Befragung und Simulation in verschiedenen Altersklassen auf unterschiedliche Zwecke aufteilen. Auch hier sind die strukturellen Unterschiede zwischen den Altersklassen gut abge-

bildet. In der Randsumme liegt bei den Einkaufswegen eine Abweichung von sechs Prozentpunkten und bei den Freizeitwegen von drei Prozentpunkten vor. Bei der Interpretation muss beachtet werden, dass der Simulation MOP-Daten zugrunde liegen und dass in unterschiedlichen Erhebungen Aktivitätenzwecke unterschiedlich definiert sein können. Dies kann u.a. Ursache für Abweichungen sein.

Auffällig ist die Differenz bei den Ausbildungswegen: Trotz aktivitätenspezifischer Gewichtung der Agendazuordnung gelingt es nicht vollständig, den für Erlangen typischen, sehr hohen Anteil Ausbildungsaktivitäten im Modell wiederzugeben. Ohne aktivitätenspezifische Gewichtung fällt dieser Unterschied noch deutlicher aus (7% Ausbildungsaktivitäten). Im Grundsatz bietet der Ansatz des Modells jedoch die Option, die Agenden zu anzupassen und z.B. weitere Ausbildungsaktivitäten einzufügen. Dies ist eine Möglichkeit, simulierte Aktivitätenprogramme noch spezifischer an ein Untersuchungsgebiet anzupassen, auf die im Rahmen der hier vorgestellten Modellierung zunächst verzichtet wurde.

Aktivitätenverteilung nach Alter [%]	Altersklasse										Gesamt	
	10 bis unter 18		18 bis unter 30		30 bis unter 50		50 bis unter 65		65 und älter			
	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation						
Arbeit	1	0	15	11	25	27	23	20	3	0	16	16
Ausbildung	53	46	31	21	1	2	1	0	1	0	14	10
Einkauf / Besorgung	8	14	20	30	28	33	41	42	57	57	30	36
Freizeit	37	38	29	31	22	25	25	29	32	37	27	30
Sonstiges	1	2	5	8	24	13	10	8	6	6	13	9
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 22: Verteilung der Aktivitäten nach Zweck und Altersklasse der Personen - Vergleich Befragung Erlangen und Simulation

Abbildung 25 stellt dar, wie sich die Beginnzeitpunkte für Aktivitäten der verschiedenen Zwecke über den Tag verteilen. Auch hier zeigt sich eine gute strukturelle Übereinstimmung mit einzelnen Abweichungen. Die morgendliche Spitzenstunde zwischen 7 und 8 Uhr bei den Aktivitäten Arbeit und Ausbildung wird gut getroffen, auch wenn die Morgenspitze beim Zweck Arbeit in der Simulation etwas spitzer ausfällt und früher beginnt. Auch die Rückkehr zum Arbeitsplatz nach Ende der Mittagspause wird gut durch das Modell abgebildet. Die tageszeitliche Verteilung der Beginnzeitpunkte von Einkaufsaktivitäten wird durch das Modell ebenfalls gut getroffen.

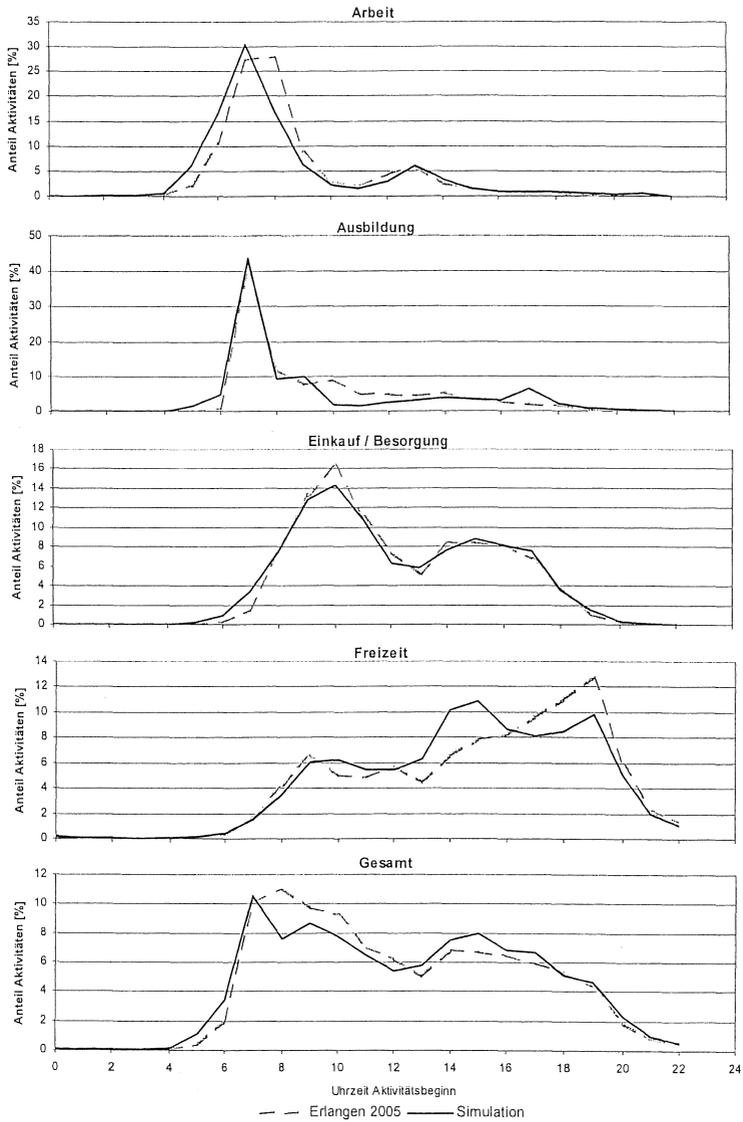


Abbildung 25: Ganglinie der Aktivitätsbeginne an Werktagen – Vergleich Befragung Erlangen 2005 und Simulation

Bei den Beginnzeitpunkten von Freizeitaktivitäten zeigt sich eine Verschiebung im Modell gegenüber den Erhebungsdaten, bei denen die Spitze eher in den frühen Abendstunden liegt. Statt dessen finden im Modell, dem MOP-Daten zugrunde liegen, mehr Freizeitaktivitäten in den Nachmittagsstunden statt. Gründe hierfür können lokale Verhaltensspezifika in Erlangen sein. Allerdings könnte dieser Unterschied z.T. auch darin begründet sein, dass die Erhebung in Erlangen im Sommer durchgeführt wurde, wohingegen das MOP im Herbst erhebt. Auch hier gilt wieder, dass der vorgestellte Modellansatz die Möglichkeit bietet, spezielle Verhaltenscharakteristika genauer wiederzugeben. Dies kann z.B. dadurch geschehen, dass die möglichen Zeitfenster der Aktivitäten in den Agenden entsprechend angepasst werden.

Weglängen- verteilung [%]	Wegzweck										Gesamt	
	Arbeit		Ausbildung		Einkauf / Besorgung		Freizeit		Sonstiges			
	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation
Kilometer												
0 - 4	37	42	65	59	59	62	53	54	51	58	53	55
4 - 8	26	24	21	28	25	19	24	19	26	19	25	21
8 - 12	12	7	7	7	8	6	9	7	9	7	9	7
12 - 16	6	6	2	2	3	3	4	5	4	5	4	4
16 - 20	6	8	2	2	2	5	2	7	3	5	3	6
20 - 24	5	6	2	1	2	2	2	4	3	3	3	4
24 - 28	3	2	1	1	0	1	1	2	1	1	1	2
28+	4	6	1	1	2	1	4	2	3	1	3	2
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 23: Weglängenverteilungen nach Zweck - Vergleich Befragung Erlangen 2005 und Simulation

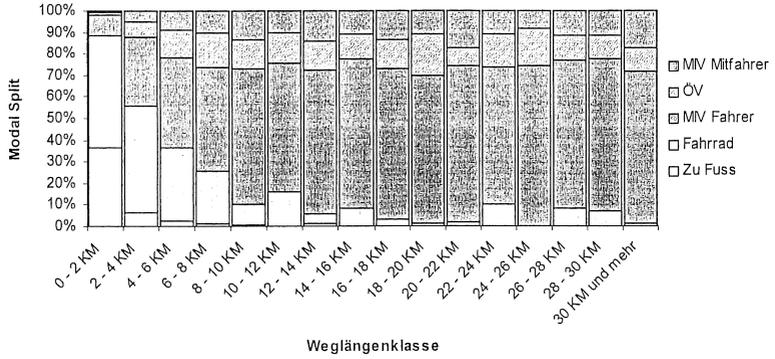
Tabelle 23 zeigt, dass die Weglängenverteilungen für Aktivitäten der verschiedenen Zwecke in der Simulation zufriedenstellend mit den gemessenen Weglängenverteilungen übereinstimmen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für eine wirklichkeitsnahe Abbildung des Modal Split, der in Tabelle 24 vergleichend zusammengestellt ist. Das Modell gibt die Struktur der Verkehrsmittelwahl im Querschnitt gut wieder. Dies gilt insbesondere auch für den hohen Fahrrad-Anteil. Auch die zweckspezifischen Modal Splits sind gut getroffen, lediglich bei den "sonstigen Wegen" gibt es größere Abweichungen, die sich auch im Eckwert des Fußgängeranteils niederschlagen.

Modal Split nach Zweck [%]	Arbeit		Ausbildung		Einkauf / Besorgung		Freizeit		Sonstiges		Nach Hause		Gesamt	
	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation	Erlangen 2005	Simulation
Zu Fuß	9	9	16	12	17	20	19	17	11	19	13	18	14	17
Fahrrad	33	32	55	53	33	34	37	33	30	33	39	36	38	36
MIV Fahrer	47	46	8	14	36	32	28	33	52	39	32	32	33	32
ÖV	9	9	17	17	7	7	6	7	4	5	9	8	8	8
MIV Mitfahrer	2	3	4	3	7	7	10	9	3	3	7	7	6	7
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 24: Modal Split nach Zweck – Vergleich Befragung Erlangen 2005 und Simulation

Abbildung 26 stellt vergleichend den Modal Split der Befragung und des Modells nach Entfernungsklassen zusammen. Wegen der Stichprobengröße ist das Bild, das sich auf Basis des erhobenen Datensatzes ergibt, weniger einheitlich und Ausreißer fallen stärker ins Gewicht. Die strukturelle Übereinstimmung von erhobenem und simuliertem Modal Split und die Abbildung der typischen, speziellen Marktsegmente der unterschiedlichen Verkehrsmittel im Modell sprechen jedoch für eine wirklichkeitsnahe Wiedergabe der Verkehrsmittelwahl im Modell.

### Modal Split nach Weglänge - Erlangen 2005



### Modal Split nach Weglänge - Simulation

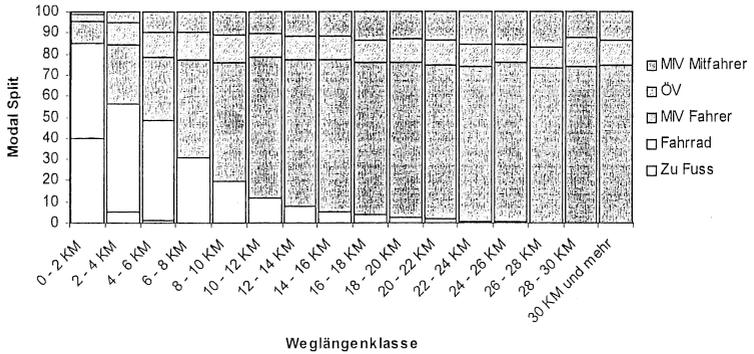


Abbildung 26: Modal Split nach Entfernung – Vergleich Befragung Erlangen 2005 und Simulation

### 3.3.3 Abbildung der Verkehrsnachfrage im Längsschnitt

Die Neuerung im vorgestellten Modell gegenüber herkömmlichen Modellen besteht darin, dass die Verkehrsnachfrage im Längsschnitt über eine Woche abgebildet wird. Es stellt sich somit die Frage, wie gut es dem Modell gelingt, längsschnittspezifische Kenngrößen des Verhaltens wiederzugeben. Dabei besteht das Problem, dass der Datensatz der Erhebung Erlangen wegen des Stichtagscharakters nur sehr eingeschränkt als Vergleichsbasis geeignet ist. Deshalb wird bei diesen längsschnittbezogenen Vergleichen i.d.R. auf das bundesweite MOP zurückgegriffen. Die Ergebnisse des Vergleichs müssen entsprechend interpretiert werden.

#### 3.3.3.1 Abbildung intrapersoneller Stabilität und Varianz bei Verkehrsentstehung und Zielwahl

Tabelle 25 stellt dar, welche Anteile der Gesamtvarianz im Datensatz der Simulation auf intrapersonelle Varianz zurückzuführen sind. Zum Vergleich sind die intrapersonellen Varianzanteile, wie sie im MOP vorliegen, aufgeführt. Um diesen Vergleich nicht durch Ausreißer und seltene Fernverkehrsereignisse im MOP-Datensatz zu beeinträchtigen, sind Wege über 50 km nicht eingeschlossen.

Es zeigt sich, dass die Aufteilung auf inter- und intrapersonelle Varianz in der Simulation die bundesweiten Werte sehr gut wiedergibt. Lediglich bei den Kilometern pro Person und Tag fällt der Anteil der intrapersonellen Varianz etwas gering aus. Das bedeutet, dass die Personen im Modell in Bezug auf ihre Verkehrsleistung etwas weniger von Tag zu Tag variieren als die Personen im MOP.

Mobilitätskenngröße (jeweils pro Person und Tag; ohne Wege > 50 km)	Anteil der intrapersonellen Varianz an der Gesamtvarianz im Wochendatensatz	
	MOP	Simulation Erlangen
Wege	0,59	0,63
Kilometer	0,58	0,52
Minuten unterwegs	0,65	0,62

Tabelle 25: Anteile der intrapersonellen Varianz an der Gesamtvarianz im Wochendatensatz – MOP und Simulation Erlangen im Vergleich

Tabelle 26 stellt die Aktivitätenhäufigkeit und die im Wochenverlauf aufgesuchten Ziele dar. Dabei besteht das Problem, dass die MOP-Daten nicht geocodiert sind und Ziele deshalb nicht räumlich genau bestimmt werden können. Deshalb wurde als Ziel in diesem Zusammenhang die Kombination Zweck und Entfernung von der Wohnung definiert. Dies ist unscharf, da beispielsweise zwei räumlich verschiedene Supermärkte, die jedoch in derselben Entfernung zur Wohnung liegen, als ein Ziel aufgefasst werden. Da jedoch dieselbe unscharfe Definition auf beide Datensätze angewendet wird, sind die Ergebnisse vergleichbar und geben Aufschluss über die Häufigkeit, mit der Ziele im Alltag aufgesucht werden. Außerdem sind bei dieser Definition Ziele von Aktivitäten in der Mitte längerer Aktivitätenketten nicht bestimmbar (kein

direkter Weg zwischen Wohnung und Ziel). Daher ist die Zahl der Aktivitäten an bestimmbar Ziel geringer als die Zahl Aktivitäten insgesamt.

Anzahl Aktivitäten und Häufigkeit von Zielen pro Person und Woche [Ziel = Kombination von Zweck und Entfernung von Wohnung]	Insgesamt		Ohne Arbeit/ Ausbildung	
	MOP	Simulation Erlangen	MOP	Simulation Erlangen
Anzahl Aktivitäten	14	13,3	11,2	10,2
Davon: Aktivitäten an bestimmbar Ziel	12,5	12,9	9,7	9,8
Davon: Unterschiedliche Ziele insgesamt	7	6,1	6,2	5,5
Davon: Nur einmal aufgesuchte Ziele	4,6	3,2	4,4	3,2

**Tabelle 26: Anzahl Aktivitäten und Häufigkeit von Zielen im Wochenverlauf - MOP und Simulation Erlangen im Vergleich**

Tabelle 26 zeigt, dass im MOP etwas mehr unterschiedliche Ziele insgesamt angesteuert werden als in der Simulation Erlangen und die Zahl der einmalig angesteuerten Ziele ebenfalls höher liegt. Dies bedeutet, dass im MOP die Ziele etwas stärker variiert werden als in der Simulation. Die simulierten Personen in Erlangen weisen somit eine geringfügig größere Routinisierung bei der Zielwahl auf als die Bevölkerung in Deutschland insgesamt.

Tabelle 27 zeigt die Anzahl der Touren und Routinen pro Woche. Obwohl im MOP mehr Aktivitäten pro Woche durchgeführt werden (Tabelle 26), fällt die Zahl der Touren pro Woche in der Simulation Erlangen etwas höher aus. Grund hierfür ist, dass im MOP auf Touren etwas mehr Aktivitäten verknüpft werden als in der Simulation.

Anzahl Touren und Routinen pro Person und Woche	Touren insgesamt		Ohne Pendeltouren	
	MOP	Simulation Erlangen	MOP	Simulation Erlangen
Anzahl Touren	10,2	11,8	7,6	8,9
Anzahl einmalige Touren	7,4	8,3	6,5	7,4
Anzahl routinierte Touren	2,8	3,5	1,2	1,5
Anzahl Routinen	1,0	1,3	0,5	0,7

**Tabelle 27: Anzahl Touren und Routinen pro Person und Woche - MOP und Simulation Erlangen im Vergleich**

Von den insgesamt 11,8 Touren pro Person und Woche in der Simulation sind 8,3 Touren einmalig, während 3,5 Touren unter die Definition routinierter Touren fallen (siehe Abschnitt 2.3.2). Das heißt, diese Touren wurden im Verlauf der Wochen mindestens zwei mal in sehr ähnlicher Form durchgeführt. Im Mittel ergeben sich 1,3 Routinen pro Person und Woche für den Simulationsdatensatz, d.h. zu einer Routine gehörten im Mittel 2,7 routinierte Touren. Ohne Beachtung der Pendeltouren ergeben sich geringere Werte, da das tägliche Pendeln typischerweise sehr routiniert abläuft. Im MOP fallen die Werte im Vergleich etwas geringer aus, der Grad der Routinisierung ist in der Simulation also geringfügig höher als bundesweit gemessen.

Insgesamt lässt sich sagen, dass das Verhältnis von intrapersoneller Stabilität und Varianz bei Verkehrsentstehung und Zielwahl im Modell gut abgebildet ist. Mit dem vorgestellten Ansatz gelingt es, in der Zielwahlmodellierung Routineelemente zu implementieren. Im Vergleich mit dem MOP-Datensatz ist die Ausbildung von Routinen im Simulationsdatensatz allerdings etwas deutlich ausgeprägt. Grund hierfür ist, dass die Personen im Modell bei der Zielwahl weniger stark variieren als im MOP. Dies schlägt sich auch im intrapersonellen Anteil der Varianz der Verkehrsleistung nieder, der in der Simulation etwas niedriger ausfällt als bundesweit gemessen. Bei Vorliegen eines geeigneten Datensatzes, der entsprechende Soll-Werte für die Varianz bei der Zielwahl enthält, ist hier eine bessere Kalibrierung des Zielwahlmodells denkbar.

### 3.3.3.2 Abbildung intrapersoneller Stabilität und Varianz bei der Verkehrsmittelwahl

Die kleinste sinnvolle Einheit des Längsschnittes sind die 24 Stunden eines Tages. Deshalb ist in Abbildung 27 die Bevölkerung nach den an einem Stichtag genutzten Verkehrsmitteln aufgeführt. Dabei ist noch ein Vergleich mit den Daten der Stichtagsbefragung Erlangen möglich. Es zeigt sich, dass das Modell die Nutzergruppen der Verkehrsmittel in Erlangen im Verlauf von 24 Stunden sehr gut abbildet. Gleichzeitig macht Abbildung 27 deutlich, dass der Vergleich von Simulationsergebnissen zur Verkehrsmittelwahl im Längsschnitt mit MOP-Ergebnissen der Interpretation bedarf: Die Verkehrsmittelnutzung in Erlangen weicht vom bundesweiten Mittel deutlich ab, insofern sind bei Vergleichen Unterschiede zu erwarten. Dies zeigt auch Abbildung 28, welche die Bevölkerung nach im Wochenverlauf meistgenutztem Verkehrsmitteln darstellt.

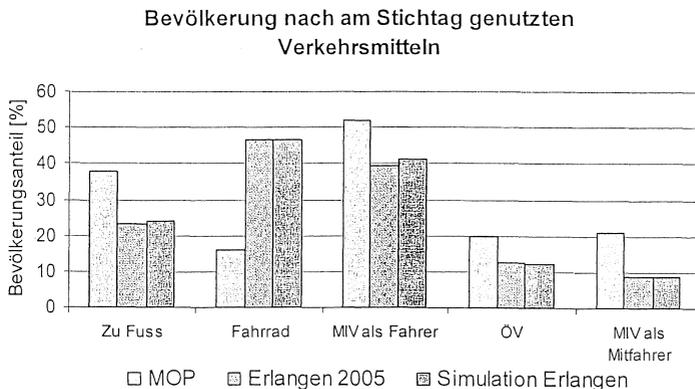


Abbildung 27: Bevölkerung nach am Stichtag genutzten Verkehrsmitteln (nur Werktage) – Vergleich Befragung Erlangen 2005, Simulation Erlangen und MOP

### Bevölkerung nach im Wochenverlauf meistgenutztem Verkehrsmittel

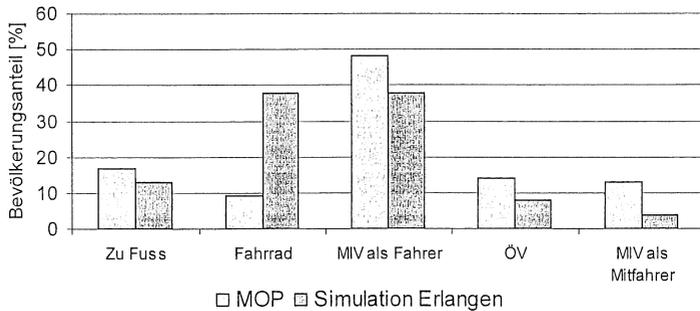


Abbildung 28: Bevölkerung nach im Wochenverlauf meistgenutztem Verkehrsmittel - Vergleich MOP und Simulation Erlangen

Anteil Monomodale und VM-Wechsel-Index	Anteil Monomodale [%]		VM-Wechsel-Index	
	MOP	Simulation Erlangen	MOP	Simulation Erlangen
<b>Bevölkerung nach meistgenutztem VM</b>				
Zu Fuß	6	9	0,37	0,36
Fahrrad	3	8	0,42	0,35
MIV als Fahrer	16	8	0,29	0,36
ÖV	6	5	0,4	0,43
MIV als Mitfahrer	11	1	0,4	0,53
Gesamt	11	7	0,34	0,37
<b>Touren nach Typ</b>				
Pendeltouren	72	71	0,1	0,09
Andere routinierte Touren	78	74	0,19	0,23
Einmalige Touren	15	10	0,38	0,42

Tabelle 28: Anteil Monomodale und Verkehrsmittelwechselindex VMWX - Vergleich MOP und Simulation Erlangen

Tabelle 28 stellt dar, inwieweit es dem Modell gelingt, Verkehrsmittelwechsel und damit die intrapersonelle Varianz und Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl wirklichkeitsnah abzubilden. Zunächst zeigt sich, dass der Anteil Monomodaler insgesamt in der Simulation Erlangen etwas geringer ausfällt als im Bundesdurchschnitt und dass Verkehrsmittel etwas häufiger gewechselt werden. Dies ist für den modellierten städtischen Raum durchaus zu erwarten.

Stärker als die Variation der Verkehrsmittelnutzung insgesamt weicht die Bindungskraft der einzelnen Verkehrsmittel in der Simulation von den MOP-Werten ab. Das

Verkehrsmittel Pkw als Fahrer bindet in der Simulation Erlangen seine Nutzer nicht stärker als die anderen Individualverkehrsmittel zu Fuß und Fahrrad. Mitfahrer im Pkw und ÖV-Fahrer nutzen in der Simulation in noch stärkerem Maße als im MOP weitere Verkehrsmittel. Diese Abweichungen im Einzelfall können mangels einer besseren Vergleichsdatenbasis nicht weitergehend interpretiert werden.

Die Analyse der Verkehrsmittelnutzung nach Tourentypen ergibt ein durchgehend stimmiges und im Vergleich zu den MOP-Daten plausibles Bild. Dabei gilt für die Pendeltouren, dass das Modell hier auf die Wiedergabe der im MOP gemessenen Varianz kalibriert wurde. Bei anderen routinierten Touren (Nichtpendelroutinen) weist die Verkehrsmittelwahl ein deutlich geringeres Maß an Varianz auf als bei einmaligen Touren, wobei die Simulationsbevölkerung Erlangen geringfügig stärker variiert als der bundesdeutsche Durchschnitt.

Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit zur Verfügung stehenden empirischen Daten zeigt insgesamt, dass das Modell in Hinblick auf Varianz und Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl gute und plausible Ergebnisse liefert. Zur Beurteilung von Abweichungen im Detail wären geeignete empirische Daten wünschenswert.

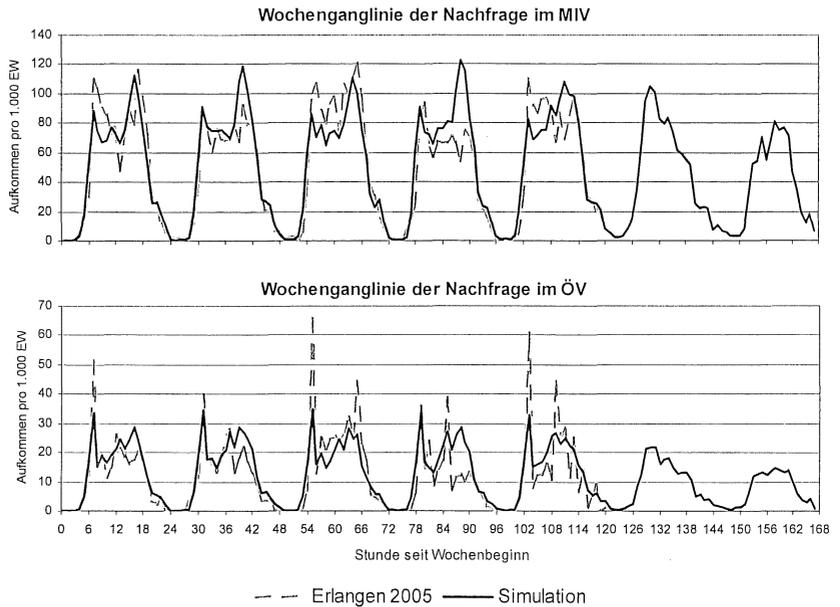
#### **3.3.4 Fazit der Modelldiskussion**

Zusammenfassend kann aus der Modelldiskussion und dem Vergleich der Modellergebnisse mit empirischen Daten der Schluss gezogen werden, dass das Modell das Mobilitätsverhalten sowohl im Querschnitt wie auch im Längsschnitt gut wiedergibt. Einzelne Abweichungen mit den Vergleichsdatensätzen sind in Bezug auf die Varianz bei der Zielwahl festzustellen. Bei Vorliegen einer stärker differenzierten Sekundärstatistik zu den Gelegenheiten im Modellraum und entsprechenden empirischen Vergleichsdaten zur Varianz bei der Zielwahl lässt sich hier ohne Veränderung der Modellansätze eine verbesserte Kalibrierung durchführen.

Weitere geringfügige Abweichungen zwischen Simulations- und Erhebungsergebnis sind der etwas kleinere Anteil von Ausbildungsaktivitäten im Modell und die zeitliche Lage von nachmittäglichen und abendlichen Freizeitaktivitäten. Bei Bedarf einer genaueren Wiedergabe von Messungen durch das Modell können hier Anpassungen in den zugeordneten Aktivitätenagenden vorgenommen werden. Dies dürfte jedoch nur bei speziellen Fragen relevant sein und in der Planungspraxis eine untergeordnete Rolle spielen.

Abbildung 29 zeigt die Nachfragewochenganglinie im MIV und im ÖV und damit eine längsschnittorientierte Aggregatauswertung der Simulation bzw. der Erhebung Erlangen. Wegen der Beschränkung der Erhebung auf Werktage, können keine Erhebungsergebnisse für das Wochenende aufgeführt werden. Die täglichen Schwankungen der Gesamtnachfrage im Erhebungsergebnis sind auf unterschiedliche

Stichprobengrößen an den Wochentagen zurückzuführen. Auch andere Unregelmäßigkeiten in den erhobenen Ganglinien sind auf stichprobenbedingte Schwankungen zurück zu führen.



**Abbildung 29: Wochenganglinie der Nachfrage im MIV und ÖV – Erhebung Erlangen 2005 und Simulation im Vergleich**

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die simulierte Ganglinie das Gesamtnachfrage-niveau treffend wiedergibt und auch die täglichen morgendlichen und nachmittäglichen Nachfragespitzen deutlich abbildet. Dabei fällt die Morgenspitze in der Tendenz etwas geringer und die Nachmittagsspitze etwas höher aus als in der empirischen Erhebung. Bei der Morgenspitze der ÖV-Nachfrage fallen die Unterschiede besonders deutlich aus. Grund hierfür kann insbesondere sein, dass der morgendliche Schulbeginn in Erlangen deutlich einheitlicher ist, als dies durch die bundesweiten MOP-Daten ohne Anpassung der Agenden wiedergegeben werden kann. Darüber hinaus ist das erhobene Verhalten von genauer Taktung der Fahrpläne beeinflusst, die dem Modell in der derzeitigen Fassung noch nicht zugrunde liegen.

Trotz dieser Unschärfen gibt das Modellergebnis im Vergleich zu heute in der Praxis eingesetzten Modellen die Nachfrage sehr differenziert und wirklichkeitsnah wieder. Abbildung 29 öffnet gleichzeitig den Blick auf die Anwendungsmöglichkeiten des Modells: Die Nachfrage auf der Infrastruktur stellt sich in der Realität zeitlich wesentlich

differenzierter dar, als dies in herkömmlichen Beurteilungs- und Bemessungskonzepten wie der 30. Stunde oder einem durchschnittlichen täglichen Verkehr DTV zum Ausdruck kommt. Mit dem vorgestellten Modell gelingt es, diese zeitliche Differenzierung im Längsschnitt auch in der Nachfragemodellierung darzustellen.

Darüber hinaus setzt sich der aggregierte Längsschnitt in der Realität aus sinnvollem und im Längsschnitt plausiblen individuellen Verhalten zusammen, das Komponenten von Routine und Varianz aufweist. Auf den Elementen der Verkehrsinfrastruktur sind nicht jeden Tag zur selben Zeit genau dieselben Verkehrsteilnehmer anzutreffen, aber es sind i.d.R. auch nicht jeden Tag vollständig verschiedene. Diese Mischung ist zudem räumlich und zeitlich variant. Mit dem vorgestellten Modell gelingt es, das richtige Verhältnis von Routine und Varianz, das die Verkehrsnachfrage auszeichnet, in Nachfragesimulationen wiederzugeben.

### **3.4 Nächste sinnvolle Modellerweiterungen**

Die Anwendung des vorgestellten Modells für den Analysefall Erlangen zeigt, dass das Modell in der vorliegenden Form bereits praxistauglich ist und eine sinnvolle Erweiterung bisheriger Modelle darstellt. In Anlage und Aufbau des Modells sind jedoch auch naheliegende Modellerweiterungen bedacht. Diese werden im Folgenden kurz diskutiert:

Die Berücksichtigung des Haushaltskontextes bei der Erstellung der Aktivitätenprogramme stellt den naheliegendsten Erweiterungsschritt dar. Hierfür müssen die Zuteilung der Agenden und der Scheduling-Algorithmus entsprechend angepasst werden. Dabei erscheint folgender Ansatz sinnvoll: Aktivitäten, die koordiniert im Haushaltskontext durchgeführt werden sollen, werden mit hoher Priorität versehen und bei jeder Person im Haushalt mit der selben Ort-Zeit-Kombination gesetzt. Erst danach werden die individuellen Aktivitätenwünsche beim Scheduling bearbeitet.

Bei einer Berücksichtigung des Haushaltskontextes ergibt sich die Möglichkeit, die limitierenden Wirkungen des Geldbudgets auf das individuelle Mobilitätsverhalten abzubilden, da das Geldbudget üblicherweise im Haushaltskontext bilanziert wird. Hierzu muss dem Haushalt schließlich noch ein wöchentlich verfügbares Geldbudget für Mobilität zugeteilt werden. Dies ist im vorgestellten Modell möglich, da Haushalte über ein Einkommen verfügen und die Verkehrsmittelverfügbarkeiten, die über die Fixkosten bestimmen, vorab modelliert werden.

Darüber hinaus lässt eine zukünftige Berücksichtigung des Haushaltskontextes auch weitere Verbesserungen in Hinblick auf die Verkehrsmittelwahl erwarten. Insbesondere bei der Abbildung der Wege als Mitfahrer ist der Haushaltskontext relevant. Aber auch die situative Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln lässt sich bei Berücksichtigung des Haushaltskontextes besser abbilden (Meister et al. 2005). Wenn z.B. be-

reits ein Haushaltsmitglied mit dem einzigen Pkw eines Haushaltes unterwegs ist, steht dieser für andere Haushaltsmitglieder nicht mehr zur Verfügung.

Noch weitere naheliegende Verbesserungen betreffen den GO-Algorithmus, der dem Aktivitäten-Scheduling zugrunde liegt. Derzeit ist die Matrix der Übergangzeiten zwischen Zielorten für alle Personen gleich (MIV-Fahrzeitenmatrix). Dies führt dazu, dass sich zunächst leichte Inkonsistenzen ergeben, wenn im späteren Verkehrsmittelwahlmodell andere Verkehrsmittel gewählt werden. Diese werden derzeit durch zeitliche Verschiebung von Aktivitäten nach der Verkehrsmittelwahl behoben. Da es sich in der Regel nur um wenige Minuten handelt, ist der begangene Fehler gering. Eine Verbesserung wäre hier dadurch möglich, dass Personen je nach verfügbaren Verkehrsmitteln und Entfernung der möglichen Zielorte von der Wohnung auf unterschiedliche Übergangsmatrizen zugreifen. Des Weiteren ist es sinnvoll, diese Übergangsmatrizen zeitlich, d.h. an der Nachfrageganglinie orientiert, zu differenzieren. Hierdurch könnten längere Zellübergangzeiten zu den Spitzenstunden abgebildet werden.

Auf dieser zeitlichen Differenzierung aufbauend ist weiterhin möglich, ein neues Optimierungskriterium für das zeitliche Setzen der Aktivitäten zu erproben: Während momentan die Aktivitäten zeitlich so gesetzt werden, dass sie möglichst nahe am angestrebten Zeitpunkt (Originalzeitpunkt lt. Erhebung) liegen, sind hier auch andere Kriterien denkbar: Vermeidung von Spitzenstunden, Fahrzeitminimierung, Fahrkostenminimierung o.ä. Für eine richtige Kalibrierung dieser lokalen Optimierung beim Setzen der Aktivitäten wäre allerdings unterstützende Empirie sinnvoll. Dies würde die Einsatzmöglichkeiten des Modells deutlich erweitern, z.B. in Hinblick auf die Modellierung der verkehrlichen Wirkungen geänderter Ladenschlusszeiten.

Diese dargestellten Ansätze stellen lediglich die nächsten sinnvollen Erweiterungsschritte dar. Es zeigt sich, dass im vorgestellten Modellaufbau viel Potential zur weiteren Entwicklung des Modells enthalten ist. Das Modell ist jedoch auch in der aktuell vorliegenden Form einsatzfähig wie der nachfolgende Anwendungsfall einer Prognose zeigt.

## 4 Anwendungsfall Erlangen 2020: Multimodale Verkehrsmittelnutzung in der Zukunft

### 4.1 Ausgangslage

Das vorgestellte Modell der Verkehrsnachfrage ist wegen seiner Längsschnitorientierung das erste Modell, das in der Lage ist, Verkehrsmittelnutzerkreise und deren Nutzung der verschiedenen Verkehrsmittel über den Zeitraum einer Woche abzubilden. Erstmals ist es damit möglich zu modellieren, wie die Verkehrsteilnehmer die ihnen gegebenen modalen Optionen nutzen.

Die verfügbaren Verkehrsmitteloptionen und ihre Ausnutzung sind für den Wettbewerb der Verkehrsträger von entscheidender Bedeutung. Dieser ist auch heute noch davon gekennzeichnet, dass viele Verkehrsteilnehmer nur eingeschränkte Wahlmöglichkeiten haben: Im Jahr 2002 ging etwa die Hälfte der bundesweiten Nachfrage im ÖV auf Captives zurück, 25% der ÖV-Nachfrage waren Schülerverkehre. Hinter einem weiteren Viertel standen Erwachsene ohne Führerschein (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung 2003). Beide Gruppen werden in den kommenden Jahrzehnten voraussichtlich in absoluten Zahlen und anteilig an der Bevölkerung deutlich abnehmen (Rürup Kommission 2003). Heute haben 17% der erwachsenen Deutschen keinen Führerschein, vornehmlich ältere Menschen. Kohorteneffekte lassen darauf schließen, dass der Anteil der Führerscheinbesitzer unter den Erwachsenen voraussichtlich auf etwa 90% anwächst (Beige 2004). Verstärkt werden diese Effekte durch die weiterhin zunehmende Motorisierung.

Diese Veränderungen der Rahmenbedingungen deuten darauf hin, dass der Anteil derjenigen in der Gesellschaft, die auf den ÖV angewiesen sind, in den nächsten Jahren deutlich abnimmt, wie dies bereits in der Vergangenheit der Fall war (Canzler & Knie 2005). Damit rücken diejenigen in das Blickfeld, die zwar MIV fahren, gleichzeitig jedoch auch den ÖV als Option haben und bei passender Gelegenheit auf ihn zurückgreifen, sich also multimodal verhalten.

Bislang konnten nur weitgehend qualitative und allgemeine Abschätzungen der Folgen dieser demografischen und gesellschaftlichen Veränderungen auf die Nutzerkreise der Verkehrsmittel und die multimodale Verkehrsmittelnutzung getroffen werden. Mit dem vorgestellten Modell bietet sich nun die Möglichkeit, die Folgen dieser Veränderungen für reale Untersuchungsräume quantitativ abzuschätzen.

Ein Beispiel für eine solche Vorausschätzung wird im Folgenden in einem Prognosefall Erlangen 2020 dargestellt. Um die isolierten Effekte der demografischen Veränderungen und der zunehmenden Motorisierung auf die Verkehrsmittelnutzung darzustellen, sind hier andere Entwicklungen □ z.B. regionale wirtschaftliche und sied-

lungsstrukturelle Veränderungen □ ausgeblendet. Prognosen zur demografischen Entwicklung lagen aus externen Quellen vor und wurden mit plausiblen Annahmen zur Motorisierungsentwicklung zu einem wahrscheinlichen Gesamtszenario zusammengestellt. Diese Annahmen und das resultierende Szenario werden im Folgenden zunächst beschrieben, bevor die darauf basierenden Ergebnisse der Verkehrsnachfragemodellierung dargestellt und diskutiert werden.

## 4.2 Bevölkerung und Motorisierung in Erlangen 2020

Die der Vorausschätzung der Verkehrsnachfrage zugrundegelegte demografische Entwicklung basiert auf der kleinräumigen Bevölkerungsvorausberechnung der Bertelsmann Stiftung (Bertelsmann Stiftung 2006) für Erlangen. Abbildung 30 zeigt die demografische Veränderung zwischen 2003 und 2020, die der Erstellung der Altersstruktur der Bevölkerung im Modell für das Jahr 2020 zugrunde gelegt wurde. Für Erlangen typisch ist zwar, dass die Bildungsmigration den Prozess der Alterung der Bevölkerung dämpft. Dennoch zeigt sich deutlich, wie der Anteil der jungen Altersklassen im betrachteten Zeitraum ab- und der Anteil der Älteren, insbesondere der über 80-Jährigen, zunimmt. Die Anzahl der Einwohner Erlangens insgesamt wird als nahezu unverändert (-0,4%) prognostiziert.

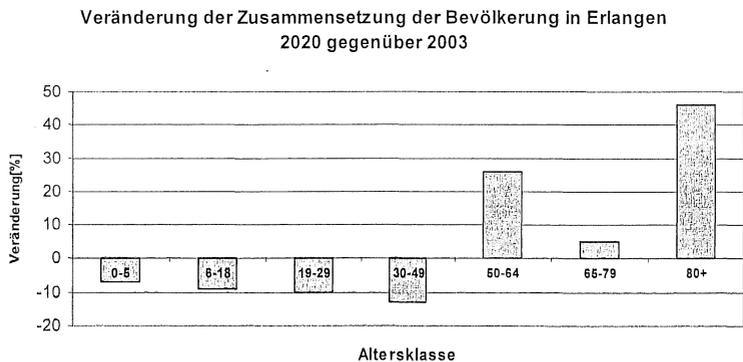


Abbildung 30: Veränderung der Alterstruktur der Bevölkerung in Erlangen 2020 gegenüber 2003 (Darstellung nach Bertelsmann Stiftung 2006)

Für die Motorisierungsentwicklung in den Jahren 2005 bis 2020 konnte nicht auf eine externe Prognose zurückgegriffen werden. Deshalb wurden der Vorausschätzung der Motorisierungsentwicklung in Erlangen Annahmen zugrunde gelegt, die auf der alters- und geschlechtsspezifischen Entwicklung der Zulassungszahlen nach bundesweiter KBA-Statistik (Abbildung 31; Krafftahrt-Bundesamt 2005) beruhen:

Für Männer bis 55 wird zwischen 2005 und 2020 eine Stagnation der weiteren Motorisierungsentwicklung angenommen. Beispiel: Männliche Erlanger im Alter von 45 Jahren verfügen 2020 über die selbe Anzahl Pkw wie 45-jährige Männer 2005 (864 Pkw pro 1.000 Einwohner).

Für Frauen bis 55 wird ein jährliches Wachstum der Motorisierung von 3% angenommen. Dies entspricht dem durchschnittlichen Motorisierungswachstum bei den Frauen unter 60 in den Jahren 1995 bis 2004. Es gilt allerdings die Einschränkung, dass Frauen die Männer in Hinblick auf die Motorisierung nicht überholen. Beispiel: Frauen im Alter von 45 Jahren (Motorisierung 2005: 674 Pkw pro 1.000 Einwohner) schließen bis 2020 zu den Männern auf (864 Pkw pro 1.000 Einwohner).

Für Männer und Frauen über 55 gelten Kohorteneffekte, d.h. die Personen einer jeweiligen Jahrgangsklasse behalten ihre geschlechtsspezifische Motorisierung bei. Beispiel: Die 60-jährigen männlichen Erlanger des Jahres 2020 weisen dieselbe Motorisierungskennziffer auf wie die 45-jährigen Erlanger 2005 (864 Pkw pro 1.000 Einwohner). Oder: Die 75-jährigen Erlangerinnen (Motorisierung 2005: 166 Pkw pro 1.000 Einwohner) weisen 2020 die selbe Motorisierungskennziffer auf, wie die 60-jährigen Erlangerinnen 2005 (518 Pkw pro 1.000 Einwohner).

Alters- und geschlechtsspezifische Motorisierungsentwicklung 1995 - 2004

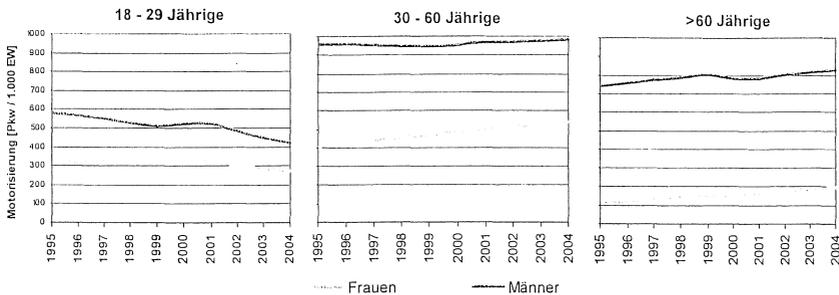


Abbildung 31: Alters- und geschlechtsspezifische Motorisierungsentwicklung 1995 – 2004 (eigene Darstellung nach Zulassungszahlen der KBA-Statistik)

Die Beispiele, welche die Annahmen zur Motorisierungsentwicklung illustrieren, machen deutlich, dass die größte Dynamik bei den Frauen über 60 zu erwarten ist: Bei diesen ist die Motorisierung wie auch der Führerscheinbesitz heute noch relativ gering. Legt man der weiteren Motorisierungsentwicklung die oben angenommenen Effekte zugrunde, geht die weitere Zunahme der Motorisierung v.a. auf das Konto der älteren Frauen.

Die Überlagerung der demografischen Effekte mit der prognostizierten Motorisierungsentwicklung ergibt das Bild in Abbildung 32: Hier ist die Zusammensetzung der Bevölkerung Erlangens 2020 nach Alter, Geschlecht und Pkw-Besitz dargestellt, die der Simulation der Verkehrsnachfrage 2020 zugrundegelegt wurde. Nach diesen Annahmen steigt der Eckwert der Motorisierung von heute 493 Pkw pro 1.000 Einwohner auf 563 Pkw pro 1.000 Einwohner. Damit ist dies ein eher wachstumsorientiertes Szenario, wobei das bei der guten wirtschaftlichen Ausgangsage Erlangens zum momentanen Zeitpunkt realistisch erscheint.

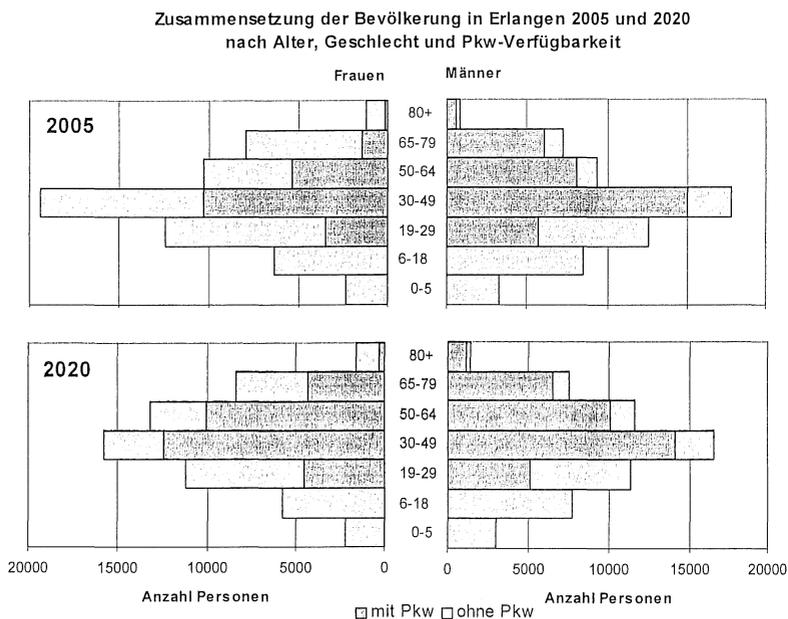


Abbildung 32: Zusammensetzung der Bevölkerung in Erlangen 2005 und 2020 nach Alter, Geschlecht und Pkw-Verfügbarkeit

### 4.3 Auswirkungen auf die Verkehrsmittelnutzung

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Annahmen zur Zusammensetzung der Bevölkerung nach Alter, Geschlecht und Pkw-Verfügbarkeit 2020 wurden einer Simulation der Verkehrsnachfrage zugrunde gelegt. Ziel war die Abschätzung der Auswirkungen der veränderten Bevölkerungszusammensetzung auf die Verkehrsmittelnutzung. Im Folgenden werden die sich abzeichnenden Veränderungen zwischen 2005 und 2020 dargestellt. Die Kenngrößen für beide Jahre basieren dabei jeweils auf Nachfragesimulationen anhand des vorgestellten Modells. Die oben dargestellten geringfügigen Abweichungen zwischen simulierter und erhobener Nachfrage 2005 haben damit auf die Veränderungen zwischen 2005 und 2020 keinen Einfluss.

Aus einer geänderten Zusammensetzung der Bevölkerung nach Alter und Geschlecht gehen Änderungen in der Struktur der Bevölkerung nach Status der Erwerbstätigkeit einher. Diese Veränderung wird auch in der Simulationsstichprobe abgebildet (Tabelle 29). Bei Schülern, Studenten und Auszubildenden ist zwischen 2005 und 2020 ein Rückgang zu erwarten, bei Rentnern eine deutliche Zunahme.

Bevölkerung über 10 Jahre nach Status der Erwerbstätigkeit [%]	2005	2020	Veränderung [%]
Nicht erwerbstätig	16,7	17,1	2
Schüler	7,6	7,0	-9
Student, Azubi	14,3	12,7	-11
Erwerbstätig	39,4	38,6	-2
Rentner	22,0	24,6	12
Summe	100	100	-

Tabelle 29: Bevölkerung Erlangens nach Status der Erwerbstätigkeit 2005 und 2020

Verkehrsleistung pro Person und Tag nach Status der Erwerbstätigkeit und Gesamt [km] (einschl. Samstag, Sonntag)	2005	2020	Veränderung [%]
Nicht erwerbstätig	21,2	21,0	-1
Schüler	13,7	14,0	2
Student, Azubi	20,4	20,2	-1
Erwerbstätig	24,5	24,6	0
Rentner	17,6	18,9	7
Erlangen gesamt	21,0	21,3	1

Tabelle 30: Verkehrsleistung der Bevölkerung Erlangens nach Status der Erwerbstätigkeit und gesamt 2005 und 2020

Tabelle 30 zeigt, welche Veränderungen in Hinblick auf die Verkehrsleistung bis 2020 zu erwarten sind. Lediglich bei den Rentnern zeichnet sich eine deutliche Zunahme ab, die auf die höhere Pkw-Verfügbarkeit und Nutzung unter den älteren Verkehrsteilnehmern zurückzuführen ist. Bei allen anderen Gruppen zeigen sich unter den getroffenen Annahmen kaum nennenswerte Änderungen. Die Zunahme der Verkehrsleistung der Rentner wird im Eckwert der Verkehrsleistung jedoch dadurch

weitgehend neutralisiert, dass der Anteil der Rentner in der Bevölkerung Erlangens zunimmt. Denn diese sind auch 2020 aller Voraussicht nach insgesamt noch unterdurchschnittlich mobil.

Unter den getroffenen Annahmen zeichnen sich wegen kompensatorischer Effekte in Bezug auf die Verkehrsleistung pro Person und Tag im Eckwert nur geringfügige Veränderungen bis 2020 ab. Wesentlich deutlichere Veränderungen sind in Hinblick auf die Verfügbarkeit und Nutzung der Verkehrsmittel zu erwarten, wie aus Tabelle 31 bis Tabelle 34 deutlich wird.

Wie bereits erläutert nimmt bis 2020 der Anteil der Verkehrsteilnehmer ohne Führerschein deutlich ab (Tabelle 31). Gleichzeitig steigt der Anteil derjenigen, die über einen persönlichen Pkw verfügen. Grund hierfür ist der zunehmende Anteil motorisierter Einpersonenhaushalte einerseits und die steigende Zweitmotorisierung im zugrundegelegten Szenario. Der leicht mögliche Zugriff auf einen jederzeit verfügbaren Pkw nimmt also zu.

Bevölkerung nach Pkw-Verfügbarkeit [%]	2005	2020	Veränderung [%]
Kein Führerschein	19,0	14,2	-25
Führerschein, kein Pkw im Haushalt	6,6	6,5	-2
Geteilter Pkw	46,1	40,9	-11
Persönlicher Pkw	28,3	38,4	36
Summe	100	100	-

**Tabelle 31: Bevölkerung Erlangens nach Pkw-Verfügbarkeit 2005 und 2020**

Bei Betrachtung der Bevölkerung nach Nutzerkreisen der motorisierten Verkehrsmittel (Tabelle 32) zeigt sich entsprechend, dass der Anteil derjenigen, die über einen Pkw verfügen von insgesamt 74% auf 79% steigt. Am deutlichsten wächst die Gruppe derjenigen, die den MIV als einziges motorisiertes Verkehrsmittel nutzen. Aber auch Verkehrsteilnehmer, die zwar den MIV nutzen jedoch bei Gelegenheit auch auf den ÖV zurückgreifen, werden etwas mehr.

Dabei wächst vor allem die Gruppe der seltenen ÖV-Nutzer unter den MIV-Fahrern, wie aus Tabelle 33 deutlich wird: Die Gruppe derjenigen, die binnen Wochenfrist sowohl den MIV als auch den ÖV nutzen, bleibt nahezu unverändert. Demgegenüber schrumpft die Gruppe derjenigen, die binnen Wochenfrist den ÖV als einziges motorisiertes Verkehrsmittel nutzen, um mehr als ein Zehntel.

Bevölkerung nach motorisierten Verkehrsmitteln im Choice-Set [%]	2005	2020	Veränderung [%]
Sowohl MIV als Fahrer als auch ÖV	46,3	48,2	4
Nur ÖV	22,3	18,2	-18
Weder MIV als Fahrer noch ÖV	3,3	2,5	-24
Nur MIV als Fahrer	28,1	31,0	11
Summe	100	100	-

Tabelle 32: Bevölkerung Erlangens nach motorisierten Verkehrsmitteln im Choice-Set 2005 und 2020

Bevölkerung nach binnen Wochenfrist genutzten motorisierten Verkehrsmitteln [%]	2005	2020	Veränderung [%]
Sowohl MIV als Fahrer als auch ÖV	19,8	19,5	-1
Nur ÖV	13,2	11,7	-12
Weder MIV als Fahrer noch ÖV	16,6	14,8	-11
Nur MIV als Fahrer	50,4	54,0	7
Summe	100	100	-

Tabelle 33: Bevölkerung Erlangens nach binnen Wochenfrist genutzten motorisierten Verkehrsmitteln 2005 und 2020

Diese Veränderungen schlagen sich auch im Modal-Split nieder (Tabelle 34): Während die nichtmotorisierten Verkehrsmittel nur leicht verlieren, sinkt der Anteil des ÖV deutlich. Demgegenüber steigt der Anteil der Wege, die mit dem MIV als Fahrer zurückgelegt werden.

Modal Split [%]	2005	2020	Veränderung [%]
Zu Fuß	17,2	17,0	-1
Fahrrad	35,7	34,9	-2
MIV als Fahrer	32,5	34,2	5
ÖV	8,0	7,4	-8
MIV als Mitfahrer	6,6	6,5	-1
Summe	100	100	-

Tabelle 34: Modal Split in Erlangen 2005 und 2020

Abbildung 33 stellt die Folgen dieser geänderten Verkehrsmittelnutzung für die Ganglinien der Nachfrage in ÖV und MIV dar: Der Rückgang der Nachfrage im ÖV betrifft nicht nur die Nachfragespitzen, die zu großen Teilen durch die in Zukunft weniger werdenden Schüler verursacht werden. Stattdessen bleiben die ausgeprägten Spitzen erhalten, da auch in den Nebenzeiten die Nachfrage deutlich sinkt. Hier leidet der ÖV unter der nachlassenden Nachfrage durch die Rentner. Der Umstieg der Rentner vom ÖV auf den Pkw macht sich in der MIV-Nachfrageganglinie durch die steigende Nachfrage in den Nebenzeiten bemerkbar.

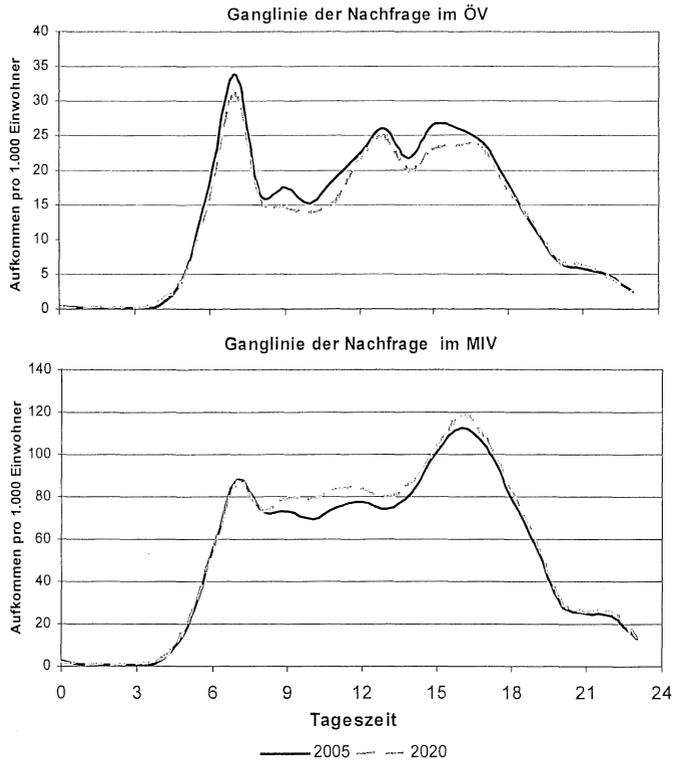


Abbildung 33: Ganglinie der Nachfrage in ÖV und MIV in Erlangen 2005 und 2020 (Montag bis Freitag)

In Tabelle 35 bis Tabelle 37 ist die voraussichtliche Veränderung der Nachfrage im ÖV zwischen 2005 und 2020 zusammengestellt. Unter den ÖV-Nutzern nimmt der Anteil derjenigen, die über keinen Führerschein verfügen um ein knappes Viertel ab (Tabelle 35). Demgegenüber steigt der Anteil der ÖV-Kunden mit persönlichem Pkw deutlich an (+42%). Das ÖV-Aufkommen fällt von heute etwa 320 Wegen pro 1.000 Einwohner und Tag auf ca. 300 Wege. Dabei ist der größte Rückgang bei Schülern, Studenten und Rentnern zu erwarten. Dementsprechend verschieben sich auch die Fahrtzwecke der ÖV-Fahrten: Arbeitspendler werden zu einer anteilig wichtigeren Kundengruppe, da hier die geringsten Rückgänge zu erwarten sind.

<b>Pkw-Verfügbarkeit der ÖV-Kunden [%]</b>			
<b>Pkw-Verfügbarkeit</b>	<b>2005</b>	<b>2020</b>	<b>Veränderung [%]</b>
Kein Führerschein	29,5	22,7	-23
Führerschein, kein Pkw im Haushalt	10,4	10,9	5
Geteilter Pkw	40,1	37,9	-5
Persönlicher Pkw	20,1	28,6	42
Summe	100	100	-

Tabelle 35: Pkw-Verfügbarkeit der ÖV-Kunden in Erlangen 2005 und 2020

<b>ÖV-Aufkommen pro 1.000 Einwohner und Tag nach Status der Erwerbstätigkeit der ÖV-Kunden (Montag bis Freitag)</b>			
<b>Status der Erwerbstätigkeit</b>	<b>2005</b>	<b>2020</b>	<b>Veränderung [%]</b>
Nicht erwerbstätig	38	40	6
Schüler	55	48	-13
Student	68	56	-17
Erwerbstätig	108	108	-1
Rentner	53	48	-11
Summe	322	299	-7

Tabelle 36: ÖV-Aufkommen in Erlangen nach Status der Erwerbstätigkeit der ÖV-Kunden 2005 und 2020

<b>ÖV-Aufkommen pro 1.000 Einwohner und Tag nach Fahrtzweck (Montag bis Freitag)</b>			
<b>Zweck</b>	<b>2005</b>	<b>2020</b>	<b>Veränderung [%]</b>
Arbeit	32	31	-2
Ausbildung	39	33	-16
Einkauf / Besorgung	49	47	-5
Freizeit	44	41	-7
Sonstiges	10	10	0
Nach Hause	148	138	-7
Summe	322	299	-7

Tabelle 37: ÖV-Aufkommen in Erlangen nach Fahrtzweck 2005 und 2020

#### 4.4 Fazit der Abschätzung zukünftiger Verkehrsmittelnutzung

Das in dieser Arbeit vorgestellte Modell zur längsschnittorientierten Abbildung der Verkehrsnachfrage wurde zur Abschätzung der zukünftigen Nutzung der Verkehrsmittel in Erlangen eingesetzt. Dabei liefert es durchgängig schlüssige Ergebnisse.

Auf der Grundlage der getroffenen Annahmen einer geänderten Alterstruktur und der deutlich steigenden Pkw-Verfügbarkeit zeichnen sich zwischen 2005 und 2020 folgende Änderungen in der Verkehrsnachfrage ab: Die zukünftigen Senioren weisen zwar gegenüber älteren Menschen heute einen höheren Pkw-Besitz und gestiegene Mobilität auf. Aber der Anteil der Senioren nimmt ebenfalls zu und ältere Verkehrsteilnehmer sind insgesamt auch in Zukunft weiterhin unterdurchschnittlich mobil. Dies führt in der Summe dazu, dass sich der Eckwert der Nachfrage gegenüber heute kaum ändert. Die Nutzung des ÖV ist wegen zurückgehender Schülerverkehre und höherer Pkw-Verfügbarkeit unter älteren Verkehrsteilnehmern rückläufig. Zwar steigt auch der Anteil der grundsätzlich Multimodalen, d.h. der Pkw-Fahrer mit gelegentlicher ÖV-Nutzung. Diese nutzen den ÖV jedoch zu selten, um die Rückgänge durch weniger Captives aufzufangen. Die Zunahme der Senioren und deren verstärkte Nutzung des MIV führt dazu, dass die MIV-Nachfrage v.a. außerhalb der Spitzenstunden steigt.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich bereits heute die Aufgabe für den ÖV ableiten, gerade auf den Kundenkreis der seltenen ÖV-Fahrer einzugehen, um sich hier die Klientel der Zukunft aufzubauen (Oram & Stark 1996). Die Preisentwicklung auf dem Verkehrsmarkt und der Umstand, dass es dem ÖV auch in den vergangenen Jahren gelungen ist, seinen Stand zu behaupten (Zumkeller et al. 2005), deuten darauf hin, dass eine solche Strategie durchaus erfolgreich sein kann.

Diese absehbaren Veränderungen sind bereits in früheren Arbeiten qualitativ beschrieben worden (Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen 2006a). Mit dem vorgestellten Modell wurde es erstmals möglich, die Veränderungen der multimodalen Verkehrsmittelnutzung für einen realen Untersuchungsraum quantitativ zu beschreiben.

Längsschnitterhebungen wie das MOP liefern die Grundlage für aktuelle Analysen biografischer Aspekte der Mobilität (Ottmann 2007). Auf der Grundlage solcher Analysen ließen sich die der Prognose für Erlangen zugrunde gelegten Szenarien noch deutlich verbessern. Es stellt sich z.B. die Frage, ob die zukünftigen Senioren unabhängig von Pkw-Besitz nicht aktiver als die heutigen sein werden, da sie deutlich mobilere Jahrgangskohorten sind. Andererseits könnten die Kohorteneffekte im Hinblick auf den Pkw-Besitz weniger ausgeprägt ausfallen als im Modell angenommen: Im zugrundegelegten Szenario behalten Erwerbstätigenhaushalte mit zwei Pkw ihre hohe Motorisierung von 2005 bis 2020 bei. In Anbetracht ökonomischer Rahmenbe-

dingungen dürften jedoch viele Rentnerhaushalte den Zweit-Pkw wieder abschaffen und sich mit einem Pkw begnügen.

Für die Abbildung solcher Effekte - Kohorteneffekte in Hinblick auf Art und Umfang der Mobilität sowie mobilitätsbiografische Aspekte der Verkehrsmittelverfügbarkeit - liegen derzeit noch keine für die Modellierung anwendbaren Erkenntnisse aus Analysen zu Mobilitätsbiografien vor. Das im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Modell ist in der Lage, zukünftig solche mobilitätsbiografischen Ansätze zu integrieren und damit Zukunftsszenarien noch genauer abzubilden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Verkehrsmodelle dienen dazu, verkehrspolitische und -planerische Entscheidungen zu unterstützen, indem sie Zusammenhänge offen legen und die Verkehrsnachfrage unter variierenden Rahmenbedingungen darstellen. Die Möglichkeiten der Begutachtung und Bewertung von Nachfragezuständen sind dabei umso umfassender, je differenzierter ein Modell die Nachfrage abbildet. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Modell der Verkehrsnachfrage im Alltag vorgestellt, das insbesondere hinsichtlich der zeitlichen Differenzierung der Nachfrage neue Möglichkeiten eröffnet. Darüber hinaus bildet es ab, wie Verkehrsteilnehmer die ihnen gegebenen Optionen, z.B. in Hinblick auf Verkehrsmittelwahl, nutzen und berücksichtigt Budgetrestriktionen bei der Modellierung von Mobilitätsverhalten.

Das vorgestellte Modell simuliert mikroskopisch die Verkehrsnachfrage einer virtuellen Bevölkerung über den Zeitraum einer Woche. Dabei werden erhobene Aktivitätenprogramme aus dem deutschen Mobilitätspanel MOP mithilfe eines Greedy-Algorithmus an die Rahmenbedingungen im jeweiligen Untersuchungsgebiet angepasst. Dadurch sind Konsistenz und Plausibilität des Verhaltens bei den simulierten Aktivitätenprogrammen gewährleistet.

Der besondere Fokus des vorgestellten Modells liegt auf der realitätsnahen Abbildung von intrapersoneller Varianz und Stabilität bei der Verkehrsmittelwahl, also auf der Wiedergabe multimodalen Verhaltens. Hierzu werden die grundsätzlichen Nutzerkreise der Verkehrsmittel vorab modelliert. Individuell werden für die Personen in der Simulationsbevölkerung die Verkehrsmittelverfügbarkeiten festgelegt, wobei der Hintergrund dieser Verkehrsmittelverfügbarkeiten objektiv wie subjektiv sein kann.

Darüber hinaus bildet das Verkehrsmittelwahlmodell Vorlieben und routinierte Verkehrsmittelnutzung ab, indem die Nutzenfunktion des Verkehrsmittelwahlmodells durch neue Elemente ergänzt wird. Diese neuen Elemente zeigten sich in der Schätzung des Verkehrsmittelwahlmodells allesamt signifikant. Sie erhöhen somit den Erklärungsgehalt des Wahlmodells und führen zudem dazu, dass die Verkehrsmittelwahl im Längsschnitt das richtige Maß an Varianz und Stabilität aufweist.

Auf diese Weise gelingt es dem vorgestellten Modell nicht nur, langfristige Verkehrsmittelnutzerkreise abzubilden, sondern auch deren Nutzungshäufigkeit verschiedener Verkehrsmittel binnen Wochenfrist zu modellieren. Damit können Verkehrsmittelnutzerkreise und multimodales Verhalten in Plan- und Prognosefällen berücksichtigt werden.

Die Relevanz der Verkehrsmittelnutzerkreise und des multimodalen Verhaltens wurde am Beispiel des simulierten Prognosefalls Erlangen 2020 deutlich. Der demografische Wandel, weiterhin wachsende Motorisierung und Kohorteneffekte führen dazu, dass sich bis 2020 die Nutzung der verschiedenen Verkehrsmittel und insbesondere des ÖV gegenüber 2005 voraussichtlich deutlich verändert. Abnehmende Schülerverkehre und der höhere Pkw-Besitz der Senioren werden dem ÖV zu schaffen machen. Zwar sind bis 2020 mehr multimodale Verkehrsteilnehmer, also Pkw-Fahrer, die auch den ÖV nutzen, absehbar. Diese nutzen jedoch den ÖV zu selten, um die anderweitigen Nachfragerückgänge zu aufzufangen.

Mit dem vorgestellten Modell ist es erstmals möglich, die voraussichtlichen Effekte dieser gesellschaftlichen Veränderungen auf die Verkehrsmittelnutzung im Längsschnitt quantitativ für ein Untersuchungsgebiet aufzuzeigen.

Der zeitliche Längsschnitt im Modell ist zudem Voraussetzung, um den für viele Fragestellungen relevanten Zusammenhang zwischen individuellen Budgetrestriktionen und Mobilitätsverhalten im Nachfragemodell abzubilden. Das individuelle Verhalten während kurzer Zeiträume, z.B. an einem einzelnen Tag, steht oftmals kaum in Zusammenhang mit Budgetrestriktionen. Verkehrsteilnehmer können an einzelnen Tagen deutlich über ihre Verhältnisse mobil sein. Über längere Zeit gesehen, z.B. eine Woche, ist dies im Alltag sehr unwahrscheinlich. Im vorgestellten Modell wird der Zusammenhang zwischen individuellem Budget und Mobilitätsverhalten exemplarisch am Beispiel des Zeitbudgets abgebildet. Der Modellaufbau sieht jedoch die Erweiterung unter Berücksichtigung des Haushaltskontextes vor, der auch eine Abbildung der Wirkungen von Geldbudgets auf das Mobilitätsverhalten ermöglicht.

Das Modell bietet im Hinblick auf die Belastung der Infrastruktur, die das Ergebnis einer Netzumlegung der modellierten Nachfrage ist, neue Möglichkeiten der Beurteilung: Die Infrastrukturbelastung kann in beliebiger zeitlicher Differenzierung bis zu einer Woche dargestellt werden, da das Ergebnis der Nachfragemodellierung diese zeitliche Auflösung ermöglicht. Dies führt weit über die Beurteilung mithilfe eines durchschnittlichen täglichen Verkehrs hinaus und kann zu einer stärker nachfragegerechten und robusteren Gestaltung der Infrastruktur beitragen.

Der Modell-Output eines mikroskopischen Längsschnittmodells erlaubt noch weitergehende Beurteilungsmöglichkeiten: Er bildet ab, wie stark das individuelle Verhalten, aus dem sich die Belastung der Infrastruktur zusammensetzt, durch Routinen

einerseits oder variierendes Verhalten andererseits geprägt ist. Das Modellergebnis liefert also Informationen darüber, wie das Kollektiv der Infrastrukturnutzer mit der Zeit variiert.

Beispiele aus dem Bereich der Telematik oder des Road-Pricings zeigen, dass solche Informationen zur Beurteilung der Wirkungen von Maßnahmen hilfreich sind: Ein Wechselverkehrszeichen entfaltet auf einer Strecke mit täglich wechselnden Nachfragern eine andere Wirkung als dort, wo täglich die selben Nutzer unterwegs sind. Nutzungsgebühren werfen oftmals die Frage auf, wie viele Nachfrager wie sehr oder wie häufig betroffen sind. Für Fragestellungen dieser Art bieten mikroskopische Längsschnittmodelle neue Beurteilungsmöglichkeiten, da sie ein deutlich differenzierteres Bild der Nachfrage und der Nutzer der Infrastruktur liefern.

Dieser Ausblick auf die Anwendungen des vorgestellten Modells zeigt anhand einiger weniger Beispiele, welche neuen Möglichkeiten sich durch die längsschnittorientierte, mikroskopische Verkehrsnachfragesimulation ergeben. Eine Vielzahl weiterer Einsatzfelder ist offensichtlich. Gleichzeitig stellt der vollzogene Schritt zur Längsschnittorientierung die Grundlage dafür dar, weitere Erkenntnisse aus Längsschnittanalysen, z.B. aus dem Bereich der Mobilitätsstilforschung, in die Modellierung der Verkehrsnachfrage aufzunehmen.

Das Modell ist bereits in der vorgestellten Version praxistauglich und erweitert das Spektrum der Möglichkeiten gutachterlicher Beurteilung von Verkehrsnachfragezuständen. Es liefert einen wichtigen Beitrag zur belastbaren Vorhersage von Maßnahmewirkungen und zukünftigen Nachfragezuständen und unterstützt damit tragfähige planerische Entscheidungen in einem Umfeld komplexer gesellschaftlicher Veränderungen.

## 6 Literatur

- Axhausen, K. W. und P. Widmer (2001). Aktivitäten-orientierte Personenverkehrsmodelle, Vorstudie. Bericht Nr. 46/99. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Zürich.
- Axhausen, K. W. et al. (2002). Observing the rhythms of daily life: A six week travel diary. In: *Transportation* 29 - 2, S. 95-124.
- Beige, S. (2004). Ownership of Mobility Tools in Switzerland. 4th Swiss Transport Research Conference. Monte Verità, Ascona 2004.
- Ben-Akiva, M. und S. R. Lerman (1985). *Discrete Choice Analysis - Theorie and Application to Travel Demand*. MIT Press, Cambridge, London.
- Bertelsmann Stiftung (2006). Demographiebericht Erlangen - Ein Baustein des Wegweisers Demographischer Wandel. <http://www.wegweiserdemographie.de>
- Bhat, C. R. und F. Koppelman (2000). Activity-based travel demand analysis: History, results and future directions. 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D.C. 2000.
- Böhler, S., S. Grischkat, S. Haustein und M. Hunecke (2005). Mobilitätstypen oder Gebietstypen: Was bestimmt die persönliche Umweltbilanz? StadtLeben-Tagung. Dortmund 2005.
- Brög, W. (1981). Individuelles Verhalten als Basis verhaltensorientierter Modelle. In: *Verkehrsnachfragemodelle*, Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft DVWG, Band B57, S. 136-188.
- Brüggemann, U., S. Kröpel und H. Lehmann (2003). Das Verkehrsnachfragemodell AVENA und seine Anwendung. In: *Internationales Verkehrswesen* 3/2003.
- Canzler, W. und A. Knie (2005). Wie die Bahn schrumpfen wird. Folgen von Demographie und Strukturwandel. In: *WZB-Mitteilungen*, Heft 107. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin.
- Chlond, B. (1996). Zeitverwendung und Verkehrsgeschehen. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 55. Karlsruhe.
- Chlond, B. und O. Lipps (2000). Multimodalität im Personenverkehr im intrapersonellen Längsschnitt. In: *Schriftenreihe Stadt Region Land des Instituts für Stadtbauwesen der RWTH Aachen*, Heft 69. Aachen.
- Cirillo, C. und K. W. Axhausen (2002). Mode choice of complex tours: A panel analysis. Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung des Instituts für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich, Nr. 142. Zürich.
- Cormen, T. H. (2001). *Introduction to Algorithms*. MIT Press, Cambridge.
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2003). *Mobilität in Tabellen*. Berlin.
- Deutsches Mobilitätspanel (2007). Homepage des Deutschen Mobilitätspanels MOP. <http://www.mobilitaetspanel.de>
- Eurotopp Consortium (1990). *Eurotopp Annual Report 1990*.
- Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (2006a). Hinweise zu verkehrlichen Konsequenzen des demographischen Wandels. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.

- Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (2006b). Hinweise zu Wechselwirkungen zwischen veränderten Zeitordnungen und Verkehr. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- Fujii, S. e. al. (1997). A study of commuters' activity patterns for the estimation of induced trips. In: *Journal of Infrastructure Planning and Management* 562, S. 109-120.
- Gringmuth, C. (2006). Einfluss von Budgetrestriktionen auf Wochenpläne von Verkehrsteilnehmern. Dissertation an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Karlsruhe. Karlsruhe.
- Henckel, D. et al. (1989). Zeitstrukturen und Städteentwicklung. Schriften des Deutschen Instituts für Urbanistik, Band 81. Kohlhammer, Stuttgart.
- Hensher, D., J. M. Rose und W. H. Greene (2005). *Applied Choice Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hupkes, G. (1982). The Law of Constant Travel Time and Trip-Rates. In: *Futures* 14, S. 38-46.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2005). Statistische Mitteilungen, Reihe 1 und 2. <http://www.kba.de>
- Kuhnimhof, T. und V. Waßmuth (2001). Do You Go to the Movies in Your Lunch Break?-Trip- and Trip-Context-Data Based Modelling of Activities. In: *Transportation Research Record* 1807, S. 34-42.
- Kunert, U. (1992). Individuelles Verhalten im Wochenverlauf. DIW Beiträge zur Strukturforchung 130. Berlin.
- Kunert, U. et al. (2003). Mobilität in Deutschland 2002. Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten, Projektbericht. Bericht zu FE 70.0681/2001. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin.
- Kutter, E. (2003). Modellierung für die Verkehrsplanung. ECTL Working Paper 21. Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg.
- Last, J. (2004). Barrieren und Nachfragepotentiale intermodaler Angebotskonzepte im Personenfernverkehr. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 65. Karlsruhe.
- Lipps, O. (2001). Modellierung der individuellen Verhaltensvariation bei der Verkehrsentscheidung. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 58. Karlsruhe.
- Litman, T. (2006). Changing Transportation Trends And Their Implications For Transport Planning. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D.C. 2006.
- Manz, W. (2005). Mikroskopische längsschnittorientierte Abbildung des Personenfernverkehrs. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 62. Karlsruhe.
- McFadden, D. (2001). Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side: A 30-Year Retrospective. In: Hensher, D. (Hrsg.) *Travel Behavior Research - The leading edge*. S. 17-63. Pergamon, Oxford.

- Meister, K., M. Balmer, K. W. Axhausen und K. Nagel (2006). planomat: A comprehensive scheduler for a large-scale multi-agent transportation simulation. 6th Swiss Transport Research Conference. Monte Verita / Ascona, 2006.
- Meister, K., M. Frick und K. W. Axhausen (2005). Generating daily activity schedules for households using Genetic Algorithms. 5th Swiss Transport Research Conference. Monte Verita, Ascona 2005.
- Metz, D. (2004). Travel Time - Variable or Constant. Journal of Transport Economics and Policy 38 - Part 3, S. 333-344.
- Miller, E. J., M. J. Roorda und J. A. Carrasco (2005). A tour-based model of travel mode choice. Transportation 32, S. 399-422.
- Mokhtarian, P. L. und C. Chen (2003). TTB or Not TTB, that is the Question: A Review and Analysis of the Empirical Literature on Travel Time (and Money) Budgets. In: Transportation Research Part A - Policy and Practice 38, S. 643 - 675.
- Neumann, K. und M. Morlock (2002). Operations Research. Hanser, München.
- Oram, R. L. und S. Stark (1996). Infrequent Riders: One Key to New Transit Ridership and Revenue. In: Transportation Research Record 1521, S. 37-41.
- Ortuzar, J. D. und L. G. Willumsen (2005). Modelling Transport. John Wiley and Sons, New York.
- Ottmann, P. (2007). Mobilitäts-Biographien: Wie ändert sich die Verkehrsnachfrage im Leben eines Menschen? Bundesweiter Umwelt- und Verkehrskongress BUVKO. Stuttgart 2007.
- OVID Konsortium (2006). OVID Stärkung der Selbstorganisation im Verkehr durch I+K-gestützte Dienste - Endbericht. Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung der Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Petersen, M. (2003). Multimodale Mobilisations und Privat-Pkw. Ein Vergleich auf Basis von Transaktions- und monetären Kosten. Bericht 4 der choice-Forschung. Discussion Paper SP III 2003-108, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin.
- Platzmann, T. (2004). Autofahrer - Expedition ins Unbekannte. Frankfurter Rundschau 27.05.2004.
- Rürup Kommission (2003). Nachhaltigkeit in der Finanzierung der sozialen Sicherungssysteme. Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung, Berlin.
- Schlich, R., A. König und K. W. Axhausen (2000). Stabilität und Variabilität im Verkehrsverhalten. In: Straßenverkehrstechnik 44 - 9, S. 431-440.
- Schnabel, W. und D. Lohse (1997). Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Schnittger, S. und D. Zumkeller (2006). mobiTopp - ein längsschnittorientiertes Mikrosimulationsmodell zur Abschätzung künftiger Verkehrsentwicklungen bei alternativen Raumentwicklungen. In: Schriftenreihe Stadt Region Land des Instituts für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Heft 81.

- Sparmann, U. (1980). ORIENT - Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 20. Karlsruhe.
- Statistisches Bundesamt (2006). Einkommens- und Verbrauchsstichprobe. [http://www.destatis.de/presse/deutsch/abisz/einkommens\\_verbrauchsstichprobe.htm](http://www.destatis.de/presse/deutsch/abisz/einkommens_verbrauchsstichprobe.htm). 15-3-2006.
- Szalai, A. (1972) (Hrsg.). The Use of Time - Daily Activities of Urban and Suburban Populations in Twelve Countries. Mouton, Paris, Den Haag.
- Train, K. (2003). Discrete Choice Methods with Simulation. University Press Cambridge, Cambridge.
- von der Ruhren, S. et al. (2004). Bestimmung Multimodaler Personengruppen. Endbericht zu FE 70.724-2003. Instituts für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Aachen.
- Waßmuth, V. (2001). Modellierung der Wirkung verkehrsreduzierender Siedlungskonzepte. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 60. Karlsruhe.
- Winer, B. J. (1970). Statistical Principles in Experimental Design. Mladinska Knjiga, Ljubljana.
- Zumkeller, D., M. Poeck und Y. Zahavi (1980). Verkehr und Stadt als Interaktionsmechanismus. Forschungsauftrag des Bundesminister für Verkehr. Bericht A 25/16.39.10-1/78. Düsseldorf.
- Zumkeller, D. (1989). Ein sozialökologisches Verkehrsmodell zur Simulation von Maßnahmewirkungen. Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig, Heft 46. Braunschweig.
- Zumkeller, D. et al. (1994). Paneluntersuchungen zum Verkehrsverhalten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 688. Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn.
- Zumkeller, D., B. Chlond, T. Kuhnimhof und P. Ottmann (2005). Panelauswertung 2004. Datenaufbereitung, Plausibilisierung, erste Auswertungen zu den Erhebungen zur Alltagsmobilität 2004/06 sowie zu den Fahrleistungen und Treibstoffverbräuchen 2005/07 für das Mobilitätspanel. Zwischenbericht zu FE 70.0753 / 2004. Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Zumkeller, D., B. Chlond und W. Manz (2004a). Infrastructure Development in Germany Under Stagnating Demand Conditions: A New Paradigm? In: Transportation Research Record 1864, S. 121-128.
- Zumkeller, D., J.-L. Madre, B. Chlond und J. Armoogum (2004b). Panel Surveys - Resource paper for workshop A8. 7th International Conference on Travel Survey Methods, Costa Rica 2004.
- Zumkeller, D., P. Ottmann und B. Chlond (2006). Car Dependency and Motorization Development in Germany. Endbericht. Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Karlsruhe.

## Anhang: Erläuterung wichtiger Begriffe

Agenda	Liste mit Aktivitätsvorhaben für eine Woche. Die Aktivitätsvorhaben sind folgendermaßen spezifiziert: Zweck, Dauer, Zeitfenster, bevorzugter Zeitpunkt.
Aktivitätenprogramm	Durchgeführtes oder durchführbares Programm mit Aktivitäten für eine Woche. Die Aktivitäten sind folgendermaßen spezifiziert: Zweck, Dauer, Ort, Zeitpunkt.
Ausgang	Wegekette, die an der Wohnung beginnt und wieder zur Wohnung zurückführt einschließlich aller zwischendurch durchgeführten Wege und Aktivitäten.
Fakultative Mobilität	→ Kürmobilität
Hauptverkehrsmittel	Das im Rahmen einer Tour oder eines Weges verwendete wichtigste Verkehrsmittel. Die Hierarchie der Verkehrsmittel ist dabei in absteigender Reihenfolge: ÖV, MIV als Mitfahrer, MIV als Fahrer, Rad und Fuß.
Hauptpendelverkehrsmittel	Verkehrsmittel, das üblicherweise von einem Verkehrsteilnehmer für den Weg zum Arbeits- oder Ausbildungsplatz eingesetzt wird.
Hauptzweck	Die wichtigste Aktivität bei → Touren mit mehreren Aktivitäten. Die Hierarchie der Aktivitäten ist dabei in absteigender Reihenfolge: Arbeit oder Ausbildung, Dienstlich, Service, Einkaufen oder Freizeit, Sonstiges. Kommen sowohl Arbeit als auch Ausbildung in einer Aktivitätenkette vor, wird nach Berufstatus der Person (Erwerbstätig oder in Ausbildung) entschieden. Kommen sowohl Einkaufen als auch Freizeit vor, ist die Aktivität mit der längeren Aktivitätsdauer maßgebend.
Intermodal	Bezeichnet Verkehrsverhalten, bei dem Verkehrsteilnehmer verschiedene Verkehrsmittel auf einem Weg verknüpfen (z.B. Park-and-Ride).
Küraktivitäten	Alle Aktivitäten außer Arbeit und Ausbildung.
Kürmobilität	Die gesamte mit → Küraktivitäten verbundene Mobilität (auch als fakultative Mobilität bezeichnet)
Monomodal	Bezeichnet Verkehrsverhalten, bei dem Verkehrsteilnehmer im Verlauf einer längeren Zeitspanne nur ein Verkehrsmittel verwenden.
Multimodal	Bezeichnet Verkehrsverhalten, bei dem Verkehrsteilnehmer im Verlauf einer längeren Zeitspanne verschiedene Verkehrsmittel verwenden.
Pflichtaktivitäten	Umfasst die Aktivitäten Arbeit und Ausbildung.
Pflichtmobilität	Die gesamte mit → Pflichtaktivitäten verbundene Mobilität

<b>Rolle</b>	<p>Beschreibt die Rolle einer Person im Haushalt und ihre Erwerbstätigkeit in 12 Kategorien:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Schüler</li> <li>2 In Ausbildung &gt;18</li> <li>3 Erwerbstätige Singles</li> <li>4 Nichterwerbstätige Singles</li> <li>5 Erwerbstätige in HH mit Kleinkindern</li> <li>6 Nichterwerbstätige in HH mit Kleinkindern</li> <li>7 Erwerbstätige in HH nur mit Schulkindern</li> <li>8 Nichterwerbstätige in HH nur mit Schulkindern</li> <li>9 Erwerbstätig in HH ohne Kinder</li> <li>10 Nichterwerbstätige in HH ohne Kinder</li> <li>11 Rentner in Rentner-HH</li> <li>12 Alleinstehende Rentner</li> </ol>
<b>Routine</b>	<p>Bezeichnet Gewohnheiten, die sehr ähnlichem und sich im Wochenverlauf wiederholendem Verhalten zugrunde liegen. Verschiedene → routinierte Touren können einer Routine zugeordnet werden.</p>
<b>Routinierte Tour</b>	<p>Bezeichnet → Touren, die einander sehr ähnlich sind, und deshalb als zur selben → Routine gehörig aufgefasst werden können.</p>
<b>Tour</b>	<p>Wegekettchen, die am selben Ort beginnen und enden. Dies kann die Wohnung sein oder ein anderer Ort. → Ausgänge können aus mehreren Touren bestehen, wenn z.B. vom Arbeitsplatz aus eine Tour in der Pause unternommen wird. Dann schließt die erste Tour alle Wege zwischen Wohnung und Arbeitsplatz ein und die zweite Tour alle Wege in der Pause.</p>
<b>Verkehrsmittelwechselindex</b>	<p>VMWX, Maß für die Varianz der genutzten Verkehrsmittel innerhalb einer Analyseeinheit (z.B. Personenwoche). VMWX bezeichnet mit einer Kennziffer zwischen 0 (monomodal) und 1 (größtmögliche Verkehrsmittelvarianz), welcher Anteil der theoretisch vorhandenen Möglichkeiten zur Verkehrsmittelvarianz ausgenutzt wurde.</p>

## Lebens- und Bildungsgang

<b>Name</b>	Tobias Georg Kuhnimhof
<b>Geboren am</b>	29.12.1973 in Stuttgart
<b>1980 – 1982</b>	Deutsche Schule Kuala Lumpur, Malaysia
<b>1982 – 1984</b>	Friedrich Schiller Schule Neuhausen a.d.F.
<b>1984 – 1993</b>	Georgii-Gymnasium Esslingen am Neckar
<b>1993 – 1994</b>	Freiwilliger Friedensdienst in Taung, Südafrika
<b>1995 – 2001</b>	Studium an der Universität Karlsruhe: Hauptfach: Bauingenieurwesen Begleitstudium: Angewandte Kulturwissenschaften
<b>1998 – 1999</b>	Studienaufenthalt an der University of Connecticut, USA
<b>seit 2002</b>	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Ver- kehrswesen der Universität Karlsruhe

## **Veröffentlichungen aus dem Institut für Verkehrswesen**

(Die mit \* versehenen Veröffentlichungen sind vergriffen)

## Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen (ISSN 0341-5503)

Die Hefte 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 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 Personennverkehrs

**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 VERKEHRSWESSEN

**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.

## Im Buchhandel erhältliche Publikationen

### **128. Kuhnimhof, T., Chlond, B., Zumkeller, D., (2006).**

„Nonresponse, Selectivity and Data Quality in Travel Surveys - Experiences from Analyzing the Recruitment for the German Mobility Panel“ in: Transport Research Board (Hrsg.), Travel Survey Methods, Information Technology and Geospatial Data, Transport Research Record, No. 1972, 2006, ISBN 0-309-09981-1, S. 29-37

### **Zumkeller, D., (2006)**

„Prognosen in der kommunalen Verkehrsplanung“, in: Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung, Hrsg.: Apel; Holzapfel; Kiepe; Lehmbruck; Müller; Economica Verlag Bonn, 46. Ergänzungslieferung, Teil 3.2.3.1, 2007

### **Zumkeller, D., Vallée, D. (2006)**

„Die Zukunft wird unzuverlässiger – Renaissance der Planung angesichts des demographischen Wandels?“, in: Straßenverkehrstechnik 11/2006, S. 657-664

### **Zumkeller, D., Madre J-L.; Chlond, B.; Armoogum, J. (2006)**

„Panel Surveys“, paper presented for Costa Rica Conference 2004, August 1-6, 2004. In: Stopher, P., Stecher, Ch. (Hrsg.): Travel Survey Methods. Quality and Future Directions, Elsevier Oxford/Amsterdam 2006, ISBN 978-0-08-044662-2, S. 363-389

### **Chlond, B., Zumkeller, D., et.al (2006)**

„Hinweise zu verkehrlichen Konsequenzen des demographischen Wandels“, Arbeitspapier zum Arbeitskreis 1.1.30 / 1.6.7 / 1.11.19 der FGSV, FGSV (Hrsg.) 144/2006, ISBN 3-937356-80-0

### **Zumkeller, D., Weißkopf, W. (2006)**

„Ausreichende Verkehrsbedienung – wie sie sich bestimmen lässt. Erfahrungen mit der Leitlinie zur Nahverkehrsplanung in Bayern“, in: Der Nahverkehr, 1-2 / 2006, S. 42-47

### **Zumkeller, D., (2005)**

„Stagniert die Nachfrage im Personenverkehr?“, Vortrag beim DVWG-Workshop Demografischer Wandel, Mobilität und Verkehr am 19. Oktober 2004 in Kaiserslautern, in: Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft e.V. DVWG, Reihe B, Heft B 279/2005, ISBN 3-937877-09-6, S. 94-123

### **Zumkeller, D., (2004)**

„Verkehrliche Wirkungen des demografischen Wandels – Erkenntnisse aus zehn Jahren Panel“, Vortrag beim Deutschen Straßen- und Verkehrskongress der FGSV, 13.-15. Oktober 2004 in Berlin, in: Straßenverkehrstechnik 12/04, S. 651–658 und in: FGSV (Hrsg.), FGSV 001/20: Deutscher Straßen- und Verkehrskongress 2004, CD-ROM, ISBN 3-937356-67-3

### **Zumkeller, D./ Chlond, B./ Manz, W. (2004)**

„Infrastructure Development under Stagnating Demand Conditions – a new Paradigm?“, Conference paper presented at TRB Annual Meeting January 11-15, 2004 in Washington DC, In: Transportation Research Record No. 1864, Transportation Finance, Economics and Economic Development 2004, S. 121–128.

**Zumkeller, D. (2004)**

"Fördert Telekommunikation den Bedeutungsverlust der Nähe? – ein Zukunftsbild unserer Mobilität", Vortrag bei der Tagung „City.net – Städte im Zeitalter der Telekommunikation“ am 19.6.2003 in Weimar, in: Hassenpflug, D., Tegeder G. (Hrsg.), City.net – Städte im Zeitalter der Telekommunikation, Marburg 2004, ISBN 3-8288-8711-2, S. 149-173.

**Zumkeller, D./ Allsop, R. (Hrsg.) (2003)**

Kleines Fachwörterbuchs Verkehrswesen Englisch-Deutsch/Deutsch-Englisch, Klett-Verlag (PONS-Wörterbücher), ISBN 3-12-518276-6

**Zumkeller, D. (2002)**

„Ein Zukunftsbild unserer Mobilität“, Vortrag beim 5. Mainauer Mobilitätsgespräch am 17. Juli 2002, in: 5. Mainauer Mobilitätsgespräch, Mainauer Gesprächsbeiträge zu gesellschaftlichen Fragen unserer Zeit, Schriftenreihe der Lennart Bernadotte-Stiftung, S. 11-18, ISBN 3-926937-90-4

**Zumkeller, D. (2002)**

„Transport and Telecommunication: First Comprehensive Surveys and Simulation Approaches“, in: Mahmassani, H.S. (Hrsg.): In Perpetual Motion: Travel Behavior Research Opportunities and Application Challenges, Amsterdam et al., ISBN 0-08-044044-4

**Zumkeller, D. (2001)**

„Personenverkehr“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Forschungsberichte, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Bonn–Bad Godesberg, Heft 800/2001, ISBN 3-934458-2

**Zumkeller, D. (2001)**

„Telekommunikation, Telematik und Verkehr im Jahre 2020 – Ein Zukunftsbild unserer Mobilität“, in: Perspektiven und Konzepte für Mobilität und Infrastruktur, Analysen, Materialien und Forschungsbildung des Mobilitätungskongresses 2000 vom 8./9. November in Berlin, Hrsg. InformationsZentrum Beton GmbH, 2001, S. 134–145

**Zumkeller, D. (2001)**

„The Impact of Telecommunication and Transport on Spatial Behaviour“, in: Henschler, David, International Association for Travel Behaviour Research (Hrsg.): Travel Behaviour Research – The Leading Edge IATBR '2000, the 9<sup>th</sup> Meeting of the International Association for Travel Behaviour Research, Brisbane, Australia 2000, ISBN 008-043924-1

**Zumkeller, D. (2001)**

„Erhebungen, Prognose- und Szenariotechnik“, in: Der Ingenieurbau – Fachwissen Verkehr, Wiley–VCH–Verlag, Weinheim

**Zumkeller, D./ Köhler, U. (2001)**

„Induzierter Verkehr“, Kap. A-9 in: Köhler, U. (Hrsg.), Ingenieurbau: Verkehr – Straße, Schiene, Luft, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2001, ISBN 3-433-01576-7, S. 120-125 sowie Kap. B-2.2, S. 153-167, B-2.4, S. 192-204

**Zumkeller, D. (2000)**

„Eigenschaften von Paneluntersuchungen – Anwendungen und Einsatzmöglichkeiten im Verkehrsbereich“, in: Dynamische und statische Elemente des Verkehrsverhaltens – Das Deutsche Mobilitätspanel, Wissenschaftliches Kolloquium in Karlsruhe am 28./ 29. September 2000, Reihe B 234, S. 3–34, ISBN 3-933392-34-9

**Chlond, B.; Manz, W. (2000)**

"INVERMO. Das Mobilitätspanel für den Fernverkehr", in: Dynamische und statische Elemente des Verkehrsverhaltens – Das Deutsche Mobilitätspanel, Reihe B 234, S. 203–227, ISBN 3–933392–34–9

**Lipps, O. (2000)**

„Variation im individuellen Mobilitätsverhalten und Anwendungsmöglichkeiten für die Verkehrsplanung“, in: Dynamische und statische Elemente des Verkehrsverhaltens – Das Deutsche Mobilitätspanel, Reihe B 234, S. 203–227, ISBN 3–933392–34–9

**Zumkeller, D.; Schwarzmann, R.; Heinze, G.W.; Kill, H.H. (2000)**

50 Jahre Straßenwesen in der Bundesrepublik Deutschland. 1949–1999. Ein Rückblick, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, ISBN 3–00–007506–2

**Zumkeller, D.(1999)**

„Verkehr und Telekommunikation – Grundlagen und Simulationsansätze“, in: Arbeitsmaterial der Akademie für Raumforschung und Landesplanung – Hannover ARL, Nr. 251, ISBN 3–88838–651–9

**Zumkeller, D. (1999)**

„Verhaltensmodelle in den Verkehrswissenschaften“, Verhaltensänderungen im Verkehr: "Restriktionen versus Soft-Policies", Ergebnisse der Veranstaltung X der Workshop-Reihe im Themenbereich Verkehr und Raumstruktur, Akademie für Technikfolgenabschätzung, Arbeitsbericht Nr. 147, Stuttgart-Hohenheim

**Zumkeller, D.; Chlond, B.; Lipps, O. (1998)**

„Das Mobilitäts-Panel (MOP) – Konzept und Realisierung einer bundesweiten Längsschnittbeobachtung“, in: Hrsg. Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft, 9. DVWG-Workshop über Verkehrsstatistik: „Innovative Konzepte und Methoden – dringlicher denn je“, Reihe B 217, S. 33–53, Heilbronn

**Zumkeller, D.; Chlond, B. (1997)**

„Future Time Use and Travel Time Budget Changes – Estimation Transportation Volumes in the Case of Increasing Leisure Time“, IATBR '97, the 8<sup>th</sup> Meeting of the International Association for Travel Behaviour Research, Austin, Texas

**Zumkeller, D. (1997)**

„Modelle und Szenarien der Verkehrsplanung“, in: Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung, Hrsg.: Apel; Holzapfel; Kiepe; Lehmbrock; Müller; Economia Verlag Bonn, 18. Ergänzungslieferung, Teil 3.2.4. 1, S.1–27

**Zumkeller, D.; Blechinger, W.; Chlond, B.; Seitz, H.; Axhausen, K.; van Maanen, T. (1994)**

„Paneluntersuchungen zum Verkehrsverhalten“, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 688 Bonn–Bad Godesberg

**Zumkeller, D., Seitz, H. (1993)**

„Aufbereitung vorhandener Daten für Verkehrsplanungszwecke als Ersatz für neue Befragungen“, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 642, Bonn–Bad Godesberg

**Zumkeller, D. et al. (1993)**

Part I: Europe: A Heterogeneous 'Single Market' und Part III: Germany: On the Verge of a New Era, in: Salomon, I.; Bovy, P.; Orfeuil, J.-P. (Hrsg.): "A Billion Trips a Day - Tradition and Transition in European Travel Patterns", Kluwer Academic Publishers

Group, Dordrecht, ISBN 0-7923-229-5

**Zumkeller, D., Steinbach, J. (1992)**

„Integrierte Planung von Hochgeschwindigkeitsverkehr in Europa“, Hrsg. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Heft 4, Bonn

**Zumkeller, D. (1989)**

„Ein sozialökologisches Verkehrsmodell zur Simulation von Maßnahmewirkungen“, Diss., TU-Braunschweig 1988, in: Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, TU Braunschweig, ISSN 0341-5805

**Leutzbach, W. (1988)**

Introduction to the Theorie of Traffic Flow, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York, ISBN 3-540-17113-4

**Wiedemann, R.; Hubschneider, H. (1987)**

„Simulationsmodelle“, in: Lapiere, R; Steierwald, G. (Hrsg.) Verkehrsleittechnik für den Straßenverkehr, Band 1, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, ISBN 3-540-16850-8

**Ruppert, W.-R.; Leutzbach, W.; Adolph, U.-M. et al. (1981)**

Achslasten und Gesamtgewichte schwerer Lkw, Nutzen-Kosten-Untersuchung der zulässigen Höchstwerte, Hrsg. Bundesminister für Verkehr, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, ISBN 3-88585-035-4

**Herz, R.; Schlichter, H.-G.; Siegener, W. (1976)**

Angewandte Statistik für Verkehrs- und Regionalplaner, Werner-Ingenieur-Texte 42, Werner-Verlag, Düsseldorf, ISBN 3-8041-1934-4, 2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage (1992), ISBN 3-8041-1971-9

**Beckmann, H.; Jacobs, F.; Lenz, K.-H.; Wiedemann, R.; Zackor, H. (1973)**

Das Fundamentaldiagramm, Kirschbaum-Verlag, Bad Godesberg, ISBN 3-7812-0846X

**Leutzbach, W. (1972)**

Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, ISBN 3-540-05724-2

**Lenz, K.-H.; Garsky, J. (1968)**

Anwendung mathematisch-statistischer Verfahren in der Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum-Verlag, Bad Godesberg