

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen
der Universität Karlsruhe
Prof. Dr.-Ing. W. Leutzbach

Dr.-Ing. Udo Sparmann

ORIENT
Ein verhaltensorientiertes
Simulationsmodell
zur Verkehrsprognose

Heft 20



1980

Institut für Verkehrswesen
Universität (TH) Karlsruhe
7500 Karlsruhe 1
Kaiserstraße 12

K u r z f a s s u n g

SPARMANN, U.:
ORIENT-Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur
Verkehrsprognose
169 Seiten, 49 Abbildungen

Es wird das Simulationsmodell ORIENT zur Verkehrsprognose auf der Basis individueller Verhaltensmuster und sogenannter verhaltenshomogener Gruppen vorgestellt. Es beinhaltet den werktäglichen Personenverkehr innerhalb eines abgegrenzten Planungsraumes. Das Rechenprogramm ist so aufgebaut, daß die Kenngrößen des Modells, wie die Anzahl der verhaltenshomogenen Gruppen, der Aktivitäten, der Verkehrsmittel usw., variabel sind. Gegenüber den bekannten vergleichbaren Simulationsmodellen wurden insbesondere die Modalitäten der Zielwahl neu formuliert. Der Vergleich mit empirischen Daten zeigt, daß der gewählte Modellansatz das Verhalten der Verkehrsteilnehmer wirklichkeitsgetreu nachbildet.

Eine Sensitivitätsanalyse ergab Aufschluß über die Bedeutung der Eingabegrößen. Die Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen und die Verhaltensmuster sind gegenüber den anderen Parametern von geringerer Relevanz für das Endergebnis. Das Simulationsmodell ORIENT wurde zur Optimierung von ÖPNV-Netzen herangezogen; darüber hinaus wurden die Auswirkungen einer möglichen Änderung der Ladenschlußzeit auf 21 Uhr untersucht und die Problematik im Zusammenhang mit der Implementierung von Parkrestriktionen in das Modell behandelt. Obwohl das entwickelte Modell bewußt recht einfach aufgebaut worden ist, um einerseits den Ansprüchen von der Datenseite her gerecht zu werden und andererseits die Grenze der Rechnerkapazität zu beachten, ist der Fortschritt an Genauigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung von Arbeitszeit und Kosten gegenüber der bisherigen Arbeitsweise unverkennbar.

Summary

SPARMANN, U.:

ORIENT-A Behaviour-Oriented Simulation Model for Traffic Forecasting

169 pages, 49 figures

ORIENT, a computer simulation model, which forecasts traffic flow on the basis of individual activity patterns and so-called community groups is presented. The model outputs the working-day passenger traffic within a defined planning area. The computer programme is so constructed, that the characteristics of the model, such as the numbers of community groups, activities, traffic modes and so on are variable. In contrast to well-known, comparable simulation models the destination selection procedure has been newly formulated. A comparision with empirical data indicates that the model reproduces travelling behaviour realistically.

A sensitivity analysis has shown the significance of the input data. In contrast to the other parameters, the distribution among the community groups and activity patterns is of negligible relevance to the final result. The simulation model, ORIENT, has been used to optimize a public transport network. In addition, the effects of a possible extension of retailing hours till 9 pm have been investigated, and the problems connected with the implementation of parking restrictions have been dealt with. Although the model was very simply structured, on one hand, so as to satisfy the demands made by the nature of the data, and, on the other, to comply with limited computer capacity, the advantage of improved accuracy with reduced costs and time requirements in contrast to earlier types of operation are unmistakable.

R é s u m é

SPARMANN, U.:

ORIENT-Un modèle de simulation pour le pronostic du trafic basé sur la conduite individuelle
169 pages, 49 illustrations

ORIENT est un modèle de simulation pour le pronostic du trafic basé sur des schémas d'attitudes individuelles et des groupes d'attitudes homogènes. Il comprend le trafic-voyageurs des jours ouvrables dans une région de planification délimitée. Le programme de calcul est de façon telle que les données caractéristiques du modèle, par exemple le nombre de groupes d'attitudes homogènes, d'activités, de moyens de transport, etc. sont variables. Par rapport à d'autres modèles de simulation comparables ce sont surtout les modalités du choix de la destination qui furent réorganisées. En comparant les données empiriques au modèle, il s'est avéré que la simulation du trafic est réaliste.

Une analyse de sensibilité a prouvé l'importance des données présumées. La répartition entre les groupes d'attitudes homogènes et les schémas d'attitudes est de moindre importance pour le résultat final que les autres paramètres. Le modèle de simulation ORIENT fut appliqué pour l'optimisation des réseaux du Transport Public. En outre les répercussions d'une extension éventuelle des heures d'ouverture des magasins jusqu'à 21 heures furent examinées, ainsi que celles de l'incorporation de règlements de stationnement restrictifs dans le modèle. Bien que la conception du modèle soit délibérément assez simple pour répondre aux exigences des données d'un côté et observer les limites de capacité de l'ordinateur d'un autre, le progrès de précision, en relation avec une réduction simultanée de la durée d'activité et des frais par rapport à la méthode de travail antérieure est évident.

I N H A L T S Ü B E R S I C H T

	Seite
1. Einleitung	1
2. Zielsetzung	5
2.1 Simulationsmodell ORIENT	5
2.2 Eichung des Modells	7
2.3 Sensitivitätsanalyse	8
3. Simulationsmodell ORIENT	10
3.1 Bisherige Untersuchungen	11
3.2 Abgrenzung des Modellgegenstandes	13
3.3 Grundlage der verhaltensorientierten Modelle	15
3.4 Frage der Komplexität des Modells	18
3.5 Bausteine zur Simulation des Verkehrsver- haltens	20
3.5.1 Einwohnerverteilung	22
3.5.2 Aufteilung auf die verhaltenshomo- genen Gruppen	23
3.5.3 Definition der Verhaltensmuster	25
3.5.3.1 Aktivitätenkategorien	25
3.5.3.2 Fahrtenfolgen	27
3.5.4 Zielwahlwahrscheinlichkeiten	29
3.5.5 Verkehrsmittelwahlwahrscheinlich- keiten	35
3.6 Zusammenwirken der Bausteine	39
3.7 Auswertung	42
4. Eichung des Modells	44

5.	Simulationsergebnisse	46
5.1	Vergleich der Datengrundlage	47
5.2	Vergleich der Ergebnisse	49
5.2.1	Globale Werte	49
5.2.2	Lokalität	51
5.3	Zusätzliche Informationen zum Verkehrsverhalten	51
6.	Sensitivitätsanalyse	58
6.1	Aufbau des Modells	58
6.2	Variation der Simulations-Parameter	59
6.2.1	Stichprobenumfang	59
6.2.2	Strukturwerte	60
6.2.3	Zielwahl	62
6.2.4	Verhaltensmuster	65
6.2.5	Verkehrsmittelwahl	67
6.3	Variation der Auswertere-Parameter	67
6.4	Zusammenfassende Beurteilung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse	69
7.	Sonderbetrachtungen	71
7.1	Optimierung von ÖPNV-Netzen	73
7.2	Änderung der Ladenschlußzeit auf 21 Uhr ...	76
7.3	Parkrestriktion	78
8.	Zusammenfassung	86
	Literaturverzeichnis	92
	Anhang	97
	Abbildungen	99
	Anlage 1	151
	Anlage 2	163

1. Einleitung

Bestandteil einer jeden städtischen Generalverkehrsplanung, die auf die zukünftigen Verkehrsbedürfnisse ausgerichtet wird, ist die Prognose der zukünftigen Verkehrs nachfrage unter Vorgabe eines bestimmten Verkehrsangebotes. Da die Änderung des Verkehrs aufkommens nicht unmittelbar abgeschätzt werden kann, bedient man sich für diesen Arbeitsschritt eines Verkehrsmodells, in dem verschiedene Einflußgrößen enthalten und in irgendeiner Form miteinander verknüpft sind. Werden nun die einzelnen Einflußgrößen in ihrer Entwicklung abgeschätzt und in das Modell eingebracht, ergibt sich als Zielgröße das gesuchte zukünftige Verkehrs aufkommen. Dieses Muster trifft sowohl für das weithin bekannte, als klassisch zu bezeichnende, aggregierte 4-Stufen-Modell als auch für die neuartigen verhaltensorientierten Modelle zu.

Das aggregierte 4-Stufen-Modell besteht aus den folgenden Teilschritten bzw. Teilmodellen:

- Verkehrserzeugung (Bestimmung des Quell- und Zielverkehrs aufkommens der Verkehrszellen),
- Verkehrsverteilung (Bestimmung der Verkehrsströme),
- Verkehrs aufteilung (Aufteilung der Verkehrsströme auf Verkehrsmittel),
- Verkehrsumlegung (Umlegung der aufgeteilten Verkehrsströme auf die Netze der verschiedenen Verkehrsmittel).

Charakteristisch für die bisherige Arbeitsweise ist die Trennung der einzelnen Schritte und daher die Nichtbeachtung bzw. bei Rückkoppelung nur unzureichend berücksichtigte Abhängigkeit der einzelnen Merkmale einer Fahrt, d.h. Quelle, Ziel, Verkehrsmittel, Route. Weiterhin ist die Ver-

wendung von Regressionsgleichungen, die einen mathematischen Zusammenhang zwischen den Strukturmerkmalen von Verkehrsbezirken und deren Verkehrsaufkommen darstellen, typisch, wobei im allgemeinen die aus den Analysedaten gefundenen Gesetzmäßigkeiten auch für die Prognose als zu treffend unterstellt werden.

Daß die Summe des Quell- und Zielverkehrs als notwendige Voraussetzung für ein abgegrenztes Untersuchungsgebiet gleich ist, ist bei den bisherigen Modellen nicht gewährleistet, da der Quell- und Zielverkehr jeweils getrennt berechnet wird. Es erfolgt dann eine Angleichung, damit die für den zweiten Schritt der Verkehrsverteilung verwendeten Algorithmen funktionieren.

Die vorhandenen Schwierigkeiten werden bei dem 4-Stufen-Modell insbesondere bei der Durchführung der Verkehrsaufteilung (Modal Split) deutlich. Es gibt drei Möglichkeiten, die Verkehrsaufteilung durchzuführen:

- Trip-End Modal Split (nach der Verkehrserzeugung),
- Trip-Interchange Modal Split (nach der Verkehrsverteilung),
- Assignement Modal Split (während der Verkehrsumlegung).

Am häufigsten wird die Verkehrsaufteilung als Trip-Interchange Modal Split erarbeitet. Die Alternativen haben wechselnde Vor- und Nachteile, so daß von Fall zu Fall entschieden werden muß, welche der vorstehend genannten Möglichkeiten am geeignetsten ist.

Berücksichtigt man dagegen, daß Verkehr als Mittel zum Zweck zur Befriedigung der Grundbedürfnisse dient und durch Raumüberwindung das Funktionieren von Wohnen, Arbeiten, Bilden und Erholen ermöglicht, dann behandelt man die Ver-

kehrsentstehung, also die Ursachen des Verkehrsaufkommens, die als Aktivitäten bestimmte Fahrtzwecke (Aktivität oder Tätigkeit am Ziel) zum Inhalt haben. Zur Beschreibung der Verkehrsnachfrage sind also insbesondere die Kenngrößen der den Verkehr verursachenden Personen maßgebend. Selbstverständlich spielt dabei auch das vorhandene Sachsystem, also Verkehrsangebot und Angebot an Gelegenheiten, die die bestimmten Tätigkeiten ermöglichen, eine Rolle.

Aufbauend auf diesen Überlegungen wird seit geraumer Zeit auch in der Bundesrepublik Deutschland an den Modellen der neuen Generation gearbeitet. Zunächst wurde dafür die Bezeichnung "disaggregiert" aus Amerika übernommen, um die Abkehr von der bisher üblichen flächenbezogenen Verkehrserzeugung deutlich zu machen. Dies bedeutet jedoch eine Irreführung, da nach wie vor Aggregationen über Flächen, Zeiten und Personengruppen erfolgen. Diesem Gesichtspunkt wird inzwischen durch die Bezeichnung "verhaltensorientiert" Rechnung getragen.

Die Diskussion um die Vor- und Nachteile der bisherigen und der neuen Planungsmethodik ist gegenwärtig keineswegs abgeschlossen. So sind in der jüngsten Zeit zahlreiche Veröffentlichungen zu diesem Themenkomplex erschienen, die sowohl theoretische Ansätze, als auch praktische Anwendungen zum Inhalt haben. Die Vorteile der verhaltensorientierten Arbeitsweise sind somit hinlänglich bekannt.

Die vorliegende Untersuchung baut auf dem vorhandenen Erkenntnisstand auf. Im Mittelpunkt steht dabei das Simulationsmodell ORIENT. Durch eine Sensitivitätsanalyse dieses Modells soll ein Beitrag zu der Frage der Bedeutung der einzelnen Eingabegrößen und Wirkungszusammenhänge für das Endergebnis geleistet werden, um Aufschluß über die Praktikabilität solcher Simulationsmodelle zu gewinnen.

Die erforderlichen Rechen- und Simulationsläufe wurden auf der Rechenanlage UNIVAC 1106/1108 des Rechenzentrums der Universität Karlsruhe durchgeführt.

2. Zielsetzung

Da die Forschung im Zusammenhang mit verhaltensorientierten Modellen heute noch keineswegs abgeschlossen ist, müssen zur Erstellung eines entsprechenden Simulationsmodells Annahmen getroffen werden. Dies kann jedoch hingenommen werden, denn nur durch Anwendungen in der Praxis können Anhaltspunkte für zusätzliche Untersuchungen auf diesem Wissensgebiet gefunden werden. Bei der Verknüpfung der verschiedenen Modellkomponenten muß der Modellbauer gewisse Prinzipien oder Verhaltensnormen festlegen, die zum Teil noch nicht ganz abgesichert sind.

Sobald ein Modell - und sei es von noch so einfacher Beschaffenheit - vorliegt, ist der Rahmen abgesteckt, in dem die noch offenen Probleme in ihrer Beschaffenheit und Tragweite erkannt und Lösungsvorschläge ausgearbeitet werden können. Es ist also durchaus sinnvoll, anstatt zunächst alle Detailfragen zu klären und dann in ferner Zukunft ein Modell zu erstellen, den umgekehrten Weg zu beschreiten.

2.1 Simulationsmodell ORIENT

Der wesentliche Unterschied zwischen den verhaltensorientierten Modellen und dem bisherigen 4-Stufen-Algorithmus besteht wohl darin, daß die Inhalt (Zweck)-Zeit-Raum-Verkehrsmittel-Dimension einer Fahrt weitgehend durch personenbezogene Merkmale determiniert wird; d.h. es werden grundsätzlich einzelne Fahrten behandelt, während bei den aggregierten Modellen jeweils ein Bündel von Fahrten verarbeitet wird. Die beste Realisation eines verhaltensorientierten Simulationsmodells wäre nun ein solches, das die 4 Teilstufen, also Erzeugung, Verteilung, Aufteilung und Umlegung beinhaltet. Ein solches Modell ist grundsätzlich

wünschenswert, scheitert aber an der Realisation wegen des enormen Speicherplatzbedarfs. Allenfalls für kleinere Planungsräume mit nur wenigen Verkehrsbezirken erscheint diese Vorgehensweise denkbar. Zudem haben die bekannt gewordenen Modelle zur Verkehrsumlegung heute einen hohen Entwicklungsstand erreicht, der es ratsam erscheinen läßt, sich bei der Entwicklung eines verhaltensorientierten Simulationsmodells auf die ersten drei Stufen zu beschränken. Sicherlich ist die Wahl der Route bei der Entscheidung ob, wohin und mit welchem Verkehrsmittel eine Ortsveränderung durchgeführt werden soll auch von den zur Verfügung stehenden Routen abhängig. Der Einfluß der Routenwahl als letzte Festlegung einer geplanten Ortsveränderung dürfte jedoch so gering sein, daß die Einführung einer Schnittstelle vor der Verkehrsumlegung unter den gegebenen Voraussetzungen als tragfähiger Kompromiß bezeichnet werden kann.

Ziel dieser Arbeit ist es also, ein Modell zu entwickeln, das als Ergebnis verkehrsmittelbezogene Fahrtenmatrizen liefert. Neben einem kurzen Literaturüberblick werden in Kapitel 3 die Grundlagen verhaltensorientierter Modelle dargestellt, sowie die Bausteine des Simulationsmodells und deren Zusammenwirken beschrieben. Diese Abfolge garantiert einen guten Überblick über den Aufbau und die Arbeitsweise dieser Modelle. Da die Simulationstechnik an digitalen Rechenanlagen inzwischen zu einem alltäglichen Instrument geworden ist, wird auf eine entsprechende Darstellung verzichtet; Über die Erfahrungen beim Arbeiten mit dem Simulationsprogramm, insbesondere bezüglich Rechenzeit und Speicherplatzbedarf, wird im Anhang berichtet werden.

2.2 Eichung des Modells

Eine Voraussetzung zur Beurteilung von Simulationsmodellen ist ein Vergleich der Simulationsergebnisse mit solchen von empirischen Messungen. Denn nur, wenn das Simulationsmodell der Wirklichkeit naheliegende bzw. der jeweiligen Aufgabenstellung angemessene Ergebnisse erwarten läßt, ist es als Instrument im Rahmen der Verkehrsplanung brauchbar. Da häufig einige Eingabegrößen, aber auch einzelne Parameter, die das Zusammenwirken der einzelnen Bausteine ermöglichen, empirisch nicht ermittelt werden können, werden diese systematisch solange verändert, bis die vorhandenen empirischen Ergebnisse auch von dem Simulationsmodell erzielt werden, wobei natürlich vorausgesetzt wird, daß die empirischen Daten eine bessere Qualität, d.h. eine größere Genauigkeit besitzen als die Ergebnisse des Simulationsmodells, die infolge notwendiger Abstraktionen gegenüber der Wirklichkeit immer nur eine Annäherung an die Realität sein können.

Eine besondere Schwierigkeit für die Eichung des Modells, die in Kapitel 4 vorgenommen wird, ist dadurch gegeben, daß im Rahmen dieser Arbeit infolge fehlender finanzieller Mittel nicht die Möglichkeit besteht, entsprechende Erhebungen zur Erfassung der benötigten Daten vorzunehmen. Deshalb wurde auf verfügbare Daten des GVP Pforzheim (1967), für den mit dem Analysejahr 1978 gegenwärtig die 1. Fortschreibung erfolgt, zurückgegriffen. Teilweise konnten die zusätzlich benötigten Daten von der Stadtverwaltung Pforzheim zur Verfügung gestellt werden. Die Kalibrierung des Modells erfolgt nun mit den Daten des Jahres 1967. Werden dann die entsprechenden Daten für das Jahr 1978 in das Simulationsmodell eingegeben und stimmen dessen Ergebnisse mit denen des Analysejahres 1978 hinreichend genau überein, so kann man davon ausgehen, daß die Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Verkehrsentsstehung richtig erfaßt worden sind und das Simulationsmodell für den Arbeitsschritt der Verkehrsprognose im Rahmen der städtischen Generalverkehrsplanung tauglich ist. Im vorliegenden Fall wird also eine Prognose

durchgeführt, bei der die Entwicklung bis zum Prognosejahr bekannt ist. Nebenbei kann dann auch für das Prognosejahr 1990 der 1. Fortschreibung des GVP Pforzheim ein Vergleich der Ergebnisse beider Modelltypen vorgenommen werden.

Die parallele Vorgehensweise, anhand einer praktischen Verkehrsplanung gleichzeitig beide Modelltypen anzuwenden, ist eine gute Möglichkeit für einen kritischen Vergleich. So werden die Vor- und Nachteile bzw. der Aufwand und Nutzen an einem konkreten, vergleichbaren Beispiel deutlich. Vor allem bietet sich dadurch die Gelegenheit, detaillierte Erkenntnisse über artspezifische Eigenarten und Fehlermöglichkeiten zu gewinnen.

Nebenbei soll bemerkt werden, daß der Verkehrsplanung im Rahmen der 1. Fortschreibung des GVP Pforzheim (1978) die Ergebnisse des aggregierten 4-Stufen-Modells zugrunde gelegt werden. Dies aber vor allem aus Gründen der Kontinuität, da es nicht geboten erscheint, bei einer Fortschreibung, bei der bestimmte Vereinfachungen bei der Analyse notwendig werden, einen neuen Modelltyp zur Verkehrsprognose zu verwenden. Inwieweit die zusätzlichen Ergebnisse, die das verhaltensorientierte Simulationsmodell liefert und in Kapitel 5 enthalten sind, in die weiteren Überlegungen und Planung der Stadt Pforzheim einbezogen werden, wird von Fall zu Fall zu entscheiden sein.

2.3 Sensitivitätsanalyse

Der eigentliche Schwerpunkt dieser Arbeit soll die Sensitivitätsanalyse des Simulationsmodells ORIENT sein. Bei diesem Arbeitsschritt werden die verschiedenen Eingabegrößen, sowie die Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Bausteinen systematisch verändert, so daß deren Einfluß auf das Endergebnis abgeschätzt werden kann. Damit kann heraus-

gefunden werden, mit welcher Genauigkeit einzelne Parameter behaftet sein müssen, damit das Ergebnis eine zumutbare Fehlertoleranz nicht überschreitet, denn sehr wahrscheinlich werden einige Eingabegrößen möglichst genau vorliegen müssen, während die Genauigkeit anderer durchaus geringer sein kann. Mit diesem Wissen kann dann eine zweckdienliche Beschaffung der notwendigen Daten ermöglicht werden.

Von ebenso großem Interesse ist das Zusammenwirken der einzelnen Bausteine, das sich mit unterschiedlicher Intensität im Endergebnis wiederspiegeln kann. Gerade weil in diesem Bereich noch viele Fragen unbeantwortet sind, bietet das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse gewisse Anhaltspunkte dafür, welchen Problemen zunächst die größte Beachtung geschenkt werden muß.

Ein weiterer wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang ist die Prognosefähigkeit bzw. Prognosegenauigkeit aller erforderlichen Kenngrößen. Wenn beispielsweise ein Parameter besonders wichtig ist und damit auch besonders genau vorliegen muß, dieser aber jedoch bei der Prognose mit großen Unsicherheiten belastet ist, dann ergeben sich unter Umständen große Toleranzen. Da die Prognosegenauigkeit für einzelne Kenngrößen durchaus auch unterschiedlich sein kann, darf dieser Aspekt bei einer abschließenden Beurteilung der verhaltensorientierten Modelle nicht ausgeklammert werden.

Die Sensitivitätsanalyse, die in Kapitel 6 enthalten ist, wird für eine hypothetische Stadt, die in 14 Verkehrsbezirke eingeteilt ist, durchgeführt; die Reduzierung der Verkehrsbezirke gegenüber Pforzheim (51 bzw. 65 Verkehrsbezirke) verbessert den Überblick bei der Variation der verschiedenen Eingabeparameter beim Vergleich der Simulationsergebnisse.

3. Simulationsmodell ORIENT

Da die vorliegende Untersuchung nicht beabsichtigt, neue Modelltheorien entweder deduktiv oder induktiv zur Beschreibung und Reproduktion der Verkehrsentstehung aufzustellen, werden die bisherigen Erkenntnisse der zahlreichen vorliegenden Arbeiten aus diesem Wissenschaftsbereich der Erstellung eines Simulationsmodells zugrundegelegt. Durch das weitgehende Fehlen der benötigten empirischen Daten wäre ein solches Unterfangen wahrscheinlich erfolglos, denn der Forschungablauf ist in der Regel induktiv und benötigt eine ausreichende Datenbasis zur Formulierung von Hypothesen, die wiederum mit anderen Daten auf ihre Überzeugungskraft getestet werden, um auf diese Weise eine Gesetzmäßigkeit oder Theorie zu erhalten.

Die Erforschung der Grundlagen in bezug auf verhaltensorientierte Modellansätze kann jedoch heute als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden. Es gibt zahlreiche Untersuchungen zu diesem Thema, die bei unterschiedlicher Ausgangssituation, mit unterschiedlicher Methodik und divergierenden Zielrichtungen übereinstimmende Erkenntnisse, insbesondere die grundlegenden Tatsachen, zutage gefördert haben. Insofern wäre eine nochmalige Überprüfung dieser bekannten Tatsachen anhand neuer Daten lediglich eine Wiederholung, ganz abgesehen davon, daß auch z.Z. noch entsprechende Untersuchungen im Gange sind. Konsequenterweise kann man sich daher auf eine kurze Betrachtung der bisherigen Untersuchungen beschränken, wobei selbstverständlich eine Konzentration auf diejenigen Arbeiten erfolgt, die für die vorliegende Untersuchung, d.h. für die Erstellung eines Simulationsmodells besonders relevant sind.

3.1 Bisherige Untersuchungen

Unterzieht man sich der Mühe, eine Einteilung der verschiedenen Arbeiten vorzunehmen, so ergeben sich vornehmlich zwei Möglichkeiten: eine Einteilung nach der zeitlichen Entstehung bzw. Veröffentlichung oder eine Einteilung nach inhaltlicher Abgrenzung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist die Einteilung nach der Herkunft und nach dem Inhalt der jeweiligen Veröffentlichung sinnvoller und zweckmäßiger. Somit ergeben sich drei Gruppen:

1. Amerikanische und englische Untersuchungen.
2. Deutsche Untersuchungen, die sich ganz allgemein mit Fragen der Mobilität und der Verkehrsentstehung beschäftigen.
3. Deutsche Untersuchungen, die über die Analyse von Zusammenhängen hinaus ein verhaltensorientiertes Modell zur Beschreibung des Personenverkehrs in Städten beinhalten.

Die Abkehr von den bisherigen Aggregat-Modellen erfolgte zunächst in Amerika, wo fast ausschließlich der Haushalt als Ausgangsbasis Verwendung findet, weswegen Vergleiche mit den in der Bundesrepublik Deutschland bekannt gewordenen Modellen, die auf der Grundlage von individuellen, also auf Personen bezogene Kriterien aufgebaut sind, schwerlich durchzuführen sind. Die erstgenannte Gruppe von Veröffentlichungen wird von KUTTER (1972) sowie von WERMUTH (1978) kritisch behandelt. Dazu gehören die Arbeiten von OI/SHULDINER (1962), WALKER (1968), WOOTTON/PICK (1967) und McCARTHY (1969), von denen die letztgenannte eine eindrucksvolle Kritik der bisherigen Verkehrserzeugungsmodelle aufgrund von Regressionsanalysen beinhaltet.

Während die Verkehrsentstehung als Folge einer Aktivitäten-nachfrage vornehmlich mit empirischen Daten in einem Modell

nachvollzogen wird, erfolgen die weitergehenden Entscheidungen, wie die Wahl des Ziels, die Wahl des Verkehrsmittels und die Wahl der Reihenfolge der Ortsveränderungen dagegen mit theoretischen Modellkonstruktionen, beispielsweise dem LOGIT- oder PROBIT-Modell. Einen guten Überblick über die Forschungen in den USA über moderne Prognoseverfahren in der Verkehrsplanung gibt MEYBURG (1976).

Bezüglich der zweiten Gruppe von Veröffentlichungen sind zu unterscheiden Arbeiten, die sich mit der Erhebung von Daten und deren Auswertung beschäftigen, wie z.B. BRÖG (1977); dann diejenigen Arbeiten, die aus diesen Daten Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge zur Beschreibung der Verkehrsentstehung ableiten. Dazu gehören BÖHME (1970), HAUTZINGER/KESSEL (1977), STRAUCH/TIETZ (1978), WERMUTH (1978) und HERZ (1979).

Darüber hinaus liegen zahlreiche Beiträge vor, in denen über die Vor- und Nachteile bei Verwendung von verhaltensorientierten Modellen in der Verkehrsplanung berichtet wird. Hier sind WEBER (1977) sowie KUTTER (1977, 1978) zu nennen. Gerade bei der Behandlung der Verkehrsmittelwahl bieten Modelle auf der Basis individueller Merkmale entscheidende Vorteile. Zu denjenigen Arbeiten, die sich ausschließlich mit dieser Fragestellung befassen, gehört die Untersuchung von MERCKENS/SPARMANN (1978, 1979), die insofern besonders erwähnt werden soll, da dort lediglich aufgrund von Daten aus Sekundärstatistiken interessante Erkenntnisse gewonnen wurden.

Am relevantesten für die vorliegende Untersuchung ist schließlich die an dritter Stelle genannte Gruppe von Veröffentlichungen. Die dabei vorgestellten Modelle unterscheiden sich in ihrer Handhabung; es sind zwei verschiedene Modelltypen ersichtlich. Im ersten Fall geschieht die Be-

rechnung auf der Basis der Multiplikation von Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit absoluten Personenzahlen (KUTTER, 1972; WEICHBRODT, 1977), im zweiten Fall arbeitet das Modell mit Hilfe der Simulation von individuellen Verhaltensweisen (KOCKS, 1976; KUTTER/MENTZ, 1979). Wie die einzelnen Modellkonstruktionen aussehen und vor allem welche unterschiedlichen Probleme mit ihrer Anwendung verbunden sind, darüber hat HOLZ (1978) eingehend berichtet.

Sicherlich wäre es interessant, auf die eine oder andere Arbeit näher einzugehen, zumal sie als Grundlage für die Erstellung des Simulationsmodells ORIENT Verwendung finden. Eine solche kritische Bestandsaufnahme sollte aber einer eigenen Arbeit vorbehalten werden. Stattdessen wird so verfahren, daß bei der Behandlung der einzelnen Bausteine des Simulationsmodells die einzelnen Punkte jeweils diskutiert werden und dabei auf die entsprechende Literatur näher eingegangen wird. Eine Würdigung der bisherigen Untersuchungen, die sich an einzelnen Problemen orientiert, ist mit Sicherheit effizienter.

3.2 Abgrenzung des Modellgegenstandes

Die Definition des Rahmens, der durch das Modell ausgefüllt wird, stellt gewissermaßen einen Leistungskatalog dar, der den Hintergrund für die Beurteilung der Ergebnisse im Vergleich zu anderen Modellen bildet. Eine mögliche Einteilung wurde von WEICHBRODT (1977) gegeben. In Anlehnung an diese Einteilung beinhaltet das Simulationsmodell ORIENT den werktäglichen fließenden Personenverkehr, der seine Quelle und sein Ziel innerhalb des abgegrenzten Planungsraumes hat, also den Binnenverkehr des Untersuchungsgebietes. Im Gegensatz zu der Abgrenzung von WEICHBRODT werden alle möglichen Verkehrsmittel und Aktivitäten berücksichtigt. Darüber hinaus erfolgen Vorschläge zur Einbeziehung des Gü-

terverkehrs, bei dem es sich ebenfalls um Aktivitäten von Personen handelt, sofern der Transport mit Kraftfahrzeugen, die einen Fahrer benötigen, durchgeführt wird. Auch der ruhende Verkehr wird in die Überlegungen insofern einbezogen, da die Wahrscheinlichkeit einen freien Parkstand am Ziel vorzufinden, je nach Fahrtzweck einen divergierenden Einfluß auf die Wahl des Ziels und des Verkehrsmittels hat bzw. sogar der Fahrtwunsch nicht realisiert wird.

Das Simulationsmodell ORIENT beinhaltet in dem nun vorgegebenen Rahmen die ersten drei Teilschritte, also die Verkehrserzeugung, die Verkehrsverteilung und die Verkehrsaufteilung.

Ebenso ist die Abgrenzung eines Untersuchungsgebietes gegenüber der bisherigen Arbeitsweise nichts neues. Dabei soll noch einmal betont werden, daß bei diesem Arbeitsschritt die Belange der wichtigen Verkehrsbeziehungen angemessen zu berücksichtigen sind, d.h. das Umland soll in die städtische Generalverkehrsplanung einbezogen werden. Dann ist der Anteil des mit diesem Modell zu bewältigenden Verkehrsaufkommens am gesamten Verkehrsaufkommen einer Stadt so groß, daß für den Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr ohne Einbußen an Genauigkeit mit einfachen, pragmatischen Ansätzen gearbeitet werden kann. Eine Erweiterung des Simulationsmodells auch auf diese Verkehre, die über die Grenzen des Planungsraumes hinausgehen, erscheint ohne weiteres möglich, damit auch kleinere Untersuchungsgebiete, bei denen der Anteil dieser Verkehre naturgemäß wesentlich größer ist, von der verbesserten Planungsmethodik profitieren können.

Die Definition der verschiedenen Fahrtzwecke sowie die Zuordnung zu den Verkehrsmitteln wird bei der Behandlung der einzelnen Bausteine im Rahmen der Erstellung des Simulationsmodells vorgenommen.

3.3 Grundlage der verhaltensorientierten Modelle

Als grundlegende Erkenntnis und damit gewissermaßen als Fundament der verhaltensorientierten Modelle erweist sich die Tatsache, daß individuelle, personenspezifische Faktoren die Nachfrage nach Aktivitäten und damit auch die Nachfrage nach Ortsveränderungen weitgehend, um nicht zu sagen ausschließlich determinieren. Daß der begründete Aktivitätenbedarf nicht im selben Ausmaß zu einer Verkehrsnachfrage führt, wird durch Erreichbarkeitskriterien verursacht. Daher steht neben der Aktivitätennachfrage auch das Verkehrsangebot als Einflußgröße im Raum. Wie der mikroskopische Prozeß der Entstehung eines Verkehrswunsches einer Person mit dem eher makroskopischen Zustand des Verkehrssystems verknüpft ist, kann nur schwerlich festgestellt werden, da die bisherigen Untersuchungen übereinstimmend lediglich marginale Auswirkungen von Lagekriterien auf die Anzahl von Ortsveränderungen festgestellt haben. Dagegen ist der Einfluß des Verkehrssystems auf die Wahl des Verkehrsmittels evident, aber nicht auf die Anzahl der Ortsveränderungen.

Häufig wird im Zusammenhang mit der Verkehrserzeugung der Begriff der Mobilität verwendet. Mit dieser Bezeichnung wird meistens die Anzahl von Ortsveränderungen mit Kraftfahrzeugen oder auch mit Verkehrsmitteln bezeichnet. Da die Anzahl der Ortsveränderungen, die zu Fuß durchgeführt werden, dabei unberücksichtigt bleiben, entsteht durch die zunehmende Substitution dieser Fußwege durch Fahrten mit Kraftfahrzeugen der zugegebenermaßen falsche Eindruck einer Mobilitätszunahme. Ohnehin haftet dem Begriff Mobilität die Idee eines Qualitätsmaßstabes an, indem ein höherer Wert der Mobilität als eine Erhöhung der Lebensqualität betrachtet wird. Dabei ist leider häufig das Gegenteil richtig.

Zur Vermeidung von Mißverständnissen wird wegen den unterschiedlichen Definitionen der Mobilität dieser Begriff in der vorliegenden Untersuchung nicht verwendet. Stattdessen

wird jeweils von der Anzahl der Ortsveränderungen gesprochen werden.

Sind nun die Merkmalsausprägungen, die für die Aktivitäten-erzeugung maßgebend sind, einer Population bekannt, kann unter gebührender Berücksichtigung der ortsspezifischen Gegebenheiten in bezug auf die Verteilung der Gelegenheiten (das sind potentielle Ziele in Abhängigkeit des jeweiligen Fahrtzweckes) und der Qualität des Verkehrssystems die Verkehrsnachfrage ermittelt werden. Ein besonderer Vorteil insbesondere für die Prognose ist dabei die Existenz von sogenannten verhaltenshomogenen Gruppen, wobei hier Verhaltenshomogenität im Sinne von Verkehrsverhalten, aber auch durch das jeweilige Modell definiert ist. Die verhaltenshomogenen Gruppen sollen so abgegrenzt werden, daß sich die Inhalt (Zweck)-Zeit-Raum-Verkehrsmittel-Dimension einer Ortsveränderung innerhalb einer Gruppe möglichst wenig, von Gruppe zu Gruppe dagegen möglichst stark unterscheiden, d.h. die Varianz innerhalb einer Gruppe soll gering, die Varianz von Gruppe zu Gruppe dagegen groß sein. Die Einteilung der Population in verhaltenshomogene Gruppen wird also nicht nach der Anzahl der gewünschten Ortsveränderungen, sondern hauptsächlich nach den unterschiedlichen, vorrangigen Fahrtzwecken und Verkehrsmitteln vorgenommen; damit verbunden sind gleichzeitig zeitliche und räumliche Abgrenzungen zwischen den einzelnen Gruppen.

Nun wird jedoch nicht einfach unterstellt, daß alle Personen einer verhaltenshomogenen Gruppe die gleiche Art, Anzahl und Reihenfolge von Aktivitäten erzeugt. Es wird also nicht mit einem Mittelwert bzw. mit einem mittleren Verhalten gearbeitet, das dann ebenfalls wieder eine Aggregation, hier allerdings über Personengruppen, wäre. Vielmehr werden den Personen jeder verhaltenshomogenen Gruppe bestimmte Verhaltensmuster zugeordnet, die natürlich unter-

schiedlich oft auftreten. Das Verhaltensmuster wird dabei durch eine Folge von Aktivitäten über einen ganzen Tag (24 Stunden) gebildet. Ohne Einbußen an Genauigkeit kann man davon ausgehen, daß alle diese Verhaltensmuster als Ausgangspunkt den jeweiligen Wohnstandort der Person haben, und diese auch bis zum Ende des Tages dorthin wieder zurückkehrt.

Die zentrale Bedeutung des Wohnstandortes wird durch folgende Tatsache deutlich; in der Größenordnung von 80 % sind alle Ortsveränderungen mit dem Wohnstandort verknüpft, d.h. die Quelle oder das Ziel einer Ortsveränderung ist der Wohnstandort. Da also häufig nur eine Aktivität von zuhause aus wahrgenommen wird und nur wenige Aktivitätenkombinationen, das sind unterschiedliche Aktivitäten ohne zwischenzeitliche Rückkehr an den Wohnstandort, auftreten, ergeben sich überwiegend gerade Anzahlen von Ortsveränderungen, was für die mathematisch-statistische Behandlung zusätzliche Probleme aufwirft.

Trotzdem ist diese Erkenntnis wichtig und auch sehr vorteilhaft, da gerade der Wohnstandort der Bevölkerung mit am einfachsten und genauesten zu ermitteln ist. WEICHBRODT (1977) hat sich diese Tatsache zunutze gemacht, indem er ausschließlich die heimgebundenen Fahrten betrachtet hat, wodurch jedoch Einbußen an Genauigkeit entstehen.

Betrachtet man nun den eigentlichen Sinn und Zweck der ganzen Bemühungen zur Erklärung und Beschreibung des Verkehrs aufkommens, dann ist die Prognose, Vorausschätzung oder begründete Vermutung gefragt. Dies geschieht nun in der Weise, daß bis zum Prognosejahr relativ zuverlässig eine neu erliche Aufteilung der Population in verhaltenshomogene Gruppen erfolgt. Wie zuverlässig dies geschehen kann, wird bei der später folgenden Behandlung der Daten deutlich. Dabei wird unterstellt, daß sich auch in Zukunft die einzelnen

Verhaltensmuster bzw. deren Häufigkeit innerhalb der verhaltenshomogenen Gruppen nicht oder nur geringfügig ändern. Obwohl dies in der Vergangenheit der Fall war, zahlreiche Untersuchungen haben das bestätigt, kann diese zeitliche Konstanz nicht ohne weiteres als ein "Naturgesetz" interpretiert werden. Geht man jedoch von einem überschaubaren Zeithorizont mit überschaubarer Entwicklung der Randbedingungen aus, so sind die einzelnen Verhaltensmuster durchaus in die Zukunft projizierbar.

Es wird also angenommen, daß eine Person im Prognosezeitraum in eine andere verhaltenshomogene Gruppe gerät und dann nach einer gewissen Zeit andere, für diese Gruppe typische Verhaltensweisen annimmt, wobei sich auch die unterschiedliche Benutzungshäufigkeit einzelner Verkehrsmittel ändert. Folglich handeln Personen, die sich beispielsweise in 10 Jahren in einer bestimmten Situation befinden, genauso wie diejenigen Personen, die schon heute in eben dieser Situation stehen. Diese Annahme ist jedoch für jede Prognose Voraussetzung und damit keine Besonderheit der verhaltensorientierten Modelle. Sie wird hier nur deutlicher, da die Verkehrsentsstehung aus den tatsächlichen Ursachen, nämlich dem Verhalten der Menschen in unserer Gesellschaft reproduziert wird.

3.4 Frage der Komplexität des Modells

Die inhaltliche Vorstellung, was unter dem Begriff "Modell" zu verstehen ist, kann als bekannt vorausgesetzt werden, zumal sich nicht nur zahlreiche Arbeiten mit diesem Begriff auseinandergesetzt haben, sondern auch eine fast unüberschaubare Vielzahl von unterschiedlichen Modellen auf dem weiten Gebiet der Verkehrsplanung entwickelt worden sind (HEIDEMANN, 1976).

Da ein Modell naturgemäß nicht alle Einflußparameter und Wirkungszusammenhänge zur Ermittlung der Zielgrößen enthält und somit immer eine Vereinfachung gegenüber der Realität darstellt, ergibt sich die Frage, wie umfangreich und in welchem Ausmaß einzelne Einflußfaktoren vom Modell übernommen und welche realen Gegebenheiten unter bestimmten Voraussetzungen vernachlässigt werden können. Zunächst wird man also eine erforderliche oder gewünschte Genauigkeit definieren müssen, damit dann unter diesem Gesichtspunkt das jeweilige Modell brauchbar ist. Aber schon hier stößt man auf einige Schwierigkeiten, denn die Überprüfung der Genauigkeit des Modells ist erst nach dessen Fertigstellung möglich; außerdem sind solche Gegenüberstellungen von errechneten und gemessenen Größen, die ja im Grunde dann für den Prognosezeitpunkt durchzuführen wären, meistens unmöglich, nicht weil grundsätzlich die Prognose falsch ist, sondern weil sich die Randbedingungen im Planungsraum in der Regel verändert haben.

Da sich also die Komplexität eines Modells nicht von vornherein bestimmen läßt, kann es nur auf iterativem Wege den gewünschten Anforderungen angepaßt werden. Generell ist festzustellen, daß mit zunehmender Komplexität des Modells eine immer genauere Beschreibung des gegenwärtigen Zustandes einhergeht; andererseits ist mit steigender Komplexität des Modells eine Erhöhung der Ungenauigkeit der Ergebnisse für den zukünftigen Zustand verbunden. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 1 dargestellt. Danach existiert ein optimaler Bereich für die Konstruktion des Modells, für den mit dem geringsten Fehler zu rechnen ist. Inwieweit das Simulationsmodell ORIENT diesen Bereich tangiert, darüber soll die bereits angekündigte Sensitivitätsanalyse in Kapitel 6 Aufschluß geben.

Darüber hinaus sind noch zwei Gründe zu nennen, die ein eher einfaches Modell erfordern. Zum einen liegen dieser

Untersuchung nicht alle der gewünschten Daten vor und können auch nicht beschafft werden, zum anderen wird die Komplexität des Modells auch durch die zur Verfügung stehende Rechenanlage begrenzt, wobei die Grenze hauptsächlich durch den benötigten Speicherplatz festgelegt wird. Die nicht voll befriedigende Datenbasis ist ein Umstand, der in der Praxis sehr häufig vorzufinden ist. Insofern bedeutet eine Beschränkung auf die notwendigsten Daten eine Ausrichtung dieser Arbeit bzw. des Simulationsmodells auf praktische Anwendungen.

3.5 Bausteine zur Simulation des Verkehrsverhaltens

Die Notwendigkeit, beim Aufbau und der Anwendung von Verkehrs nachfragemodellen Raumeinheiten zu definieren, wird von BRAUN/WERMUTH (1973) erläutert. Neben der Abgrenzung des Planungsraumes, auf die bereits eingegangen wurde, ist eine Einteilung des Untersuchungsgebietes in sogenannte Verkehrsbezirke bzw. Verkehrszellen unumgänglich, um die unendliche Anzahl von Quelle-Ziel-Beziehungen zu diskretisieren, überschaubar und als Eingabe für die Modelle der Verkehrsumlegung handhabbar zu machen. WERMUTH (1978) unterscheidet Verkehrszellen und Verkehrsbezirke, indem mehrere Verkehrszellen zu einem Verkehrsbezirk zusammengefaßt werden. Diese Unterscheidung ist allerdings nur für großräumige Untersuchungen notwendig; da es sich aber im vorliegenden Fall um gemeindliche bzw. städtische Verkehrspläne handelt, werden hier die Begriffe Verkehrszelle und Verkehrsbezirk synonym verwendet.

Neben der Verwendung von verkehrsmittelspezifischen Fahrtenmatrizen, denen eine Einteilung in Raumeinheiten zugrunde liegen muß, ist auch für die Darstellung des Verkehrssystems und der Verteilung der Gelegenheiten im Planungsraum eine Diskretisierung erforderlich, denn nur so kann der ma-

kroskopische Zustand des Verkehrssystems in das Modell ein-gebracht werden.

Bei der Einteilung des Planungsraumes in Verkehrszellen war eine bestimmte Größe und vor allem auch eine einheitliche Nutzung zu beachten, wenn die bisherige, aggregierte Planungsmethode Verwendung fand. Denn in diesem Fall wird die Verkehrserzeugung mit Hilfe von Regressionsgleichungen durchgeführt, die einen mathematischen Zusammenhang zwischen den Strukturmerkmalen von Verkehrsbezirken und deren Verkehrs-aufkommen darstellen. Demgegenüber richtet sich die Einteilung bei einem verhaltensorientierten Modell vornehmlich nach anderen Kriterien. Hinsichtlich der Größe von Verkehrszellen sind nach unten keine Grenzen gesetzt, sofern auch für kleine Raumeinheiten abgesicherte Prognosen möglich sind und sofern die zur Verfügung stehende Rechenanlage den ungefähr proportional mit dem Quadrat der Anzahl der Verkehrszellen anwachsenden Speicherplatzbedarf verkraften kann.

Neben der Vielzahl von Kriterien, die in den verschiedenen Arbeiten diskutiert werden, muß bei der Anwendung des vorliegenden Simulationsmodells ORIENT besonders darauf geachtet werden, daß den Verkehrszellen eine eindeutige Zuordnung der Erreichbarkeit bzw. der Erschließungsklasse durch den ÖPNV möglich ist. Hier bietet sich die Abgrenzung von Verkehrszellen in der Form von Haltestellen-Einzugsbereichen an. Außerdem sollte darauf geachtet werden, daß die jeweiligen Verkehrszellen eine einheitliche soziodemographische Struktur aufweisen, die eine Fortschreibung in die Zukunft leichter erscheinen und damit bei der Aufteilung in die verhaltens-homogenen Gruppen geringere Fehler erwarten läßt. Der letztgenannte Aspekt ist jedoch nicht so bedeutsam, da je nach Alter der Wohnquartiere jeweils bestimmte Bevölkerungsstruk-turen vorherrschen.

Leider können sehr oft in der Praxis viele der Kriterien nicht ausreichend berücksichtigt werden; denn die Städte und Gemeinden haben ihren Verwaltungsbezirk in sogenannte statistische Blöcke unterteilt, auf deren Grenzen Rücksicht genommen werden muß, da die statistischen Angaben für diese statistischen Blöcke ein unverzichtbarer Bestandteil der Beschaffung von Daten ist.

Während das räumliche Raster für das Modell unabdingbar ist, wird der zeitliche Bezug zunächst vernachlässigt; es wird zunächst das Verkehrsaufkommen eines normalen Werktages (24 Stunden) ermittelt. Da aber neben der räumlichen Konzentration gerade die zeitliche Konzentration von Verkehrsströmen für die Verkehrsplanung von besonderem Interesse ist, kann diese nicht vernachlässigt werden und wird im Anschluß an die Simulation des Verkehrsverhaltens behandelt.

3.5.1 Einwohnerverteilung

Der erste Baustein für das Simulationsmodell ORIENT ist der einfachste, aber zugleich der wichtigste, nämlich die Anzahl der für das Modell relevanten Einwohner je Verkehrs zelle. Die Anzahl der relevanten Einwohner ergibt sich aus der gesamten Wohnbevölkerung, indem die Anzahl der Auspendler und die Anzahl der Kinder unter 6 Jahren abgezogen wird. Bei den Auspendlern handelt es sich um Personen, die definitionsgemäß den Planungsraum verlassen und damit nicht mehr zum Binnenverkehr, der hier ausschließlich behandelt wird, gehören; bei den Kindern unter 6 Jahren wird unterstellt, daß sie keinen selbständigen Aktivitätenbedarf besitzen und somit vernachlässigt werden können. Während der Anteil der Auspendler eine schwierig zu erhaltende Größe ist, ergibt sich die Anzahl der Kinder unter 6 Jahren ohne

weiteres aus dem Altersaufbau der Bevölkerung je Verkehrs-
zelle.

3.5.2 Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen

Bei den genannten Untersuchungen werden bei der Analyse der empirischen Daten eine Vielzahl von Merkmalen auf deren Einfluß und Verwendung als Abgrenzung von verhaltenshomogenen Gruppen untersucht. Dabei werden übereinstimmend als die dominierenden Einflußgrößen die Erwerbstätigkeit und die Pkw-Verfügbarkeit festgestellt. Die Unterscheidung von Pkw-Besitz und Pkw-Verfügbarkeit ist wichtig, da ausschließlich die Möglichkeit einen Pkw zu benutzen, wie sie die Pkw-Verfügbarkeit impliziert, für die Wahl des Verkehrsmittels entscheidend ist. Die Anzahl der Personen, die einen Pkw zur Verfügung haben, ist auf jeden Fall größer als die Anzahl der Pkw. Während die Frage der Pkw-Verfügbarkeit im wesentlichen Aufschluß über die Wahl des Verkehrsmittels gibt, die Anzahl von Ortsveränderungen pro Tag wird dadurch kaum merklich beeinflußt, kommt dem Merkmal Erwerbstätigkeit fundamentale Bedeutung zu, indem dadurch die hauptsächlichen Fahrtzwecke mit unterschiedlichen Zie-
len und anderen Zeiten determiniert werden.

Von den Nicht-Erwerbstätigen sind auf jedem Fall die Schü-
ler und Auszubildenden zu trennen, die in einer eigenen
Gruppe zusammengefaßt werden. Somit ergeben sich zunächst,
ohne Berücksichtigung der Pkw-Verfügbarkeit, 3 verhaltens-
homogene Gruppen:

1. Erwerbstätige
2. Nicht-Erwerbstätige
3. Schüler

Unter Hinzunahme der Pkw-Verfügbarkeit ergeben sich dann 5 verhaltenshomogene Gruppen, Abb. 2. In den Modellen von KUTTER (1972) und WEICHBRODT (1977) werden 10 und mehr Personengruppen definiert. Diese zusätzliche Auffächerung erfolgt einerseits nach dem Geschlecht, andererseits werden die Nicht-Erwerbstätigen nach Hausfrauen und Rentnern unterteilt; sie hat aber nur dann einen Sinn, wenn nicht nur deren Anteile bei der Analyse und Prognose genügend genau bestimmt werden können, sondern auch die Verteilung der speziellen Gelegenheiten für diese Personengruppen für die Analyse und Prognose zur Verfügung stehen. So müßten beispielsweise die Standorte der Arbeitsplätze für männliche und weibliche Erwerbstätige getrennt für jede Verkehrszelle vorausgeschätzt werden. Wenn man weiß, wie schwierig bereits die Entwicklung von globalen Werten, d.h. der Gesamtzahl von Arbeitsplätzen zu ermitteln ist, kann man ermessen, daß die zusätzliche Diversifizierung bei den verhaltenshomogenen Personengruppen die Abbildungsgenauigkeit des Modells eher reduziert als erhöht. Im übrigen ist bei der Aktivitätennachfrage und Wahl des Verkehrsmittels nicht das Geschlecht ein Haupteffekt; die Unterschiede entstehen vielmehr dadurch, daß insbesondere weibliche Erwerbstätige im Gegensatz zu den männlichen Erwerbstätigen keinen Pkw zur Verfügung haben.

Bei dem Modell von KOCKS (1976) werden die auch hier verwendeten verhaltenshomogenen Personengruppen mit Ausnahme der Gruppe der Schüler zusätzlich nach der Lokalität im Planungsraum, also nach Stadt oder Landkreis unterschieden. Es treten jedoch nur geringfügige Unterschiede auf, die WERMUTH (1978) ebenfalls festgestellt hat, so daß die Verkehrslagegunst, die durch den jeweiligen Wohnstandort bzw. durch die jeweilige Verkehrszelle repräsentiert wird, vernachlässigbar klein ist.

Wie sinnvoll und nützlich die vorgenannte Einteilung der relevanten Wohnbevölkerung in 5 verhaltenshomogene Gruppen unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.4 erörterten Zusammenhänge ist, wird sich bei der Eichung des Modells und bei der anschließenden Sensitivitätsanalyse erweisen.

3.5.3 Definition der Verhaltensmuster

Als Verhaltensmuster bezeichnet man eine Folge von Aktivitäten einer Person an einem normalen Werktag, die zu einer Folge von Ortsveränderungen führt und mit bestimmter Wahrscheinlichkeit innerhalb einer verhaltenshomogenen Personengruppe auftritt. Bevor nun aber Aktivitäten- bzw. Fahrtenfolgen behandelt werden können, müssen zunächst die verschiedenen Kategorien von Aktivitäten definiert und gegenseitig abgegrenzt werden.

3.5.3.1 Aktivitätenkategorien

Die jeweilige Aktivität, die den Fahrtzweck einer Ortsveränderung bezeichnet, wird durch die Art der Tätigkeit am Ziel bestimmt. Folglich ist die Anzahl der zu definierenden Aktivitäten auch davon abhängig, ob und in welchem Umfang geeignete Kenngrößen zur Beschreibung der Zielpotentiale für jeden Fahrtzweck verfügbar sind. Jeder Aktivitätenkategorie ist also ein entsprechendes Strukturmerkmal zuzuordnen, um die Vorteile einer fahrtzweckspezifischen Verkehrserzeugung auch bei der Verkehrsverteilung zu nutzen. Daher werden in der vorliegenden Arbeit die Aktivitäten und die zugehörigen Strukturmerkmale wie folgt definiert:

Aktivitäten		
Schlüssel Nr.	Bedeutung	Struktur - merkmal
0	keine Fahrt	-
1	→ Arbeit	Arbeitsplätze
2	→ Ausbildung	Ausb.plätze
3	→ Einkauf	Arbeitsplätze III
4	→ Privat	Einwohner
5	→ Wohnung	-

Es handelt sich also um die vier Aktivitäten Arbeit, Ausbildung, Einkauf und Privat, denen die Verteilung der Arbeitsplätze, der Ausbildungsplätze, der Arbeitsplätze im tertiären Sektor und der Einwohner gegenübergestellt wird. Von den genannten Strukturmerkmalen ist die Anzahl der Arbeitsplätze im tertiären Sektor als Ausgangsbasis für die Verteilung der Ortsveränderungen mit dem Fahrtzweck Einkauf etwas problematisch, nicht nur weil Angaben hierüber schwer zu erhalten sind, sondern auch weil dieses Strukturmerkmal das Zielpotential nur unzureichend beschreibt. Alternative Kenngrößen sind aber ebensowenig zu erhalten und ebenfalls unvollkommen, so daß hier ein Kompromiß gefunden werden mußte. Nach Art und Aufbau des Simulationsmodells ORIENT sind die sogenannten Fahrtzwecke von den Fahrtzweckklassen zu unterscheiden. Während ein Fahrtzweck immer durch ein Paar von Aktivitäten (beispielsweise 5-1: Fahrtzweck "Wohnung-Arbeit" oder 1-5: Fahrtzweck "Arbeit-Wohnung") dargestellt wird, gehört die betrachtete Ortsveränderung zu derjenigen Fahrtzweckklasse, die die Aktivität am Ziel angibt, beziehungsweise die Aktivität an der Quelle der Ortsverände-

rung, wenn es sich um eine Fahrt nach Hause handelt. Diese Unterscheidung ist vor allem deswegen wichtig, da die zeitliche Aufteilung anhand der Fahrtzwecke erfolgt, die jeweils charakteristische Ganglinien aufweisen. Dagegen interessiert die Aufteilung der gesamten Ortsveränderungen in Fahrtzweckklassen vor allem aus Gründen der Vergleichsmöglichkeit mit anderen Untersuchungen

Bezüglich der gegenseitigen Abgrenzung der genannten Aktivitätenkategorien dürften mit Ausnahme der Aktivitäten Einkauf und Privat, bei denen eine scharfe Unterteilung nicht immer möglich sein wird, keine Probleme auftreten. Bei den bekannt gewordenen Modellen werden auch die Aktivitätenkategorien weiter differenziert als es hier der Fall ist. Allerdings sind Zweifel angebracht, ob dieser zusätzliche Informationsgehalt auch bei der Verkehrsverteilung seinen entsprechenden Niederschlag gefunden hat. Außerdem ist anzumerken, daß Vergleiche hinsichtlich der Häufigkeit bestimmter Fahrtzwecke bzw. Fahrtzweckklassen durch die unterschiedliche Definition und Abgrenzung der Aktivitäten erschwert, wenn nicht sogar unmöglich sind.

3.5.3.2 Fahrtenfolgen

Mit dem Aufkommen verhaltensorientierter Modelle wurde ursprünglich auch angenommen, daß die Folgen von Ortsveränderungen als Folge gewünschter Aktivitäten einer verhaltenshomogenen Gruppe räumlich übertragbar seien. Inzwischen hat sich diese Vermutung nicht ganz bestätigt, da das verkehrliche Verhalten von der Größe der betrachteten Stadt oder Gemeinde nicht ganz unabhängig ist. Nach HAUTZINGER/KESSEL (1977) bestehen jedoch gewisse Schwierigkeiten, diesen Einfluß zu charakterisieren. Die Konsequenz dieser Tatsache ist dann natürlich, daß für jeden Anwendungsfall einzeln geprüft werden muß, ob eine neuerliche Erhebung der Verhaltensmuster erforderlich ist oder entsprechende Anga-

ben von vergleichbaren Untersuchungen übertragen werden können.

Bei der vorliegenden Arbeit schied von vornherein eine Erhebung der Fahrtenfolgen wegen der hohen Kosten aus. Stattdessen wird auf die in der Literatur verfügbaren Angaben zurückgriffen. Das sind im wesentlichen die Ergebnisse der kontinuierlichen Erhebung zum Verkehrsverhalten (KONTIV), die für den vorliegenden Zweck von HOLZ (1978) aufbereitet wurden, sowie die entsprechenden Angaben von KOCKS (1976).

Eine Gegenüberstellung der Häufigkeiten für die verschiedenen Verhaltensmuster ergab geringfügige Abweichungen, die vor allem auf die unterschiedliche Definition der Aktivitätenkategorien zurückzuführen ist. Ein besonderes Problem stellt dabei die Tatsache dar, daß nur etwa 60 bis 80 % der Personen solche Verhaltensmuster besitzen, deren Anteil jeweils 1 % an der Gesamtzahl aller Verhaltensmuster innerhalb einer verhaltenshomogenen Gruppe beträgt oder überschreitet. Die restlichen Personen weisen also sehr individuelle Verhaltensmuster auf, die in den erwähnten Arbeiten leider nicht im einzelnen dargestellt werden. Daher werden diese individuellen Verhaltensmuster zu den bereits bekannten und häufiger auftretenden Verhaltensmustern dazugeschlagen, und zwar in der Weise, daß sich der Mittelwert der Anzahl der Ortsveränderungen der betrachteten verhaltenshomogenen Gruppe dadurch nicht verändert.

Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes, also die Anteile der einzelnen Verhaltensmuster bei den 5 verhaltenshomogenen Gruppen ist in den Abb. 3 bis 5 dargestellt. Beachtlich sind dabei die Anteile, die allein von dem jeweils häufigsten Verhaltensmuster erreicht werden. Neben den Unterschieden zwischen den Gruppen fallen vor allem die abweichenden Hauptfahrtzwecke der Obergruppen auf. Hier wird der große Vorteil der verhaltensorientierten Modelle besonders

deutlich, denn beispielsweise haben die Schüler nicht nur eine abweichende Verteilung der Gelegenheiten, sondern auch eine andere zeitliche Konzentration der Ortsveränderungen bei ihrem Hauptfahrtzweck Ausbildung. Gleiches gilt für die Erwerbstätigen mit dem Hauptfahrtzweck Arbeit und für die Nicht-Erwerbstätigen mit dem Hauptfahrtzweck Einkauf.

Hinsichtlich der durchschnittlichen Anzahl der Ortsveränderungen pro Person und Tag je verhaltenshomogener Gruppe empfiehlt es sich, alle Personen zu berücksichtigen, also auch diejenigen, die am betreffenden Stichtag keine Ortsveränderung durchgeführt haben. Danach besitzen die beiden Gruppen Erwerbstätige mit Pkw-Verfügbarkeit und Schüler die höchste Anzahl von Ortsveränderungen mit durchschnittlich 2,7 Fahrten/Person und Tag; den niedrigsten Wert von 2,1 Fahrten/Person und Tag weist die Gruppe der Nicht-Erwerbstätigen ohne Pkw-Verfügbarkeit auf.

Mit den bis jetzt vorgestellten Bausteinen ist die Verkehrserzeugung im Grunde genommen abgeschlossen. Ist die Zahl der Einwohner, die Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen und der jeweilige Anteil der Verhaltensmuster bekannt, so kann sofort die Summe der werktäglichen Ortsveränderungen ausgerechnet werden. Neben der zeitlichen Gliederung fehlen nun noch die räumliche Verteilung und die Aufteilung auf die verschiedenen Verkehrsmittel.

3.5.4 Zielwahlwahrscheinlichkeiten

Den wohl schwierigsten Teil im Rahmen der Simulation der Verkehrsnachfrage stellt die Ermittlung der Zielverkehrszellen dar. Demgegenüber ist die betreffende Quellverkehrszelle, bedingt durch den Wohnstandort oder durch das Ziel der vorhergehenden Ortveränderung, jeweils bekannt. Ein wesentlicher Unterschied bei der Verkehrsverteilung mit

Hilfe der Simulation gegenüber der bisherigen Arbeitsweise, bei der im wesentlichen Fahrtenbündel behandelt werden, ist darin zu sehen, daß jetzt einzelne Ortsveränderungen zur Verteilung im Raum anstehen. Dies ist jedoch als Vorteil zu werten, da dabei neben dem Fahrtzweck auch die personen-spezifischen Merkmale, die bei der Verkehrsverteilung eine Rolle spielen, beachtet werden.

In diesem Zusammenhang muß eine grundsätzliche Bemerkung über die Prognosefähigkeit des Simulationsmodells ORIENT gemacht werden. Es soll nicht der Eindruck entstehen, daß mit der Nachahmung der Entscheidungen von Einzelpersonen deren Verhalten in jedem Einzelfall richtig nachvollzogen wird. Es ist ohnehin unmöglich, Prognosen für Einzelpersonen zu erstellen. Dies geschieht vielmehr für repräsentative Kollektive von Personen, deren Ergebnis auf die Grundgesamtheit übertragen werden kann. Wenn also eine Gesetzmäßigkeit bei der Auswahl einer Zielverkehrszelle für eine Einzelfahrt unterstellt wird, dann hat diese solange Gültigkeit, wie die Verkehrsbeziehungen aller Ortsveränderungen mit der Realität im Einklang stehen.

Leider liegen über den Zusammenhang zwischen der Entstehung eines Fahrtwunsches und der Auswahl des Ziels nur wenige Erkenntnisse vor. Es erscheint ohnehin schwierig, von einer "Wahl" zu sprechen, da das Verhalten mehr durch Gewohnheit und/oder durch äußere Randbedingungen festgelegt ist. So liegt ja beispielsweise neben dem Wohnstandort auch der Arbeitsplatzstandort einer Person fest. Hier ist allenfalls eine einmalige Entscheidung zu treffen, wobei die Frage völlig offen ist, ob überhaupt ein Zusammenhang bei der Wahl des Wohn- und Arbeitsplatzstandortes zwischen beiden Lokalitäten existiert. Zu vermuten ist, daß in der heutigen Zeit zuerst über den Arbeitsplatz entschieden wird. Ähnlich festgefaßte Gewohnheiten sind auch bei anderen Fahrtzwecken vorhanden, die durch persönliche Präferenzen, aber

auch durch ein Defizit an Informationen über alternative Gelegenheiten im Planungsraum erzeugt werden. So beschränkt sich die Wahl des Ziels von vornherein nur auf einen Ausschnitt des gesamten Untersuchungsgebietes. Man hat festgestellt, daß sich dieser räumliche Ausschnitt in Form einer Ellipse darstellen läßt. Diese entsteht hauptsächlich durch eine einzelne Ortsveränderung (von Brennpunkt zu Brennpunkt), indem auf dem Hin- oder Rückweg gegebenenfalls Aktivitäten seitlich dieser Linie erfolgen. Diese vorgenannten Gesichtspunkte in einem Simulationsmodell angemessen zu berücksichtigen, ist gegenwärtig unmöglich. Sie erscheinen zu wenig abgesichert und außerdem müßte auch vor allem deren Übertragbarkeit gewährleistet sein. Hierzu sind noch umfangreiche, empirische Untersuchungen notwendig. Jedenfalls rechtfertigt der heutige Stand der Erkenntnisse keine aufwendigen Überlegungen, wie diese eventuellen Zusammenhänge in das Modell integriert bzw. operationalisierbar gemacht werden können.

Stattdessen wird für die anstehende Behandlung der Verkehrsverteilung einzelner Ortsveränderungen ein anderer Weg beschritten; es werden die in den bekannten Gravitationsmodellen vorhandenen Gesetzmäßigkeiten zur Lösung dieses Problems herangezogen. Danach ist die Wahrscheinlichkeit für die Annahme einer Zielverkehrszelle für einen bestimmten Fahrtzweck proportional der Anzahl der Gelegenheiten in dieser Zelle, die den betreffenden Fahrtzweck symbolisiert, und umgekehrt proportional dem Widerstand zwischen Quell- und Zielverkehrszelle. Während die Daten der Verteilung der Gelegenheiten als Teil des darzustellenden Sachsystems zur Verfügung stehen, bereitet die Ermittlung des Widerstandes für alle Verkehrsbeziehungen zunächst gewisse Schwierigkeiten, denn der Widerstand ist neben anderen Faktoren vom Fahrtzweck und auch von der Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln abhängig. Zusätzlich ist bei denjenigen Personengruppen, die auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen sind,

der Erschließungsgrad für jede Quelle-Ziel-Beziehung zu berücksichtigen. Vor allem wegen des enormen Speicherplatzbedarfes für die zahlreichen Matrizen mit den Wahrscheinlichkeiten für die Zielwahl ist bei der Definition des Widerstandes eine Beschränkung unumgänglich, so daß in diesem Parameter zunächst nur die mittlere Entfernung zwischen den Schwerpunkten der Verkehrszellen enthalten ist. Es handelt sich dabei um räumliche Entfernungen, die im inneren Stadtbereich aus den Luftlinienentfernungen durch Multiplikation mit dem Faktor 1,5 errechnet werden; für die Verkehrsbeziehungen der sich daran anschließenden äußeren Region werden die Entfernungen den tatsächlichen Entfernungen anhand der Ausfallstraßen gleichgesetzt, sofern die betreffende Verbindung nur über diese Ausfallstraße hergestellt werden kann. Mit dieser unterschiedlichen Behandlung der Verkehrsbezirke, je nach deren Lage im Planungsraum, wird den realen Gegebenheiten am besten Rechnung getragen.

Neben der räumlichen Entfernung ist auch die Angabe von zeitlichen Entfernungen, d.h. also von mittleren Reisezeiten zwischen den einzelnen Verkehrszellen möglich; da diese sich jedoch auf jeweils nur ein Verkehrsmittel beziehen kann, treten erhebliche Schwierigkeiten auf, wenn wie im vorliegenden Fall mehr als ein Verkehrsmittel einbezogen wird.

Um den Einfluß der Erschließungsqualität durch öffentliche Verkehrsmittel bei der Zielwahl zu berücksichtigen, bedarf es nicht nur der Kenntnis, ob der gerade betrachteten Person ein Pkw zur Verfügung steht, sondern auch einer Angabe über die Bedienungsqualität durch den ÖPNV für alle möglichen Verkehrsbeziehungen. Hier wird also bereits deutlich, daß die Wahrscheinlichkeit für die Annahme eines Ziels auch von der Verkehrsmittelwahl abhängig ist. Diese in der Realität parallel ablaufende Entscheidung, nämlich die Wahl eines Ziels und eines Verkehrsmittels mußte bisher

vernachlässigt werden. Aus den schon bekannten Gründen erfolgt wiederum eine Diskretisierung dieses Parameters; es werden 3 Erschließungsgrade definiert:

1. Der Erschließungsgrad 1 liegt vor, wenn die Quelle-Ziel-Beziehung durch den ÖPNV erschlossen und ohne Umsteigen miteinander verbunden ist.
2. Der Erschließungsgrad 2 liegt vor, wenn die Quelle-Ziel-Beziehung durch den ÖPNV erschlossen und mit Umsteigen verbunden ist oder wenn gegenüber dem Erschließungsgrad 1 eine wesentlich verschlechterte Bedienungshäufigkeit gegeben ist.
3. Der Erschließungsgrad 3 liegt schließlich dann vor, wenn weder Erschließungsgrad 1 oder 2 gegeben sind; d.h. hierzu gehören alle diejenigen Verkehrsbeziehungen, für die nur in Teilstrecken oder überhaupt keine öffentlichen Verkehrsmittel zur Verfügung stehen.

Die unterschiedliche Entfernungsempfindlichkeit, je nach Fahrtzweck und Erschließungsgrad, wird durch entsprechende Potenzierung der Widerstände hergestellt. Für jede Verkehrsbeziehung, d.h. von jeder Verkehrszelle zu jeder Verkehrszelle werden zunächst sogenannte Gewichtungsfaktoren für die Zielwahl errechnet, aus denen durch Normierung die Wahrscheinlichkeiten gewonnen werden. Die Gewichtungsfaktoren sind wie folgt definiert:

$$\gamma_{ij}^{g,p,u} = \frac{G_j^p}{w_{ij}^{\alpha^{g,p,u}}}$$

G_j^p = Anzahl der Gelegenheiten, die die Fahrtzweckklasse p symbolisieren,

w_{ij} = wahre räumliche Entfernung zwischen Quellverkehrszelle i und Zielverkehrszelle j in [m],

$\alpha^{g,p,u}$ = Exponent für den Einfluß der Entfernung in Abhängigkeit von der verhaltenshomogenen Gruppe g , der Fahrtzweckklasse p und der Erschließungsklasse u .

Die Wahl der Exponenten wurde durch mehrere Testläufe bestimmt; sie sind in Abb. 6 eingetragen. Danach werden also 10 Anwendungsfälle unterschieden. Es wird davon ausgegangen, daß sich die Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit bei Vorliegen von Erschließungsgrad 1 wie die Personen mit Pkw-Verfügbarkeit verhalten, für die der Erschließungsgrad natürlich keine Rolle spielt. Bei der Fahrtzweckklasse Ausbildung bleibt der Erschließungsgrad unberücksichtigt, da die Standorte von Schul- und Ausbildungsplätzen in der Regel gut angebunden sind. Durch eine Erhöhung des Exponenten bei der Fahrtzweckklasse Einkauf wird dem Umstand Rechnung getragen, daß in diesen Fällen gegenüber den anderen Fahrtzweckklassen eine größere Entfernungsempfindlichkeit besteht. Inwieweit die hier aufgeführten Exponenten allgemeingültig sind, kann erst nach Überprüfung durch andere Anwendungsbeispiele herausgefunden werden. So ist

zu vermuten, daß sie unter anderem auch von der Größe des betrachteten Untersuchungsgebietes abhängen.

3.5.5 Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten

Bei dem bisherigen, 4-stufigen Planungsalgorithmus war die angemessene Berücksichtigung der Verkehrsmittelwahl schon immer ein besonderes Problem. So ist nicht nur deren Anordnung im Ablauf umstritten, sondern es werden auch in zahlreichen Untersuchungen Kriterien definiert und deren Einflußnahme auf die Wahl des Verkehrsmittels analysiert, wobei häufig widersprüchliche Erkenntnisse zu verzeichnen sind, die aufgrund unterschiedlicher Datenbasis und abweichender Untersuchungsmethoden entstanden sein könnten. Die Verkehrsmittelwahl anhand von personenspezifischen Merkmalen und einzelnen Fahrtzwecken stellt einen neuen Anspruch an Forschungsarbeiten auf diesem Wissensgebiet. Die Arbeit von MERCKENS/SPARMANN (1978, 1979) ist dazu ein wertvoller Beitrag.

Bevor nun aber über die Modalitäten der Verkehrsmittelwahl im einzelnen berichtet wird, müssen Überlegungen über deren zweckmäßige Anzahl und gegenseitige Abgrenzung ange stellt werden. Die Konzeption des Modells verlangt die Berücksichtigung aller möglichen Verkehrsmittel, da in einem geschlossenen System gerechnet wird. Diese müssen so unterschieden werden, daß die Anforderungen der Dimensionierung von Verkehrsanlagen für bestimmte Verkehrsarten erfüllt werden können. Daher ist in jedem Fall der Fahrrad- und Mofaverkehr von dem Fußgängerverkehr zu trennen. Während für das Modell die Anzahl der Personen, die mit einem bestimmten Verkehrsmittel fahren, interessant ist, beziehen sich die verkehrstechnischen Berechnungen im Rahmen der Verkehrsplanung auf die Anzahl der Transportgef äße. Diesem Umstand wird dadurch Rechnung getragen, daß

der Individualverkehr (eine zutreffendere Bezeichnung wäre "Verkehr mit privaten Verkehrsmitteln") in "Mitfahrer im Pkw" und "Pkw-Selbstfahrer" aufgeteilt wird. Mit Hinzunahme der öffentlichen Verkehrsmittel ergeben sich dann die folgenden 5 Verkehrsmittel:

1. Zu Fuß
2. ÖPNV
3. Mitfahrer im Pkw
4. Pkw-Selbstfahrer
5. Fahrrad, Mofa

Die unter Punkt 3 und 4 aufgeführten privaten Verkehrsmittel schließen alle diejenigen ein, die bei den übrigen, eindeutig definierten Verkehrsmitteln nicht unterzubringen sind.

Die Berücksichtigung der "Mitfahrer im Pkw" als selbständiges Verkehrsmittel ermöglicht eine Aussage über den mittleren Besetzungsgrad jeder Verkehrsbeziehung, der mit zunehmendem Anteil der verhaltenshomogenen Gruppen mit "Pkw-Verfügbarkeit" selbstverständlich zurückgehen wird.

Der wesentlichste Gesichtspunkt bei der Wahl des Verkehrsmittels ist die Frage der Pkw-Verfügbarkeit, wie bereits ausgeführt wurde. Darüber hinaus üben die Merkmale Fahrtzweck, Entfernung und Erschließungsgrad einen Einfluß aus. Die Handhabung der Verkehrsmittelwahl erfolgt analog zu der Vorgehensweise von KOCKS (1976). Es werden für jede verhaltenshomogene Gruppe, für jede Fahrtzweckklasse, für jede Entfernungsklasse und für jede Erschließungsklasse die Wahrscheinlichkeit für die Benutzung der einzelnen Verkehrsmittel ermittelt, aus denen schließlich die Wahl des Verkehrsmittels stochastisch erfolgen kann.

Die Einteilung in Erschließungsklassen bzw. Erschließungsgrade wurde im vorangegangenen Abschnitt erläutert; die für die Zielwahl bereits bekannten Entfernungen zwischen allen Verkehrszellen werden in die 4 folgenden Entfernungsklassen eingeteilt:

0. Die Entfernungsklasse 0 liegt vor, wenn die betrachtete Quelle-Ziel-Beziehung innerhalb nur einer Verkehrszelle liegt, d.h. wenn es sich um den Binnenverkehr der Verkehrszellen handelt.
1. Die Entfernungsklasse 1 liegt vor, wenn die Quelle-Ziel-Beziehung bis 2,5 km voneinander entfernt ist.
2. Zu der Entfernungsklasse 2 gehören alle Verkehrsbeziehungen, deren Entfernungen zwischen 2,6 km und 5,0 km betragen.
3. Die Entfernungsklasse 3 liegt schließlich dann vor, wenn die Quelle-Ziel-Beziehung über 5,0 km voneinander entfernt ist.

Wie bereits bei der Zielwahl findet auch bei der Verkehrsmittelwahl eine explizite Berücksichtigung des Binnenverkehrs der einzelnen Verkehrszellen statt; diese Verkehrsart bereitete bei der bisherigen Planungsmethode erhebliche Schwierigkeiten, da vornehmlich aus rechentechnischen Gründen (Hauptdiagonale) der Zellen-Binnenverkehr zunächst ausgeklammert werden mußte, um dann in einem besonderen Arbeitsschritt getrennt behandelt zu werden. Gerade die Möglichkeit, bestimmte Aktivitäten in der Nähe des Wohnstandortes zu erledigen, wird dabei häufig mißachtet, so daß die Ergebnisse mit den bekannten Verkehrsverteilungsmodellen regelmäßig eine Unterschätzung der Anzahl der Ortsveränderungen über kurze Entfernungen und eine Überschätzung der Anzahl der Ortsveränderungen über große Entfernungen aufweisen.

Ein weiterer wichtiger Vorteil bei der verhaltensorientierten Arbeitsweise wird dadurch impliziert, indem die kompletten Tagesabläufe einzelner Personen simuliert werden. Das hat zur Folge, daß nachdem für die erste Ortsveränderung, die ja immer den Wohnstandort als Quelle hat, die Entscheidung hinsichtlich der Benutzung eines bestimmten Verkehrsmittels gefallen ist, für die sich dann daran anschließende Ortsveränderung nur dann ein neues Verkehrsmittel zu wählen ist, wenn es sich bei dem vorangegangen um ein sogenanntes austauschbares Verkehrsmittel gehandelt hat. Als austauschbare Verkehrsmittel gelten die Verkehrsmittel "zu Fuß", "ÖPNV" und "Mitfahrer im Pkw". In allen anderen Fällen wird das Verkehrsmittel auch für die zweite und alle sich daran anschließenden Ortsveränderungen beibehalten, es sei denn, die betreffende Person kehrt zwischenzeitlich an ihren Wohnstandort zurück, wo eine neuerliche Entscheidung über die Wahl des Verkehrsmittels zu erfolgen hat. Diese Vorgehensweise begünstigt die Ergebnisse hinsichtlich der realen Gegebenheiten, denn die privaten Verkehrsmittel werden in der Regel nicht an vom Wohnstandort entfernten Zielen zurückgelassen.

Zu den Definitionen bezüglich der Verkehrsmittel ist noch nachzutragen, daß es sich dabei um das hauptsächlich benutzte Verkehrsmittel bei der Realisierung einer Ortsveränderung handelt. So sind beispielsweise bei Fahrten mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder mit dem Pkw zum Erreichen des Transportgefäßes, aber auch nach Verlassen des Transportgefäßes Fußwege erforderlich, die jedoch keine Ortsveränderung aufgrund einer Aktivitätennachfrage darstellen; die An- und Abmarschwege zu oder von Haltestellen bzw. Parkständen sind vielmehr lediglich Bestandteil einer Ortsveränderung.

Der enorme Aufwand bei der Ermittlung der einzelnen Wahrscheinlichkeiten wird durch die Vielzahl der Parametervari-

riationen verursacht. Mit 5 verhaltenshomogenen Gruppen, 4 Fahrtzweckklassen, 4 Entfernungsklassen und 3 Erschließungsklassen sind zusammen 240 verschiedene Kombinationen zu unterscheiden; bei Berücksichtigung von 5 verschiedenen Verkehrsmitteln ergeben sich dann 1200 Einzelwahrscheinlichkeiten. Viele der Kombinationen treten jedoch nur selten oder sogar überhaupt nicht auf, so daß die Ermittlung der Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten vornehmlich aufgrund empirischer Daten nicht den Umfang annehmen wird, wie es im Augenblick der Fall zu sein scheint. Ohnehin wird noch zu untersuchen sein, in welchem Umfang die hier aufgefächerten Kriterien im Hinblick auf die Prognose reduziert werden können. Aufgrund der vorliegenden Datenbasis mußte ohnehin eine beträchtliche Zusammenfassung erfolgen, indem die Gruppen mit Pkw-Verfügbarkeit und ohne Pkw-Verfügbarkeit mit Ausnahme der Gruppe der Schüler jeweils für alle Fahrtzweckklassen zusammengefaßt wurden; bei den Schülern wurde dagegen die Fahrtzweckklasse Ausbildung von den übrigen Fahrtzweckklassen getrennt ermittelt. Zur Veranschaulichung der Verkehrsmittelwahl werden bereits an dieser Stelle die Anteile der einzelnen Verkehrsmittel in Abhängigkeit von den Modalitäten der betrachteten Ortsveränderung in Abb. 7 vorgestellt, obwohl es sich dabei eigentlich um einen wesentlichen Teil des im folgenden Kapitel durchgeführten Eichprozesses handelt.

3.6 Zusammenwirken der Bausteine

Das erstellte Simulationsmodell besteht aus zwei Teilen, dem Simulationsprogramm ORIENT-SIM und dem Auswerteprogramm ORIENT-AUSW; als Programmiersprache wurde SIMULA gewählt. Von den speziellen Vorteilen dieser Programmiersprache soll die dynamische Speicherverwaltung sowie die Kompatibilität zu jeder anderen Rechenanlage, die ein SIMULA-Laufzeitsystem besitzt, genannt werden. Der erste

Aspekt bedeutet eine rationelle und damit erfolgreiche Behandlung des benötigten, umfangreichen Speicherplatzbedarfes, wohingegen der zweite Gesichtspunkt einer möglichen Verbreitung in der Anwendung des entwickelten Simulationsmodells entgegen kommt. Für zusätzliche Informationen über die Programmiersprache SIMULA wird auf die Veröffentlichung von ROHLFING (1973) verwiesen.

Das Zusammenwirken der oben genannten Bausteine im Simulationsprogramm ORIENT-SIM wird anhand des in Abb. 8 dargestellten Strukturdiagramms erläutert. Da es sich dabei um solche Komponenten handelt, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorgegebene Entscheidungen beinhalten, bietet sich eine Simulation mit Hilfe des Monte-Carlo-Verfahrens an, in dem die Entscheidungen mittels Zufallszahlen stochastisch gefällt werden. Mit dieser Methode wird ein Einwohner, dessen Wohnstandort, Zugehörigkeit zu einer verhaltenshomogenen Gruppe und dessen Verhaltensmuster bestimmt. Mit diesen Informationen ist die Aktivitätennachfrage und damit auch der Tagesablauf (24 Stunden) der betreffenden Person bekannt. Als nächstes wird entsprechend der gewünschten Tätigkeit die Zielverkehrszelle der ersten Fahrt ausgewählt; anschließend wird das Verkehrsmittel aus sämtlichen Möglichkeiten bestimmt, da die Ortsveränderung zu Hause beginnt. Nach dem Abspeichern der Fahrt wird für die nächste Aktivitätennachfrage eine neue Zielzelle ermittelt; sofern es sich dabei um eine Fahrt zurück nach Hause handelt, liegt das Ziel bereits fest, da ja der Wohnstandort der betrachteten Person bekannt ist. Wenn bei der zweiten Fahrt das vorhergehende, bereits festgelegte Verkehrsmittel beibehalten werden muß, da es sich dabei um ein privates Verkehrsmittel handelt, das nicht austauschbar ist, wird die präjudizierte Entscheidung bei der nächsten Monte-Carlo-Anwendung zur Verkehrsmittelwahl in der Form berücksichtigt, daß die Anzahl der auf diese Weise vorher festgelegten Verkehrsmittel übersprungen wird. Mit

dieser Konstruktion wird sichergestellt, daß die eingegebene Aufteilung auf die Verkehrsmittel mit der entsprechenden Ausgabe übereinstimmt.

Die innere Schleife läuft solange, bis alle gewünschten Aktivitäten der Person abgearbeitet sind; die Anzahl der Einwohner, deren Verhalten hinsichtlich ihrer Ortsveränderungen simuliert werden soll, wird in Prozent als Charakterisierung des Stichprobenumfangs eingegeben. Es wird hier so verfahren, daß der Stichprobenumfang für jede Verkehrszelle unabhängig von deren Größe gleich ist, damit die Hochrechnungsfaktoren überall identisch sind. Ein anderer Weg wäre, indem man für jede Verkehrszelle eine vorher festgelegte absolute Anzahl von Personen behandelt, deren Verhalten für die jeweils betrachtete Verkehrszelle repräsentativ ist. Da jedoch die Anzahl der Einwohner zwischen den Verkehrsbezirken stark differiert, entstehen Probleme bei der Festlegung der absoluten Einwohnerzahlen und bei der Hochrechnung.

Ein Problem, das in dem vorliegenden Modell nicht gelöst werden konnte, ist darin zu sehen, daß die Zielwahl von der vorhergehenden nicht unabhängig ist. Wenn also mehrere außerhäusliche Aktivitäten zu den sogenannten Fahrtenkombinationen führen, dann werden diese in einem Entscheidungsprozeß zusammengefaßt. In dem Simulationsmodell ORIENT muß diese Tatsache jedoch vernachlässigt werden, da diese Zusammenhänge bisher kaum bekannt sind. Mit dieser Abstraktion wird jedoch die Abbildungsgenauigkeit des Modells kaum negativ beeinflußt, da der Überwiegende Teil der Ortsveränderungen aus solchen besteht, bei denen die Quelle oder das Ziel durch den Wohnstandort der betrachteten Person determiniert sind. Im Übrigen ergäben sich dann auch dieselben Schwierigkeiten bei der Anwendung des Monte-Carlo-Verfahrens, wie sie bei der Verkehrsmittelwahl durch die Unterscheidung in austauschbare und nicht austauschbare Verkehrsmittel aufgetreten sind.

3.7 Auswertung

Für die Auswertung mit dem Programm ORIENT-AUSW stehen die vom Programm ORIENT-SIM erzeugten Daten, die auf den Dateien SIMWERTE und SIMSTATUS stehen, zur Verfügung. Sämtliche Angaben der Ortsveränderungen sind dabei mit einem Code verschlüsselt. Zur Kontrolle können diese mit verbindenden Texten ausgedruckt werden, um insbesondere bei der Erstellung des Modells zu prüfen, wie sinnvoll das verkehrliche Verhalten der simulierten Einwohner ist. Als Beispiel dafür ist ein Ausschnitt in der Abb. 9 wiedergegeben.

Neben den Ausgaben zur Kontrolle des Simulationslaufes bezüglich der vorgegebenen Aufteilungen auf Verkehrszellen, verhaltenshomogene Gruppen, Verhaltensmuster und Verkehrsmittel sind grundsätzlich zwei Kategorien von Auswertungen zu unterscheiden, die sich entweder nur auf die simulierten Ortsveränderungen beziehen, oder diejenigen, bei denen eine Hochrechnung auf 100 Prozent und eine anschließende Hinzunahme des zeitlichen Bezugs erfolgt. Um die Auswertung flexibel zu gestalten, aber auch um die gegenüber der Simulation weitaus größere Rechenzeit, wenn immer alle Auswertepunkte angesteuert werden, nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu begrenzen, kann jede gewünschte Auswertung einzeln erfolgen.

Bevor nun sämtliche Ergebnisse im einzelnen vorgestellt werden, soll zunächst die Einführung der zeitlichen Dimension der Verkehrsnachfrage behandelt werden. In den Veröffentlichungen von KESSEL (1972) und HAUTZINGER/KESSEL (1977) wird auf die Frage der Ganglinien der Verkehrsnachfrage für bestimmte Fahrtzwecke näher eingegangen. Es hat sich gezeigt, daß es für die einzelnen Fahrtzwecke charakteristische Ganglinien gibt, die sich zudem im Laufe der Zeit nur wenig geändert haben. Daher kann man eine gewisse

zeitliche Konstanz der stündlichen Anteilsraten bei den verschiedenen Fahrtzwecken unterstellen.

Diese Feststellung gilt natürlich nur dann auch für die Zukunft, wenn die entsprechenden Randbedingungen gegenüber dem heutigen Zustand nicht verändert werden. D.h. durch eine Verkürzung der täglichen Arbeitszeit muß mit einer Veränderung der Ganglinien gerechnet werden. Die dieser Untersuchung zugrunde liegenden stündlichen Anteile in Prozent des Tageswertes für die verschiedenen Fahrtzwecke basieren auf den vorgenannten Veröffentlichungen. Es wurden geringfügige Modifikationen vorgenommen; sämtliche Werte können der Abb. 10 entnommen werden. Die notwendige Diskretisierung der Zeit erfolgt also in 1-Stunden-Intervallen. Den Anforderungen an die Dimensionierung von Verkehrsanlagen ist damit ausreichend Rechnung getragen, da Belastungsspitzen für Zeiträume kleiner als 1 Stunde bei dieser Aufgabe uninteressant sind.

Die Berechnung der Verkehrsnachfrage für einzelne Stunden oder Stundengruppen (beispielsweise 6-10 Uhr und 15-19 Uhr) erfolgt nun in der Weise, daß die jeweiligen Anteile der auf 100 Prozent hochgerechneten Ortsveränderungen für alle Fahrtzwecke getrennt errechnet und dann anschließend superponiert werden. Welche Ergebnisse im einzelnen mit dem Simulationsmodell ORIENT zu erhalten sind, kann der Anlage 2 entnommen werden.

4. Eichung des Modells

Den wohl zeitaufwendigsten Teil bei der Erstellung eines Simulationsmodells stellt dessen Eichung dar. Bei diesem Arbeitsschritt müssen die freien und/oder unbekannten Parameter des Modells bestimmt werden. Verzichtet man darauf, so bleibt das Modell lediglich Makulatur.

Läßt man die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Bausteine des Simulationsmodells Revue passieren, dann fällt auf, daß im Grunde lediglich die Exponenten bei den Gewichtungsfaktoren für die Zielwahl im Rahmen des Kalibrierungsprozesses zu bestimmen sind, denn alle anderen Größen sind durch entsprechende empirische Erhebungen vorab festzustellen. Aufgrund der unzureichenden Datenbasis mußte jedoch im vorliegenden Fall zusätzlich die Verkehrsmittelwahl in diesen Prozeß mit einbezogen werden. Um zu verhindern, daß sich diese beiden Einflüsse, nämlich die Zielwahl und die Verkehrsmittelwahl gegenseitig unkontrolliert beeinflussen, wurden die gesuchten Exponenten für einen anderen Planungsraum, der im wesentlichen aus der Gemeinde Bruchsal bei Karlsruhe bestand, ohne Berücksichtigung der Verkehrsmittelwahl herauskristallisiert. D.h. die Erstellung des Modells erfolgte zunächst für diesen Planungsraum, für den für die Jahre 1966 und 1976 nach erfolgter Fortschreibung jeweils Analysedaten vorliegen. Mit dieser Vorgehensweise, zwei unterschiedliche Untersuchungsgebiete für den Kalibrierungsprozeß zu verwenden, werden solche Fehler vermieden, die vor allem auf Besonderheiten eines bestimmten Planungsraumes beruhen und die Allgemeingültigkeit des Modells in Frage stellen.

Nachdem die Exponenten für die Gewichtungsfaktoren bei der Zielwahl bestimmt waren, wurden die einzelnen Wahrscheinlichkeitswerte der Benutzung von bestimmten Verkehrsmitteln in den jeweils definierten Fällen für das Beispiel

Pforzheim mit den Analysedaten von 1967 bestimmt, wobei die entsprechenden Angaben aus der Literatur als erste Eingabe sehr hilfreich waren. Die Vorgehensweise ist dabei folgende; zunächst wird mit einer vermuteten Aufteilung ein Simulationslauf durchgeführt, dessen Ergebnisse mit den empirischen Daten verglichen werden. Dieser Vergleich liefert Anhaltspunkte für eine Verbesserung der Aufteilung, die im nächsten Simulationslauf erprobt und anschließend kontrolliert wird. Nach zahlreichen Versuchen erhält man schließlich die gesuchten Wahrscheinlichkeitswerte, die in Abb. 7 bereits vorgestellt worden sind.

5. Simulationsergebnisse

Von besonderem Interesse im Hinblick auf eine Beurteilung des Simulationsmodells ist ein Vergleich der Ergebnisse mit empirischen Daten und/oder mit denen, die parallel anhand des aggregierten 4-Stufen-Modells erarbeitet wurden. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß lediglich für das Jahr 1967 zur Bearbeitung des GVP Pforzheim eine Haushaltsbefragung durchgeführt worden ist; die Analysewerte für das Jahr 1978 wurden unter Verwendung der alten, bekannten Verkehrserzeugungsgesetze errechnet und nach erfolgter Umlegung des Individualverkehrs mit den aktuellen, gemessenen Verkehrsbelastungen überprüft. Dieses vereinfachte Verfahren wird häufig bei Fortschreibungen angewandt. Infolgedessen liegen im Grunde nur für einen Zeitpunkt den wahren Werten entsprechende Daten vor.

Eine weitere Einschränkung muß in diesem Zusammenhang auch noch erwähnt werden, indem nur für den motorisierten Individualverkehr und den öffentlichen Verkehr eine Vergleichsmöglichkeit besteht. Die Ergebnisse bezüglich des Fußgängerverkehrs und des Fahrrad-/Mofa-Verkehrs sind als zusätzliche Information zu werten.

Vor einer vergleichenden Betrachtung der beiden Modellkonstruktionen ist noch auf einen Umstand aufmerksam zu machen, der darin besteht, daß das Untersuchungsgebiet Pforzheim im Jahr 1978 gegenüber 1967 erweitert worden ist; während seinerzeit der Planungsraum aus 51 Verkehrszellen bestand, ist durch die Hinzunahme von 14 äußeren Verkehrszellen eine Ausdehnung des Planungsraumes auf insgesamt 65 Verkehrszellen entstanden. Diese Änderung ist positiv, da man damit heute im Gegensatz zu früher berechnigt ist, von einem abgegrenzten Verkehrsgebiet zu sprechen. Die Schwierigkeiten bei der Darstellung der zeitlichen Entwicklung einzelner Kenngrößen werden dadurch

Überwunden, daß für das Jahr 1978 zwei Zustände untersucht werden, d.h. einmal mit 51 und einmal mit 65 Verkehrszellen. Es sind also 4 zeitliche bzw. räumliche Zustände zu unterscheiden, von denen jeweils zwei miteinander verglichen werden können.

Bevor die Simulationsergebnisse im einzelnen vorgestellt werden, soll ein Vergleich des benötigten Datenumfangs bei den beiden Modellkonstruktionen erfolgen.

5.1 Vergleich der Datengrundlage

In der Abb. 11 sind am Beispiel des GVP Pforzheim, auf das sich alle folgenden Angaben beziehen, die relevanten Eingabegrößen aufgeführt. Es zeigt sich eine deutliche Zunahme in der Zahl der für das Simulationsmodell ORIENT benötigten Parameter, die jedoch auch darauf zurückzuführen ist, daß es sich bei dem verwendeten aggregierten 4-Stufen-Modell um ein sehr einfaches handelt. So gesehen sind die zusätzlich benötigten Informationen gar nicht so umfangreich, wie immer behauptet wird.

Neben der Anzahl und Art der Eingabeparameter interessiert auch deren absolute Größe und zeitliche Veränderung. Die Abb. 12 gibt darüber Auskunft. Es handelt sich dabei entweder um die Summen oder um die Mittelwerte bei der Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen. Um zu illustrieren, wie stark diese Aufteilung von Verkehrszelle zu Verkehrszelle differiert, ist die zugehörige Standardabweichung ebenfalls angegeben. Sämtliche Strukturdaten bis auf die Anzahl der Arbeitsplätze im tertiären Sektor wurden von der Stadtverwaltung Pforzheim zur Verfügung gestellt. Um die Anzahl der Arbeitsplätze im tertiären Sektor zu erhalten, mußten teilweise Schätzungen vorgenommen werden, die in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen

Behörden erfolgt sind. Die Ergebnisse einer Erhebung über die Anzahl von Ausbildungsplätzen, wobei es sich hauptsächlich um die Anzahl der Schüler handelt, stehen nur für das Jahr 1978 zur Verfügung. Diese Angaben wurden für die Jahre 1967 und 1990 übernommen, da gravierende Änderungen bei der Verteilung der Ausbildungsplätze nicht eingetreten sind bzw. nicht auftreten werden.

Anschaulicher zur Beurteilung der Veränderung der Eingabeparameter ist eine grafische Darstellung derselben, die in Abb. 13 vorgenommen wurde. Während die Anzahl der relevanten Einwohner und der gesamten Arbeitsplätze jeweils konstant ist, nimmt die Motorisierung mit 58 % (1978/1967) bzw. 33 % (1990/1978), also mit abnehmender Zuwachsrate zu. Die damit verbundene Erhöhung des Anteils der relevanten Einwohner mit Pkw-Verfügbarkeit schlägt sich natürlich auch bei der Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen nieder, die im wesentlichen auf der Grundlage der Altersstruktur jeder Verkehrszelle und deren Motorisierungsgrad ermittelt wurde.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die teilweise stark voneinander abweichenden Anteile zwischen den Verkehrszellen eine enorme Bedeutung für deren Verkehrsaufkommen besitzen. Die mittlere Aufteilung signalisiert nach einer Zunahme des Anteils der Schüler bis 1978 eine deutliche Abnahme bis 1990, wo der Wert sogar unterhalb des Wertes von 1967 liegt. Nachdem der Anteil der Erwerbstätigen bis 1978 ungefähr konstant geblieben ist, muß bis 1990 mit einer geringfügigen Zunahme gerechnet werden. In beiden Zeitabschnitten ist jeweils eine Verschiebung zu den entsprechenden verhaltenshomogenen Gruppen mit Pkw-Verfügbarkeit zu beobachten, dessen Intensität von der Entwicklung der Motorisierung abhängig ist, so daß im Jahr 1990 nur noch ein geringer Anteil der Erwerbstätigen ohne Pkw-Verfügbarkeit vermutet wird. Andererseits besteht immer

noch ein beträchtlicher Anteil der Nicht-Erwerbstätigen ohne Pkw-Verfügbarkeit. Diese Tatsache stimmt mit zahlreichen anderen Prognosen bezüglich der Motorisierungsentwicklung überein.

5.2 Vergleich der Ergebnisse

Aus der Fülle der Auswertungen der Simulationsläufe für die vier Zustände können nur wenige vorgestellt werden; noch weniger sind aus den schon genannten Gründen für einen Vergleich geeignet.

5.2.1 Globale Werte

Mit diesem Begriff ist das nach den einzelnen Verkehrsmitteln unterschiedene Verkehrsaufkommen des gesamten Planungsraumes für die beiden Stundengruppen gemeint. In den Abb. 14 und 15 sind die Ergebnisse der beiden Modelltypen einander gegenübergestellt. Betrachtet man zunächst die Morgenstundengruppe (Abb. 14), so ist für die Jahre 1967 und 1978 eine geringfügige Unterschätzung des Verkehrsaufkommens mit dem Verkehrsmittel "Pkw-Selbstfahrer" bei dem Simulationsmodell ORIENT zu verzeichnen; dagegen geht die Abweichung für das Prognosejahr 1990 in die umgekehrte Richtung. Eine ebensogute Übereinstimmung ergibt sich auch für den ÖPNV. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß nach einer Steigerung des Verkehrsaufkommens in der Morgenstundengruppe von 1967 bis 1978 wieder eine Reduzierung bis 1990 eintreten wird, die hauptsächlich durch die zurückgehende Anzahl der Schüler und Auszubildenden verursacht wird.

Demgegenüber wird auch in der Abendstundengruppe (Abb. 15) eine Zunahme des Verkehrsaufkommens bis 1990 erwartet. Ein

Vergleich beider Modelltypen ergibt auch hier wiederum nur geringfügige Unterschiede.

Daß die Übereinstimmung für jeweils drei verschiedene Zeitpunkte so hervorragend ist, verdient besonderer Erwähnung, denn es wurden lediglich die Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen, die Strukturmerkmale und die Erschließungsklassen aktualisiert, d.h. sowohl die Verhaltensmuster als auch die Ziel- und Verkehrsmittelwahl blieben unverändert. Der Vorteil der verhaltensorientierten Modelle gegenüber der aggregierten Planungsmethode wird wohl hier besonders augenfällig, wenn man berücksichtigt, mit welchem enormen Aufwand für jeden Zeitpunkt neue Regressionsgleichungen für die Ziel- und Quellverkehre erstellt und weiterverarbeitet werden müssen. Dazu kommen dann noch die Schwierigkeiten bei der Verkehrsverteilung und vor allem auch bei der Verkehrsauftteilung. Die Einsparung an Zeit und Aufwand bei Verwendung eines verhaltensorientierten Simulationsmodells ist gravierend, sofern - wie im vorliegenden Fall - ein ausgetestetes Rechenprogramm zur Verfügung steht.

Neben den beiden genannten Verkehrsmitteln kann auch für das Analysejahr 1967 ein Vergleich bezüglich des Verkehrsmittels "Mitfahrer im Pkw" zwischen dem Simulationsmodell ORIENT und dem Ergebnis der Haushaltsbefragung erfolgen. Hier ergibt sich eine deutliche Abweichung für die Abendstundengruppe. Die Abb. 16 informiert über den jeweiligen mittleren Pkw-Besetzungsgrad der beiden Spaltenstundengruppen, der durch die ständige Zunahme der Motorisierung eine kontinuierliche Abnahme erfährt. Der überaus hohe Pkw-Besetzungsgrad während der Abendstundengruppe aufgrund der Haushaltsbefragung erscheint fragwürdig, da in der Regel dieser Parameter eher in der Morgenstundengruppe, durch den Ausbildungsverkehr bedingt, etwas größer ist, indem die Schüler sehr häufig von ihren Eltern mit dem Wagen zur Ausbildungsstätte mitgenommen werden.

5.2.2 Lokalität

Als ein Ergebnis der Simulation des Verkehrsverhaltens ergeben sich verkehrsmittelbezogene Fahrtenmatrizen, die über den Quell- und Zielverkehr der einzelnen Verkehrszellen Aufschluß geben. Es soll nun die Frage untersucht werden, inwieweit die Verkehrsverteilung nach den in Abschnitt 3.5.4 dargelegten Gesetzmäßigkeiten den Realitäten entspricht. Dazu sind in den Abb. 17 und 18 die Quell- und Zielverkehre aller Verkehrszellen für die beiden Spitzenstundengruppen so eingezeichnet, daß die jeweiligen Abweichungen deutlich werden. Die Übereinstimmung der errechneten mit den aus der Haushaltsbefragung stammenden Werten ist hervorragend. Der positive Eindruck würde sich noch verstärken, wenn man sich eine entsprechende Darstellung mit den aus Regressionsgleichungen errechneten Werten des 4-Stufen-Modells vergegenwärtigt.

Der Zusammenhang zwischen den errechneten und gezählten Werten bedeutet eine weitere Verbesserung gegenüber dem Modell von WEICHBRODT (1977), bei dem die Korrelationskoeffizienten deutlich geringer sind. Untersucht man einige der größeren Abweichungen genauer, so ist festzustellen, daß auch bei den Ergebnissen aus der Haushaltsbefragung gewisse Fehler und Unstimmigkeiten vorhanden sind, die selbst bei sorgfältigster Auswertung aufgrund des unterschiedlichen Stichprobenumfanges und anderer Fehlermöglichkeiten niemals ganz vermieden werden können.

5.3 Zusätzliche Informationen zum Verkehrsverhalten

Während der Vergleich der Ergebnisse beider Modelltypen mit den obigen Angaben nahezu erschöpft ist, liefert das Simulationsmodell ORIENT noch zahlreiche zusätzliche Erkenntnisse, die jedoch nur auszugsweise dargestellt werden. Die Abb. 19

gibt Auskunft über das gesamte tägliche Verkehrsaufkommen, wobei der Anteil der einzelnen Fahrtzweckklassen gekennzeichnet ist. Die Summe der Ortsveränderungen bleibt jeweils konstant; es ist also keine Erhöhung der Mobilität zu verzeichnen, sofern alle möglichen Verkehrsmittel berücksichtigt werden. Damit bestätigen sich die Erkenntnisse von KUTTER (1975). Hinsichtlich der Anteile der Fahrtzweckklassen ergeben sich hauptsächlich bei der Aktivität Ausbildung Veränderungen, die mit der Entwicklung der Schülerzahlen zusammenhängen. Ein Vergleich mit entsprechenden Angaben der kontinuierlichen Erhebung zum Verkehrsverhalten (KONTIV) ergibt eine gute Übereinstimmung mit Ausnahme der beiden Aktivitäten Einkauf und Privat, deren Abgrenzung untereinander offensichtlich differiert.

Da mit dem Modell ORIENT das Verkehrsverhalten für einen 24-Stunden-Werktag simuliert wird, liegen alle entsprechenden Angaben für diesen Zeitraum vor. Es können daher auch Ganglinien für die verschiedenen Verkehrsmittel und für den Gesamtverkehr ermittelt werden. Dagegen bedeuten die Tagesganglinien der einzelnen Fahrtzwecke lediglich eine Umrechnung der prozentualen Eingabewerte auf Absolutwerte.

Als Beispiel hierfür sind die Tagesganglinien des Gesamtverkehrs für die Jahre 1978 und 1990 in der Abb. 20a eingezeichnet. Als Folge der Entwicklung der Schülerzahlen tritt eine Reduzierung der Morgen- und Mittagsspitze ein; bei den übrigen Tageszeiten ist eine geringfügige Erhöhung zu verzeichnen. Die Angaben bezüglich des ÖPNV-Anteils offenbaren nicht nur Unterschiede je nach Tageszeit, sondern vielmehr eine deutliche Abnahme insgesamt; die etwa 33 % bezogen auf den Tagesverkehr bzw. 40 % (Morgenstundengruppe) und 31 % (Abendstundengruppe) beträgt, Abb. 20b. Dabei wird unterstellt, daß der Benutzung des Pkw keine Restriktionen entgegengestellt werden, also ein ausreichender Verkehrsraum und vor allem auch eine genügend große Anzahl von Parkständen an den gewünschten Zielen im Jahr 1990 zur Verfügung steht.

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, daß das Ergebnis bezüglich der Ganglinien nicht unkritisch übernommen wird, denn Veränderungen der zeitlichen Aufteilung einzelner Fahrtzwecke können nicht ausgeschlossen werden. Es soll also nicht der Eindruck entstehen, daß man nun auch Ganglinien prognostizieren könne; die Darstellung von Ganglinien soll lediglich dem Zweck dienen, die Entwicklung in die eine oder andere Richtung frühzeitig zu erkennen.

Ein weiterer interessanter Gesichtspunkt, besonders im Vergleich zu anderen Untersuchungsgebieten, sind die Fahrtweiten für die verschiedenen Fahrtzweckklassen bzw. Verkehrsmittel. Diese Parameter dienen der Beurteilung der Gelegenheitsverteilung und Erreichbarkeit im Planungsraum. Hier sind deutliche Unterschiede zwischen monozentrisch und polyzentrisch strukturierten Räumen zu erwarten. Die Abb. 21 zeigt nun die Fahrtweitenverteilungsfunktionen der vier Fahrtzweckklassen, die Abb. 22 diejenigen der fünf Verkehrsmittel. Die größten mittleren Entfernungen treten bei der Aktivität Ausbildung und bei Fahrten mit öffentlichen Verkehrsmitteln auf; die niedrigsten Werte gehören zu den Aktivitäten Einkauf und Privat sowie zu den Ortsveränderungen, die zu Fuß durchgeführt werden. Die Mittelwerte sind mit anderen Untersuchungen nicht vergleichbar, da sie selbstverständlich sehr stark von der Größe des Planungsraumes abhängen, indem nur der Binnenverkehr berücksichtigt wird und die Ein- und Auspendler, die natürlich wesentlich größere Distanzen zurücklegen müssen, hier nicht betrachtet werden.

So sind aus den KONTIV-Daten größere mittlere Entfernungen bekannt, die jedoch die Grundgesamtheit repräsentieren sollen. Erst wenn im Laufe der Zeit noch zahlreiche andere Untersuchungen mit einem verhaltensorientierten Modell durchgeführt worden sind, können entsprechende Vergleiche angestellt werden.

Trotzdem kann bereits heute festgestellt werden, daß die ermittelten Fahrtweiten sowohl von der Größenordnung her als auch von der Reihenfolge mit der Erfahrung übereinstimmen. Die gegenüber den anderen Verkehrsmitteln größere mittlere Entfernung bei Fahrten mit dem ÖPNV bedeutet nicht, daß diejenigen Personen, die auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen sind, hinsichtlich der Erreichbarkeit von Gelegenheiten schlechter gestellt sind. Dieser Unterschied entsteht vielmehr dadurch, daß diese Personen kürzere Entfernungen zu Fuß zurücklegen. Diese Tatsache ist aus der Verteilungsfunktion (Abb. 22) deutlich erkennbar, denn bei dem ÖPNV sind kurze Entfernungen gegenüber den anderen Verkehrsmitteln unterrepräsentiert. Die beiden Fahrtweitenverteilungsfunktionen der Verkehrsmittel "Pkw-Mitfahrer" und "Pkw-Selbstfahrer" unterscheiden sich nicht signifikant voneinander und wurden zusammengefaßt. Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß der Pkw-Besetzungsgrad von der Entfernung unabhängig ist.

Eine zusätzliche Kontrolle der Ergebnisse ist durch eine Be trachtung der Gesamtfahrtweiten der verhaltenshomogenen Gruppen gegeben. Es hat sich herausgestellt, daß der Zeitaufwand für Verkehr weitgehend konstant ist, d.h. ein feststehendes Zeitbudget ist ein limitierender Faktor für die individuelle Verkehrserzeugung (ZAHAVI, 1976).

Diese Erkenntnis bezüglich feststehender Zeitbudgets wurde in die Simulationsmodelle von KREIBICH (1972) und KOCKS (1976) in der Weise integriert, daß nach der Festlegung des Ziels und Verkehrsmittels einer geplanten Ortsveränderung eine entsprechende Abfrage erfolgt, ob die gewünschte Fahrt mit dem jeweiligen Zeitbudget noch in Einklang steht. Mit dieser Vorgehensweise kann ein bezüglich der Ziel- und Verkehrsmittelwahl unbefriedigend arbeitendes Modell doch noch recht brauchbare Ergebnisse liefern.

Da jedoch ein festes Zeitbudget, sofern überhaupt vorhanden, allenfalls ein unbewußtes Ergebnis des Handelns von Menschen ist, erscheint es ratsam, auf eine entsprechende Kontrolle im Programmablauf selbst zu verzichten. Wenn die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zutreffend in das Modell integriert sind, müßte sich dann quasi automatisch diese Tatsache im Ergebnis wiederspiegeln. Nur so besteht die Möglichkeit einer Kontrolle.

Betrachtet man nun die Gesamtfahrtweitenverteilungsfunktionen, die in Abb. 23 veranschaulicht worden sind, so sind die Unterschiede bei den Personengruppen mit und ohne Pkw-Verfügbarkeit deutlich zu erkennen. Da diejenigen Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit generell größere Reisezeiten bei gleicher Entfernung gegenüber denjenigen Personen mit Pkw-Verfügbarkeit benötigen, ist ihre Gesamtfahrtweite bei gleichem Zeitbudget natürlich geringer. Insofern stimmen die Ergebnisse mit den vorliegenden Erkenntnissen überein. Hinsichtlich der absoluten Werte der Gesamtfahrtweiten wird wiederum auf die Einschränkungen durch den begrenzten Planungsraum verwiesen; ein Vergleich mit den Gesamtfahrtweiten der Grundgesamtheit, wie sie die Daten der kontinuierlichen Erhebung zum Verkehrsverhalten (KONTIV) ermöglichen würde, muß daher unterbleiben. Danach betragen die mittleren Gesamtfahrtweiten nach SCHMIEDEL (1979) beispielsweise für die Erwerbstätigen mit Pkw-Verfügbarkeit 47,3 km und für die Schüler 19,5 km.

Wie häufig einzelne Parameterkombinationen bei der Verkehrsmittelwahl auftreten (Abschnitt 3.5.5), ist aus Abb. 24 ersichtlich, wo die jeweils häufigsten Anwendungsfälle für die verschiedenen Zeitpunkte eingetragen worden sind. Die Veränderungen von 1967 bis 1990 werden hauptsächlich durch die Entwicklung der Anteile der verhaltenshomogenen Gruppen

und die Änderungen bei der Verteilung der Gelegenheiten verursacht. Die häufigste Parameterkombination umfaßt im vorliegenden Fall bereits 7 % aller Ortsveränderungen; mit 10 % aller Möglichkeiten werden die Modalitäten etwas mehr als der Hälfte aller Ortsveränderungen beschrieben. Wenn man sich also bei der Ermittlung der Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten besonders den häufig vorkommenden Parameterkombinationen widmet, werden die Ergebnisse der Wirklichkeit besonders nahe kommen. Allerdings ist in diesem Zusammenhang auch auf einen ungünstigen Tatbestand aufmerksam zu machen, der darin besteht, daß einige Parameterkombinationen nur sehr selten auftreten und sich dadurch die vorgegebene Aufteilung auf die Verkehrsmittel nicht genau reproduzieren läßt. Es handelt sich also um das Problem kleiner Zahlen. Das gleiche Phänomen tritt übrigens auch bei der Zielwahl auf. Daß das Ergebnis trotzdem eine brauchbare Planungsgrundlage darstellt, mag dem Umstand zu verdanken sein, daß Verkehr letzten Endes doch eine Massenerscheinung ist und sich diese Einzelerscheinungen durch Überlagerung immer zu einem identischen Gesamtbild zusammenfügen.

Die unterschiedliche Verkehrsmittelwahl je nach Fahrtzweck geht aus Abb. 25 hervor. Wie bekannt ist der Anteil des ÖPNV bei Ortsveränderungen im Zusammenhang mit der Aktivität Ausbildung am größten; er wird sich bei allen Fahrtzwecken zugunsten des motorisierten Individualverkehrs weiter verringern. Auch der Anteil der Ortsveränderungen, die zu Fuß durchgeführt werden, geht zurück.

Abschließend soll mit der Abb. 26 ein Eindruck über die Zusammensetzung der beiden Stundengruppen aus den verschiedenen Fahrtzwecken vermittelt werden. Konzentriert man sich wiederum auf die wichtigsten Fahrtzwecke bei der Ermittlung

der stündlichen Anteile, so ist mit dem geringsten Aufwand der größte Nutzen verbunden. Im vorliegenden Fall sind das morgens die Fahrtzwecke "Wohnung-Arbeit", "Wohnung-Ausbildung" und "Wohnung-Einkauf"; demgegenüber stehen abends die Fahrtzwecke "Arbeit-Wohnung", "Einkauf-Wohnung" und "Wohnung-Einkauf" im Vordergrund.

Die vorgenannten zusätzlichen Informationen zum Verkehrsverhalten, die nun doch recht umfangreich geworden sind, sollen weniger über das Verkehrsgeschehen der Stadt Pforzheim Aufschluß geben, sondern vielmehr dazu dienen, daß die abstrakten Komponenten des Simulationsmodells mit Leben erfüllt und damit für einen Außenstehenden durchsichtig gemacht werden. Mit dem folgenden Kapitel über die Sensitivitätsanalyse können die Kenntnisse über den Aufbau und die Wirkungsweise des Simulationsmodells ORIENT noch vertieft werden.

6. Sensitivitätsanalyse

Warum eine Sensitivitätsanalyse wichtig ist, das wurde in Abschnitt 2.3 erläutert; hier sollen nun die Vorgehensweise und die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes vorgestellt werden.

6.1 Aufbau des Modells

Das Rechenprogramm ist so aufgebaut, daß die Kenngrößen zum Aufbau des Modells, wie die Anzahl der verhaltenshomogenen Gruppen, der Aktivitäten, der Verkehrsmittel usw., variabel sind. Trotzdem wird gegenüber den vorangegangenen Kapiteln lediglich die Anzahl der Verkehrszellen verändert, damit eine vergleichbare Ausgangsbasis für die Beurteilung der Sensitivität gewährleistet ist. Zur Veranschaulichung des fiktiven Planungsraumes, der in 14 Verkehrszellen eingeteilt ist, dient Abb. 27, wo auch die Führung der beiden ÖPNV-Linien eingezeichnet worden ist.

Bei dem Untersuchungsgebiet handelt es sich um ein verkleinertes Abbild der Stadt Pforzheim; die Zahl der Einwohner beträgt 20 000 (das entspricht der Größe Pforzheims vor rund 100 Jahren). Hinsichtlich der Auspendler, Arbeitsplatzbesatz, Motorisierung usw. liegen die Verhältnisse des Jahres 1978 zugrunde, was auch für die mittlere Aufteilung in die verhaltenshomogenen Gruppen zutrifft. Nähere Angaben können der Abb. 28 entnommen werden. Einen schnelleren Überblick über die Verhältnisse im Planungsraum kann man sich anhand der Abb. 29 verschaffen.

Wegen der geringen räumlichen Ausdehnung des Untersuchungsgebietes werden neben dem Zellen-Binnenverkehr nur zwei

Entfernungsklassen definiert, deren Grenze zwei Kilometer beträgt. Demgegenüber bleibt es bei den drei Erschließungsklassen. Ebenso bleiben die Verhaltensmuster, die Gewichtungsfaktoren für die Zielwahl sowie die Verkehrsmittelwahl gegenüber Kapitel 3 unverändert. Mit diesen Angaben ist der "0-Fall" umschrieben, gegen den die Auswirkungen von Änderungen einzelner Parameter getestet werden.

6.2 Variation der Simulations-Parameter

Die Untersuchung der Sensitivität beschränkt sich fast ausschließlich auf die Simulation; bei der Auswertung ist nur ein Gesichtspunkt zu analysieren, d.h. die stündliche Aufteilung der Fahrtzwecke während eines Tages. Zur Strukturierung werden die Simulations-Parameter in 5 Gruppen unterteilt.

6.2.1 Stichprobenumfang

Eine wichtige Frage ist zunächst die Entscheidung über die gewünschte bzw. erforderliche Größe der Stichprobe, mit der die Anzahl der zu simulierenden Einwohner festgelegt wird. Hier sind keine Einschränkungen durch den benötigten Speicherplatzbedarf vorhanden. Dieser bleibt bei Erhöhung des Stichprobenumfangs nahezu konstant, dagegen nimmt die Rechenzeit linear zu (siehe Anhang).

Da auch bei großem Stichprobenumfang für den gleichen Simulationslauf je nach Vorgabe der Startzufallszahl aufgrund des stochastischen Charakters geringfügig abweichende Ergebnisse zustande kommen, wird, um diesen Effekt zurückzudrängen, generell mit einer hohen, nämlich 50 % - Stichprobe gearbeitet.

Welchen Einfluß der Stichprobenumfang auf das Ergebnis hat, geht aus Abb. 30 hervor. Es wurden Simulationsläufe mit 1 %, 7 %, 20 % und 50 % zu simulierender Einwohner durchgeführt, bei denen lediglich diese Größe und die Startzufallszahl gegenüber dem "0-Fall" verändert wurden. Zur Beurteilung der Auswirkungen werden diese in 3 Kategorien eingeteilt:

- I: Große Fehler,
- II: Mittlere Fehler,
- III: Geringe Fehler.

Als Kriterien werden die Unterschiede im Verkehrsaufkommen insgesamt, während der beiden Spitzentundengruppen getrennt nach den beiden Verkehrsmitteln "ÖPNV" und "Pkw-Selbstfahrer" sowie die Standardabweichungen der Quell- und Zielverkehre als Maßstab für die Verkehrsverteilung herangezogen. In denjenigen Fällen, bei denen die Abweichungen in bezug auf das Verkehrsaufkommen nicht größer als 3 % sind, sind die Felder durch einen schwarzen Punkt gekennzeichnet.

Ohne auf Details näher einzugehen, ist zu sagen, daß die Differenzen mit steigendem Stichprobenumfang bis zu 20 % stetig zurückgehen; eine Erhöhung der Stichprobe von 20 % auf 50 % ergibt kaum noch eine Verbesserung. Eine 20 % - Stichprobe ist also in der Regel ausreichend. Lediglich dann, wenn besonders kleine Verkehrszellen vorhanden sind, empfiehlt es sich, diesen Wert auf 50 % zu erhöhen.

6.2.2 Strukturwerte

Die häufigsten oder die wahrscheinlichsten Fehler bei der Durchführung einer Verkehrsprognose werden wohl bei den Strukturwerten, zu denen nun auch die Aufteilung auf die ver-

haltenshomogenen Gruppen gehört, auftreten. Es ist schwierig, sich dafür bestimmte Größenordnungen vorzustellen, weswegen ein Fehler von 10 % angenommen wurde. Die Abb. 31 enthält die gegenüber dem "0-Fall" abweichenden Werte. Die Abweichungen betreffen nur die Lokalität; die entsprechenden Summen wurden zum größten Teil beibehalten.

Bezüglich der Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen wurde ein Simulationslauf durchgeführt, in dem für alle Verkehrszellen mit dem gleichen Mittelwert gerechnet wurde. Obwohl die Abweichungen von Zelle zu Zelle deutlich ausfallen, fällt das Ergebnis in die mittlere Beurteilungskategorie; die Fehler entstehen hauptsächlich im morgendlichen Quell- und abendlichen Zielverkehr.

Demgegenüber kommt der Anzahl der relevanten Einwohner eine viel größere Bedeutung zu. Hier handelt es sich um denjenigen Eingabeparameter, der für das Modell am wichtigsten ist. Das heißt, die Anzahl der Auspendler je Verkehrsbezirk muß in jedem Fall sorgfältigst ermittelt werden. Während sich dieser Parameter sowohl im Quell- als auch im Zielverkehr bemerkbar macht, beeinflussen die übrigen Gelegenheitsverteilungen (Arbeitsplätze gesamt, Arbeitsplätze im tertiären Sektor, Ausbildungsplätze) hauptsächlich die Zielwahl, so daß die Abweichungen im Zielverkehr morgens und im Quellverkehr abends jeweils am größten sind. Glücklicherweise ist die Verteilung der Arbeitsplätze im tertiären Sektor gegenüber den anderen Gelegenheiten von geringerer Relevanz, da ja gerade diese mit einigen Unsicherheiten belastet ist. Die Auswirkungen der Verteilung der Ausbildungsplätze betreffen vornehmlich den morgendlichen Zielverkehr; da in diesem Bereich häufiger Fahrtenkombinationen auftreten, sind auch zu den übrigen Tageszeiten Abweichungen zu verzeichnen. Dieses unerwartete Ergebnis wurde durch einen zweiten Simulationslauf mit abweichender Startzufallszahl bestätigt.

Abschließend wurde der Fall untersucht, daß gleichzeitig alle Strukturmerkmale mit einem Fehler behaftet sind, wie er ja in der Praxis vorkommt. Das Ergebnis betrifft weder die Verkehrserzeugung noch die Verkehrsaufteilung; die Standardabweichungen bezüglich der Lokalität liegen zwischen 13 und 49 Fahrten/4h. Damit ist durchaus eine den Erfordernissen angemessene Genauigkeit gewährleistet. Dies ist vor allem deswegen so bemerkenswert, da für alle Verkehrszellen die gleiche Aufteilung in die verhaltenshomogenen Gruppen unterstellt worden ist.

6.2.3 Zielwahl

Es ist unübersehbar, welche Bedeutung der Zielwahl im Rahmen der Simulation des Verkehrsverhaltens zukommt. Die in Abschnitt 3.5.4 dargestellten Zusammenhänge beinhalten die überaus zahlreichen Einflüsse, denen man sich bei der Behandlung dieses Arbeitsschrittes gegenübersieht. Ein Teil davon, nämlich die Verteilung der Gelegenheiten wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt untersucht. Im folgenden steht nun die Entfernung oder generell der Widerstand als wesentliches Element bei der Auswahl eines Ziels zur Disposition.

Vor einer Diskussion der Ergebnisse der entsprechenden Simulationsläufe soll zunächst mit den Abb. 32 und 33 ein Einblick in die Zielwahlwahrscheinlichkeiten für die Verkehrszellen 1 und 13 als Ausgangsstandorte ermöglicht werden. Da die Verkehrszelle 1 recht gut durch den ÖPNV erschlossen ist, sind die Unterschiede bei der Zielwahl zwischen den Personengruppen mit und ohne Pkw-Fähigkeit wesentlich geringer als bei der Verkehrszelle 13, die entsprechend Abb. 27 nicht durch den ÖPNV erschlossen ist. (Bei der Fahrtzweckklasse Ausbildung erfolgt diesbezüglich keine Unterscheidung.) Die Abweichungen zwischen den Fahrtzweckklassen einerseits und den Verkehrszellen ande-

rerseits ist durch die abweichende Häufigkeit der Gelegenheiten in bestimmten Entfernungsklassen bedingt; so sind beispielsweise ausgehend von der Verkehrszelle 1 keine Ausbildungsplätze in einer Entfernung zwischen 1,0 und 1,5 km vorhanden. Im Gegensatz zu den eben erläuterten Darstellungen werden die Zielwahlwahrscheinlichkeiten für jede Verbindung einzeln berechnet; es erfolgt also nicht eine vorherige Klasseneinteilung, die einen unnötigen Informationsverlust und damit eine Erhöhung der Unschärfe bedeuten würde. Mit diesen Ausführungen ist wohl schon die Empfindlichkeit des Simulationsmodells ORIENT an diesem Punkt deutlich geworden.

Beim ersten Simulationslauf dieser Serie wurde gegenüber dem "0-Fall" die Matrix der Entfernungen in der Weise geändert, daß die einzelnen Entfernungen als Luftlinienentfernungen (multipliziert mit dem Faktor 1,5) eingegeben wurden. Dieser Faktor spielt übrigens in diesem Zusammenhang überhaupt keine Rolle, da er, wenn er überall gleich ist, die Zielwahlwahrscheinlichkeiten nicht verändert. Seine Notwendigkeit resultiert vielmehr aus der Verkehrsmittelwahl. Zur Erinnerung sei erwähnt, daß beim "0-Fall" die Entfernungen anhand des vorliegenden Hauptstraßennetzes Verwendung fanden. Das Ergebnis der unterschiedlichen Ermittlung der Entfernungen geht aus Abb. 30 hervor. Die Abweichungen betreffen hauptsächlich den morgendlichen Ziel- und abendlichen Quellverkehr und entsprechen damit den Auswirkungen von Fehlern der Gelegenheitsverteilungen. Hinzu kommen aber noch im vorliegenden Fall Abweichungen bei der Verkehrsmittelwahl. Mit der Beurteilungskategorie I wird die große Bedeutung des Parameters "Entfernung" unterstrichen.

Demgegenüber ist erwartungsgemäß die Abgrenzung der Entfernungsklassen von weitaus geringerer Relevanz, wie die Beurteilungskategorie III erkennen läßt. Die Einteilung in Entfernungsklassen steht in engem Zusammenhang mit der Verkehrsmittelwahl; die Anzahl der Entfernungsklassen mit 3 bzw. 4 erscheint vollkommen ausreichend.

Indem im vorliegenden Fall die Erschließungsklasse zwischen einer Quellverkehrszelle und einer möglichen Zielverkehrszelle berücksichtigt wird, ist ein wesentliches Element bei der Zielwahl derjenigen Personen, die a priori auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen sind, integriert, so daß den realen Gegebenheiten weitgehend entsprochen wird. Dieser Aspekt ist insofern besonders wichtig, da mit einer Änderung des Angebots im ÖPNV eine Nachfrageänderung induziert wird, die mit dem Modell ermittelt werden kann. Bei der bisherigen Arbeitsweise waren solche Ergebnisse nur mit großen Anstrengungen zu erzielen, die zudem oftmals mit erheblichen Unsicherheiten belastet waren. Da die Änderung der Nachfrage als Folge einer Angebotsänderung im ÖPNV von großem Interesse ist, wird diesem Problem ein ausführlicher Abschnitt in Kapitel 7 gewidmet werden. Hier soll nur festgehalten werden, daß sich eine Änderung der Erschließungsklassen, je nach Führung der ÖPNV-Linien und je nach Bedienungshäufigkeit, wiederum hauptsächlich auf den morgendlichen Ziel- und abendlichen Quellverkehr auswirkt.

Um zu einer Einschätzung der Bedeutung des Exponenten α zu gelangen, wurde ein Simulationslauf durchgeführt, bei dem dieser generell zu 1,0 angenommen wurde. Damit entfällt der Einfluß der Erschließungsqualität auf die Zielwahl; ebenso wird für alle Fahrtzweckklassen eine einheitliche Gesetzmäßigkeit unterstellt. Betrachtet man das Ergebnis (Abb. 30b, Nr. 14), so sind in allen Bereichen mit Ausnahme des gesamten täglichen Verkehrsauftreffens deutliche Abweichungen vorhanden, woraus die Beurteilungskategorie I (große Fehler) resultiert. Indem andere Ziele angenommen werden, ändert sich auch die Verkehrsmittelwahl, die ja bekanntlich auch von der Entferungs- und Erschließungsklasse abhängig ist. Dieses trifft selbstverständlich auch bei einer Änderung der Erschließungsklassen zu. Daß sich dies im vorangegangenen Fall nicht im Ergebnis widerspiegelt, ist reiner Zufall, wie die Untersuchungen im nächsten Kapitel zeigen werden.

Die Behandlung der Zielwahl, wie sie im vorliegenden Simulationsmodell verankert ist, birgt Chancen, aber auch Risiken. Ob mit dem dargestellten Zusammenhang die tatsächlichen Entscheidungsabläufe hinreichend genau erfaßt worden sind, kann gegenwärtig nicht abschließend beurteilt werden. Zumindest sprechen die in Kapitel 5 enthaltenen Gegenüberstellungen von gemessenen und berechneten Größen nicht dagegen. Wegen der Vielzahl der Einflüsse, die in einer Wechselwirkung stehen und sich gegenseitig überlagern, wäre eine speziell auf diese Problematik ausgerichtete Forschungsarbeit besonders notwendig. Gleichwohl ist mit dem heutigen Entwicklungsstand des vorliegenden Modells durchaus eine akzeptable Genauigkeit gewährleistet, besonders im Vergleich mit dem bisherigen 4-Stufen-Modell. Die Entscheidung über die Anwendbarkeit eines Verkehrsprognosemodells erfolgt ohnehin erst dann, wenn es nach Eichung im Analysezustand seine Tauglichkeit bewiesen hat.

6.2.4 Verhaltensmuster

Wenn es einer Rechtfertigung für die zahlreichen Untersuchungen über das Verkehrsverhalten (verhaltenshomogene Gruppen, Verhaltensmuster) bedarf, dann ist diese durch die in Gang gekommene Entwicklung bei den Modellen im Rahmen der Verkehrsplanung durchaus gegeben. Allerdings wird jetzt zunehmend deutlich, daß die Verkehrserzeugung auf dieser Basis kein Forschungsschwerpunkt mehr sein kann. Was in diesem Zusammenhang noch fehlt, ist eine Untersuchung der zeitlichen und räumlichen Varianz beziehungsweise Invarianz der Verhaltensmuster. Es geht dabei um die Frage, ob die festgestellten Verhaltensmuster räumlich übertragbar sind (das ist wahrscheinlich nicht der Fall) und ob eine gewisse zeitliche Stabilität gewährleistet ist (hier könnte man eher, eine normale Entwicklung vorausgesetzt, eine positive Antwort erwarten). Die Variation der Verhaltensmuster erfolgt jeweils getrennt für die Erwerbstätigen, Nicht-Erwerbstätigen und für die Schüler; es werden lediglich die Anteile

der einzelnen Verhaltensmuster verändert, es kommen also keine neuen Verhaltensmuster hinzu. Die Änderungen erfolgen in der Weise, daß der Anteil der Personen, die keine Ortsveränderung durchführen wollen oder können, um 1 bzw. 2 % und der Anteil des häufigsten Verhaltensmusters zwischen 4 und 6 % reduziert wird. Die übrigen Verhaltensmuster werden dagegen lediglich um jeweils 1 % erhöht oder erniedrigt.

Die Bedeutung der Anteile der Verhaltensmuster ist von Gruppe zu Gruppe unterschiedlich, je nachdem, wie häufig die betrachtete verhaltenshomogene Gruppe in Erscheinung tritt. So wird beispielsweise im Jahr 1990 nur noch ein sehr geringer Anteil der Erwerbstätigen ohne Pkw-Verfügbarkeit vermutet, weswegen deren Verhaltensmuster beinahe belanglos werden. Ähnliches trifft für die Gruppe der Schüler zu, deren Anteil ebenfalls drastisch zurückgehen wird. Diese Information betrifft jedoch erst den Prognosezeitpunkt; die heutige Situation ergibt ein anderes Bild. Das Ergebnis der einzelnen Simulationsläufe kann wiederum der Abb. 30 entnommen werden. Obwohl der Anteil der Erwerbstätigen gegenüber dem der Nicht-Erwerbstätigen größer ist, sind die Abweichungen im ersten Fall kleiner und fallen in die Beurteilungskategorie II (mittlere Fehler). Demgegenüber übersteigen die Abweichungen im zweiten Fall, aber auch bei den Schülern den vorgegebenen Grenzwert, so daß beides Mal die Kategorie I (große Fehler) als Beurteilung herauskommt. Während die Variation der Verhaltensmuster bei den Erwerbstätigen keinen erkennbaren Einfluß auf die Verkehrsmittelwahl ausübt, ist dies bei den anderen beiden Gruppen sehr wohl der Fall.

Abschließend wurde ein Simulationslauf durchgeführt, bei dem gleichzeitig die Änderung aller Verhaltensmuster vorgegeben war. Interessanterweise liegen die Abweichungen unterhalb denen, die bei den Nicht-Erwerbstätigen und Schülern auftraten; sie liegen aber über denjenigen der Erwerbstätigen. Dieses Ergebnis ist recht erfreulich, da in der Praxis nicht die Verhaltensmuster der einen oder anderen verhaltenshomogenen Gruppe mit

einem überdurchschnittlichen Fehler behaftet sein wird. Es ist im Gegenteil dazu anzunehmen, daß sich diese Ungenauigkeiten fast gleichmäßig auf alle Gruppen verteilen, wobei eine gleich große und ausreichende Stichprobe bei der Erhebung Voraussetzung ist.

6.2.5 Verkehrsmittelwahl

Um die wichtigste Erkenntnis vorwegzunehmen, sei gesagt, daß der Verkehrsmittelwahl bei der Simulation des Verkehrsverhaltens gegenüber allen anderen bisher betrachteten Parametern die größte Bedeutung zufällt. Sicherlich sind die vorgenommenen Veränderungen, in denen einmal die Entfernung und ein andermal die Erschließungsqualität unberücksichtigt blieb, im Vergleich zu den übrigen wesentlich radikaler; trotzdem ist hier ein Schwerpunkt der Sensitivität des Modells erkennbar, der auch dadurch untermauert wird, daß das Verkehrsaufkommen bezüglich einzelner Verkehrsmittel für die Gestaltung und Dimensionierung deren Netze weitreichende Konsequenzen hat. Bereits bei der Eichung des Modells (Kapitel 4) konnte festgestellt werden, welche große Empfindlichkeit des Modells in dieser Frage besteht.

Ohne auf Details, die in Abb. 30 enthalten sind, näher einzugehen, rechtfertigt die Höhe der Abweichungen eine Einteilung in die Beurteilungskategorie I. Es ist also anzustreben, in diesem Bereich besonders sorgfältig vorzugehen, um den Anforderungen gerecht zu werden.

6.3 Variation der Auswerte-Parameter

Daß der zeitliche Bezug erst im Anschluß an die Simulation des Verkehrsverhaltens bei der Auswertung hinzukommt, hat sich als zweckmäßig erwiesen. Diese Vorgehensweise vereinfacht das Simulationsmodell, reduziert die Rechenzeit und den Spei-

cherplatzbedarf und erhöht die Transparenz, indem für einen Simulationslauf mehrere Auswertungen mit unterschiedlichen, der Entwicklung angepaßten stündlichen Anteilen der einzelnen Fahrtzwecke durchgeführt werden können. Gerade bei den beiden häufig interessierenden Spitzenstundengruppen liegen Konzentrationen auf bestimmte Fahrtzwecke vor, so daß deren stündliche Anteile mit großem Gewicht auf das Endergebnis durchschlagen (Abb. 26).

Zur Illustration dieser Tatsache wurden zwei gegenüber dem "0-Fall" modifizierte Auswertungen vorgenommen. Die erste beinhaltet den hypothetischen Fall einer Gleichverteilung aller Fahrtzwecke im Zeitraum zwischen 4 und 24 Uhr, wodurch sich eine Reduzierung von jeweils ungefähr 30 % des Verkehrsaufkommens in den beiden Spitzenstundengruppen mit entsprechenden Auswirkungen auf die Quell- und Zielverkehre der einzelnen Verkehrszellen ergibt.

Bei der zweiten Auswertung wurde eine Verschiebung der beiden Spitzenstundengruppen um jeweils eine Stunde untersucht; erwartungsgemäß ergeben sich auch in diesem Fall beträchtliche Abweichungen, die wiederum als Beurteilungsmaßstab die Kategorie I (große Fehler) zur Folge haben. Unabhängig von der zeitlichen Aufteilung ist das gesamte werktägliche Verkehrsaufkommen, wie aus Abb. 30 hervorgeht. Daraus folgt, daß die Bedeutung der stündlichen Anteile jedes Fahrtzweckes umso größer ist, je häufiger er in Erscheinung tritt und je kürzer die Zeitspanne ist, für die eine Aussage erfolgen soll. Das Modell offeriert diesbezüglich die Genauigkeit, die für diese Eingabegrößen zutreffen.

6.4 Zusammenfassende Beurteilung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Ziel der Sensitivitätsanalyse war es, herauszufinden, mit welchen Abweichungen zu rechnen ist, wenn der eine oder andere Parameter mit einem Fehler bestimmter Größe behaftet ist. Dazu müßten alle Kenngrößen einer systematischen Veränderung unterzogen und für jeden dieser Schritte ein Simulationslauf durchgeführt werden, so daß der Aufwand leicht um das Zehnfache steigen würde. Dieser ist jedoch nicht erforderlich, denn auch mit den vorliegenden Ergebnissen ist eine Einschätzung der Sensitivität des Simulationsmodells ORIENT gegenüber Änderungen seiner Komponenten möglich. Es empfiehlt sich erst dann, zusätzliche Untersuchungen in diesem Zusammenhang vorzunehmen, wenn anhand empirischer Daten genaue Vorstellungen über deren Fehleranfälligkeit und Toleranz bei der Analyse und Prognose existieren.

Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, daß alle Parameter so genau wie möglich zu ermitteln sind. Dies gilt übrigens auch und ganz besonders für die Prognose, denn Irrtümer werden hier stärker zu Buche schlagen als bei Anwendung der bisherigen Planungsmodelle. Die wichtigsten Strukturmerkmale sind die relevanten Einwohner und die Arbeitsplätze. Die Ermittlung der Zahl der Auspendler je Verkehrszelle ist von vorrangigem Interesse; ebenso wäre eine Berücksichtigung der Arbeitsplätze, die von Berufseinpendlern besetzt werden und somit für die im Planungsraum ansässigen Erwerbstätigen nicht mehr verfügbar sind, wünschenswert. Diese müßten von der Gesamtzahl der Arbeitsplätze je Verkehrszelle jeweils abgezogen werden, denn bisher wurde stillschweigend unterstellt, daß der Anteil der zu den Berufseinpendlern gehörenden Arbeitsplätze überall konstant ist. Das ist jedoch keineswegs immer der Fall.

Demgegenüber spielen die übrigen Strukturmerkmale, also auch die Aufteilung in die verhaltenshomogenen Gruppen sowie die

Verhaltensmuster eine nachranginge Rolle, solange deren Genauigkeit innerhalb der üblichen Fehlergrenze bleibt. Auch der richtigen Bestimmung der genauen Entfernung zwischen den einzelnen Verkehrszellen sollte große Aufmerksamkeit geschenkt werden, da sie die Ziel- und Verkehrsmittelwahl nicht unerheblich beeinflussen. Die enorme Bedeutung der Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten und der stündlichen Aufteilung der einzelnen Fahrtzwecke erfordert auch in diesen beiden Bereichen größte Sorgfalt.

Allerdings wäre es sicherlich falsch, die durch die Sensitivitätsanalyse festgestellte Empfindlichkeit des Modells negativ einzuschätzen. Vielmehr ist es ja gerade eine Forderung unserer Zeit, eine die vielfältigen, aber auch teilweise schwach ausgeprägten Einflüsse berücksichtigende Verkehrsplanung zu betreiben. Insofern ist die Hinzunahme zusätzlicher Informationen bei den verhaltensorientierten Modellen eine Notwendigkeit, die nicht die Sachlage erschwert, sondern zu einer spürbaren Verbesserung der Qualität der Planungsgrundlagen führt.

7. Sonderbetrachtungen

Unter diesem Begriff werden zusätzliche Fragestellungen, die schon verschiedentlich angedeutet worden sind, subsumiert. Mit dem vorliegenden Simulationsmodell ORIENT ist dem Planer ein Instrument in die Hand gegeben, das ihn in die Lage versetzt, die Auswirkungen von Änderungen des Angebots auf die Nachfrage relativ zuverlässig abzuschätzen. Die Unsicherheit wird natürlich umso größer, je größer die Zeitspanne ist, für die eine Voraussage erwartet wird, und je hypothetischer die Fragestellung ist, denn wenn Verhaltensänderungen in großem Umfang nicht auszuschließen sind, werden die Prognosen außerordentlich erschwert.

Es geht aber nicht nur um zukünftige Entwicklungen, die das Verkehrsverhalten langfristig und nachhaltig verändern können bzw. verändern werden, wie die zunehmende Verknappung und Verteuerung von Energie. Dieses Problem ist so umfangreich, daß eine eigene Arbeit mit dieser speziellen Fragestellung entstehen würde; es wird daher nicht weiter behandelt.

Andere Aspekte sind ebenso interessant, können aber wesentlich eleganter ohne zusätzlichen Aufwand mit dem Simulationsmodell ORIENT bearbeitet werden. Folgende drei Gesichtspunkte sollen im einzelnen vorgestellt werden:

1. Optimierung von ÖPNV-Netzen,
2. Änderung der Ladenschlußzeit auf 21 Uhr,
3. Parkrestriktion.

Aufgrund der unzureichenden Datenbasis muß auf eine Einbeziehung des Güterverkehrs verzichtet werden. Die Vorgehensweise dazu soll jedoch kurz beschrieben werden. Indem in jedem Kraftfahrzeug, das dem Wirtschaftsverkehr dient, ein Fahr-

zeugführer notwendig ist, kann mit seinem beruflichen Verhaltensmuster die Verkehrserzeugung im Güterverkehr analog zu der Verkehrserzeugung des Personenverkehrs erfolgen. D.h. es müßte nach den Standorten der entsprechenden Kraftfahrzeuge für den Güterverkehr eine zu diesen zahlenmäßig gleichen verhaltenshomogenen Gruppe definiert werden. Diese tritt also dort in Erscheinung, wo die Ausgangsorte der Fahrten im Wirtschaftsverkehr sind. Das jeweilige Verhaltensmuster bestimmt sich zum einen aus der Anzahl der Fahrten pro Tag und zum anderen aus dem jeweiligen Fahrtzweck, d.h. in diesem Fall aus der Güterart oder Firmeneigenschaft, die beliefert werden soll oder von der Waren abgeholt werden. Damit ist dann auch gleichzeitig die räumliche Dimension im Güterverkehr hergestellt, denn die Zielwahl erfolgt analog zu der im Personenverkehr.

Bezüglich der zeitlichen Aufteilung sind zunächst empirische Erhebungen darüber anzustellen, wie die Aufteilung des Güterverkehrs über den Tag erfolgt. Sofern eine gewisse zeitliche Konstanz nachgewiesen ist, werden diese Fahrten bei der Auswertung der Simulation auf die einzelnen Stunden oder Stundengruppen aufgeteilt. Das Modell ist also ohne weiteres in der Lage, den Güterverkehr auf dieselbe Art und Weise wie den Personenverkehr allein oder mit diesem zusammen zu simulieren.

Eine zusätzliche Erweiterung des Modells auch auf die Verkehrsströme, die außerhalb des Planungsraumes beginnen oder enden, also nicht mehr zum Binnenverkehr gehören, erscheint realisierbar. Zu diesem Zweck müßten an den Kordonzählstellen imaginäre Verkehrszellen definiert werden, deren Datensatz vom Umfang her dem der inneren Verkehrszellen entspricht. Die Festlegung der absoluten Anzahl der Gelegenheiten, die Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen und vor allem die Definition der Entfernung zu dieser imaginären Verkehrszelle dürfte jedoch einige Schwierigkeiten bereiten, so daß der Kalibrierungsprozeß verlängert und erschwert wird. Trotz-

dem wird sich die Mühe lohnen, besonders dann, wenn kleinere Planungsräume zu untersuchen sind, bei denen diese Verkehrsströme besondere Bedeutung erlangen.

Ob damit gleichzeitig ein realistisches Ergebnis für den Durchgangsverkehr erzielt werden kann, ist zumindest fraglich. Andererseits darf man in diesem Bereich keine zu große Genauigkeit erwarten, denn allein von der Logik her erscheint es zweifelhaft, mit einem Modell, das für einen bestimmten Untersuchungsraum gültig ist, diejenigen Verkehrsströme beschreiben zu wollen, die außerhalb des für das Modell gültigen Raumes beginnen und enden.

Da die vorgenannten Überlegungen keine grundlegend neuen Erkenntnisse bedeuten, wird darauf verzichtet, diese an einem Beispiel zu behandeln. Viel interessanter sind die schon oben genannten Fragestellungen, mit denen die vielfältigen Möglichkeiten des Simulationsmodells ORIENT demonstriert werden sollen.

7.1 Optimierung von ÖPNV-Netzen

Wegen der Berücksichtigung der Qualität und Quantität des Angebots im ÖPNV, die durch die Einführung von Erschließungsklassen erfolgt, kann mit dem Modell für verschiedene Netzgestaltungen die jeweilige Nachfrage ermittelt werden. Es ist somit möglich, eine Optimierung des ÖPNV zu bewerkstelligen. Es handelt sich dabei allerdings nicht um einen Algorithmus, der als Ergebnis ein wie immer definiertes optimales ÖPNV-Netz liefert; vielmehr ist es erforderlich, die Netzgestaltung vorab festzulegen und in Form einer Erschließungsklassenmatrix dem Modell vorzugeben. Diese Vorgehensweise kommt den Belangen der Praxis entgegen, da sehr häufig eine Vielzahl von Randbedingungen für ein ÖPNV-Netz beachtet werden müssen, die nur auf diese Weise angemessen berücksichtigt werden können.

Hinsichtlich der Optimierung soll die Frage offengelassen werden, welche Kriterien den optimalen Zustand bestimmen. Zur Beurteilung der verschiedenen Netzkonfigurationen wird der ÖPNV-Anteil, die Anzahl der Fahrten je Kilometer Linienlänge, der Anteil der Umsteiger sowie der Anteil ohne ÖPNV-Erschließung herangezogen.

Das Untersuchungsgebiet besteht wiederum aus 14 Verkehrszellen und ist identisch mit der hypothetischen Stadt, die in Kapitel 6 vorgestellt worden ist. Es wurden 6 Beispiele (I - VI) für ein mögliches ÖPNV-Netz durchgespielt.

Im ersten Simulationslauf wurde der Fall untersucht, daß alle Verkehrsbeziehungen ohne Umsteigen realisierbar sind, d.h. es handelt sich dabei um eine Art Rufbussystem. Die Ergebnisse basieren auf den bereits vorgestellten Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten (Abb. 7), wobei natürlich auch die Zielwahl beeinflußt wird. Weiterhin wird unterstellt, daß sich keine Veränderung der Verhaltensweisen durch eine derartige ÖPNV-Bedienung ergibt. In diesem Fall dient das Ergebnis, das in Abb. 34 veranschaulicht worden ist, dazu, die Fahrtwünsche hinsichtlich Quelle und Ziel herauszufinden, die wiederum letztendlich eine wichtige Grundlage für eine optimale Netzgestaltung (besonders im Hinblick auf die Minimierung des Anteils der Umsteiger) sind, womit die Netzkonfiguration IV (Abb. 35) erarbeitet wurde.

Als beste Lösung erscheint die Netzkonfiguration II, bei der die Auslastung je Kilometer Linienlänge am größten ist und der Anteil ohne ÖPNV-Erschließung den niedrigsten Wert aufweist. Es ist einerseits Zufall, daß sich diese Netzgestaltung, die von vornherein für die Sensitivitätsanalyse vorgegeben war, als beste Lösung herausstellt; andererseits war dieses Ergebnis in etwa zu erwarten, da mit dieser Linienführung die vorgegebenen Schwerpunkte der Gelegenheitsverteilungen so gut es irgend ging miteinander verbunden worden sind.

Weiterhin sind noch zwei Ergebnisse besonders bemerkenswert. Das eine betrifft den nur geringen Zuwachs an Fahrten im ÖPNV, wenn ein aufwendiges Rufbussystem eingeführt wird. Dies zunächst überraschende Ergebnis ist gar nicht so verwunderlich, da ein großer Teil derjenigen Personen, die über keinen Pkw verfügen, ihre Ziele entsprechend der Erreichbarkeit mit dem ÖPNV auswählen, so daß die Steigerung insgesamt lediglich 11 % beträgt. Der zweite Aspekt betrifft die Unterschiede zwischen der Morgen- und Abendstundengruppe. Daß der ÖPNV-Anteil während der Abendstundengruppe jeweils niedriger als in der Morgenstundengruppe ist, ist die Folge des Schülerverkehrs, der im Gegensatz zu morgens abends nicht enthalten ist.

Vornehmlich aus diesem Grund entstehen auch die Unterschiede bei den anderen Beurteilungskriterien zwischen der Morgen- und Abendstundengruppe. Es ergibt sich daher die Frage, ob man für die verschiedenen Zeiträume unterschiedliche Netze anbieten sollte. Da jedoch eine solche Maßnahme sehr wahrscheinlich für den Benutzer erhebliche Orientierungsschwierigkeiten verursacht, die auch nicht mit viel Informationsaufwand reduziert werden können, wird in der Praxis wohl auf eine solche Realisierung verzichtet werden müssen bzw. wird sie nur in Ausnahmefällen realisierbar sein.

Zur Definition des Anteils ohne ÖPNV-Erschließung ist noch nachzutragen, daß es sich dabei um diejenigen Fahrten von Personen handelt, die der Erschließungsklasse 3 zugeordnet sind, d.h. es handelt sich also um solche Fahrten, bei denen Quelle oder Ziel nicht durch den ÖPNV erschlossen ist. In diesen Fällen müssen also die betreffenden Personen zu Fuß eine andere Verkehrszelle mit ÖPNV-Bedienung aufsuchen.

Inwieweit eine Änderung der Netzgestaltung eine Verschiebung des Zielverkehrs nach sich zieht, ist aus den Abb. 36 und 37 ersichtlich, wo jeweils ein Ausschnitt aus der Verflechtungsmatrix für die Morgenstundengruppe (6 - 10 Uhr) für die beiden Verkehrsmittel ÖV und IV dargestellt worden ist. Bei dem

Begriff IV handelt es sich hier ausschließlich um das Verkehrsmittel "Pkw-Selbstfahrer". Es zeigt sich, daß der Zielverkehr der Zelle 8 (Kernbereich) im ÖV je nach der zugrunde gelegten Netzkonfiguration deutliche Unterschiede aufweist. Das Modell kommt also auch in dieser Frage der Realität sehr nahe, denn im IV ergeben sich demgegenüber keine Unterschiede; für dieses Verkehrsmittel spielt das Angebot im ÖPNV eben keine Rolle.

Da es sich bei den ÖPNV-Linien häufig um sogenannte Durchmesser-Linien handelt, kann mit dem vorliegenden Simulationsmodell ORIENT auch eine zweckmäßige Verknüpfung der beiden Äste besonders im Hinblick auf eine Minimierung der Umsteiger ermittelt werden.

Im übrigen ist noch darauf hinzuweisen, daß sich die vorgenannten Ergebnisse bei einer Änderung des Angebots im ÖPNV allenfalls langfristig einstellen werden, da es erfahrungsgemäß viel Zeit benötigt, bis die Personen ihre habitualisierten Verhaltensweisen überdenken und ändern. In diesem Zusammenhang ist vor allem eine ständig wiederkehrende, fast penetrant wirkende Informationsübermittlung notwendig, da solche Maßnahmen, die auf eine Veränderung der Verhaltensweisen abzielen, im allgemeinen aus dem Bewußtsein verdrängt werden, um liebgewonnene Gewohnheiten nicht in Frage zu stellen.

7.2 Änderung der Ladenschlußzeit auf 21 Uhr

Ein interessantes Problem ist die Frage der Auswirkungen einer Änderung der Ladenschlußzeit auf beispielsweise 21 Uhr auf das Verkehrsgeschehen. Neben den vielfältigen Vor- und Nachteilen einer solchen Maßnahme liegt die Vermutung auf der Hand, daß durch eine zeitliche Ausdehnung der Einkaufsmöglichkeiten eine Entlastung während der beiden Spitzenstundengruppen eintritt.

Unterstellt man zunächst, daß die Verhaltensmuster konstant bleiben, so sind lediglich Veränderungen bei der zeitlichen Aufteilung derjenigen Fahrtzwecke zu erwarten, die im Zusammenhang mit der Aktivität Einkauf, aber auch mit der Aktivität Arbeit zusammenhängen. Die Änderungen erfolgten in der Weise, daß bei den stündlichen Anteilen der Ortsveränderungen zum und vom Einkaufen jeweils 10 % abgezogen und auf die spätere Einkaufsmöglichkeit ab 18.30 Uhr verlagert wurde; bei den Ortsveränderungen zur und von der Arbeit wurde entsprechend dem Umfang der betroffenen Arbeitsplätze ein späterer Arbeitsbeginn und ein dementsprechend späteres Arbeitsende der Berechnung zugrunde gelegt. Welche stündlichen Anteile in % des Tageswertes je Fahrtzweck bei einer Änderung der Ladenschlußzeit auf 21 Uhr zu erwarten sind, geht aus Abb. 38 hervor.

Das Ergebnis der Simulation ist in der Form einer Tagesganglinie für den Gesamtverkehr in Abb. 39 eingezeichnet. Es ergibt sich eine Reduzierung der Morgenspitze um 10 %, der Mittagsspitze um 8 %; die Anzahl der Ortsveränderungen zwischen 19 und 20 bzw. 21 Uhr erhöht sich dagegen um 17 bzw. 27 %. Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl sind nicht zu verzeichnen; der ÖPNV-Anteil bleibt nahezu konstant.

Wahrscheinlicher als die Behandlung des vorgenannten Beispiels erscheint auch eine zusätzliche Veränderung der Verhaltensmuster. Viele Erwerbstätige beklagen es ja, aufgrund der knapp bemessenen Zeitspanne zwischen Arbeitsende und Ladenschluß die gewünschten Einkaufsaktivitäten nicht oder nur unzureichend durchführen zu können. Daher kann man mit Recht annehmen, daß eine Verlängerung der Einkaufsmöglichkeiten zu zusätzlichen Ortsveränderungen bei den Erwerbstätigen führen wird, deren Ausmaß aus Abb. 40 im Vergleich zu Abb. 3 erkennbar wird. Eine ähnliche Entwicklung, nämlich eine Steigerung der Anzahl der Ortsveränderungen bei den übrigen verhaltens-

homogenen Gruppen ist dagegen nicht zu erwarten; diese können bereits heute ihre Einkaufsaktivitäten voll befriedigen. Hier ergibt sich allenfalls eine zeitliche Verschiebung, die bereits behandelt worden ist.

Mit Berücksichtigung von Änderungen der Verhaltensmuster und der zeitlichen Aufteilung der betroffenen Fahrtzwecke ergibt sich das in Abb. 41 dargestellte Ergebnis. Im Vergleich zu dem erstgenannten Fall fällt die Reduzierung der Morgen- und Mittagsspitze etwas geringer, die Steigerung nach 19 Uhr dagegen etwas höher aus. Der ÖPNV-Anteil bleibt wiederum ungefähr konstant; durch eine Erhöhung der Anzahl der Ortsveränderungen tritt allerdings auch eine Steigerung der absoluten Anzahl der Fahrten im ÖPNV ein.

Wie genau die vorgenannten Ergebnisse aufgrund des hypothetischen Sachverhaltes auch immer sein mögen, so läßt sich doch klar erkennen, daß ein deutlicher positiver Effekt für die Abwicklung des Verkehrs erwartet werden kann. Durch eine Verlagerung des Einkaufsverkehrs auf die späten Abendstunden wird außerdem eine längere und damit bessere Nutzung vorhandener Parkflächen erreicht. Aus der Sicht des Verkehrsplaners wäre also eine, wenn auch nur tageweise, Einführung einer Ladeabschlußzeit von 21 Uhr zu begrüßen.

7.3 Parkrestriktion

Von den in diesem Kapitel behandelten Sonderproblemen wird das folgende wohl die größte Beachtung finden, da das Instrument "Parkrestriktion" zunehmend an Bedeutung gewinnt, denn nur dieses Mittel hat sich in der Zwischenzeit als tauglich erwiesen für eine Beeinflussung der Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten insbesondere zur Entlastung der Umwelt und zur Wiedergewinnung einer Wohnumfeldqualität in den Kernbereichen von Großstädten.

Gleichwohl soll nicht verschwiegen werden, daß dieses Instrument sehr sorgfältig und abgewogen gehandhabt werden muß, damit negative Folgen auf die Wirtschaftsstruktur (Verlagerung von Gelegenheiten) vermieden werden. Hier geht es jedoch weniger um das Problem der Parkrestriktion als solches, sondern vielmehr um eine zweckmäßige Integration desselben in das Simulationsmodell ORIENT. Nur so ist es möglich, die Auswirkungen einer solchen eventuellen Maßnahme auf die Verkehrsnachfrage abzuschätzen.

Vor einer angemessenen Berücksichtigung der Parkrestriktion im Simulationsmodell ORIENT sollen Überlegungen darüber angestellt werden, welche Auswirkungen eine solche Maßnahme wahrscheinlich nach sich ziehen wird. Hier sind teilweise Vermutungen unumgänglich, da eine fundierte Untersuchung zu diesem Themenkomplex nicht vorliegt.

Stellt man sich zunächst einen Kernbereich mit einer Verknappung an Parkständen vor, dann wird zuallererst ein Prozeß der Verlagerung in die angrenzenden Verkehrszellen bezüglich des ruhenden Verkehrs eingeleitet; d.h. das gewünschte und tatsächliche Ziel einer Fahrt mit dem Pkw stimmen nicht mehr überein. Um dieses Problem zu erfassen, genügt es also nicht, eine einzelne Verkehrszelle zu betrachten, sondern man muß vielmehr die angrenzenden Verkehrszellen, soweit sie betroffen sind, in die Überlegungen einbeziehen.

Ohne auf die vielfältigen Möglichkeiten einer Parkrestriktion näher einzugehen, die darin besteht, daß nur jeweils eine bestimmte Anzahl von Parkstandstypen für bestimmte Fahrtzwecke zur Verfügung stehen, ist festzustellen, daß durch eine solche Maßnahme hauptsächlich der Verkehr im Zusammenhang mit dem Fahrtzweck Arbeit auf andere Verkehrsmittel verlagert wird, beispielsweise den ÖPNV. Gerade diejenigen

Personen, die mit dem eigenen Pkw in die Innenstadt zur Arbeit fahren, blockieren durch die lange Arbeits- und damit Parkzeit einen Großteil der zur Verfügung stehenden Parkstände. Es ist anzunehmen, daß sich die Betroffenen keine neuen Arbeitsplätze suchen werden. Anders sieht es dagegen im Einkaufsverkehr aus. Sofern hierfür ebenfalls eine Parkrestriktion besteht, ist ein Ausweichen auf andere Ziele mit entsprechenden Möglichkeiten für die gewünschte Aktivität wahrscheinlich.

Die Einführung einer Parkrestriktion führt also in dem entsprechenden Bereich zu zwei Effekten, zum einen wird die Verkehrsmittelwahl, zum anderen die Zielwahl beeinflußt. Diese treten jedoch nur bei denjenigen verhaltenshomogenen Gruppen mit Pkw-Verfügbarkeit auf; die übrigen Personengruppen ohne Pkw-Verfügbarkeit sind selbstverständlich von einer möglichen Parkrestriktion nicht betroffen.

Überlegt man sich, wie die o.g. Zusammenhänge in das Simulationsmodell ORIENT integriert werden können, so ergeben sich bei der Änderung der Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten keine Schwierigkeiten. Dort müssen lediglich bei den in Frage kommenden verhaltenshomogenen Gruppen für den Fahrtzweck Arbeit andere Wahrscheinlichkeiten, nämlich eine Reduzierung des IV zugunsten des ÖV eingesetzt werden. Die Veränderung der Zielwahlwahrscheinlichkeiten wird dadurch impliziert, indem eine neue, die Parkrestriktion berücksichtigende Gelegenheitsverteilung für den Fahrtzweck Einkauf definiert wird. Diese ergibt sich aus der tatsächlichen Gelegenheitsverteilung für den Fahrtzweck Einkauf durch ein Malus/Bonus-System. Je stärker die Parkrestriktion gehandhabt wird bzw. je näher die betrachtete Verkehrszelle der Innenstadt liegt, desto größer wird die Abminderung der Anzahl der Gelegenheiten in dieser Zelle sein. Andererseits kann man davon ausgehen, daß in den äußeren Regionen ein

ausreichender Parkraum zur Verfügung steht, wie die Beispiele der Supermärkte auf der "grünen Wiese" zeigen. Hier ist also die Anzahl der Gelegenheiten entsprechend zu erhöhen.

Eine Prinzipskizze des vorerwähnten Sachverhaltes zeigt Abb. 42. Der Umfang der Reduzierung bzw. Erhöhung ergibt sich schematisch durch die Lage der betrachteten Verkehrszelle im Planungsraum, wobei der Verdrängungseffekt vom engeren Innenstadtbereich in die benachbarten Zonen durch eine unterschiedliche Abminderung berücksichtigt wird. Der Verdrängungseffekt ist schließlich dort zu Ende, wo keine Veränderung bei der Anzahl der Gelegenheiten erforderlich ist. Die Implementierung der Parkrestriktion aufgrund der Lage im Planungsraum ist nur ein grober Anhaltspunkt; in der Praxis wird man für jede Verkehrszelle genaue Abschätzungen vornehmen müssen, um das Parkflächenangebot zu beschreiben und das Ausmaß der Restriktion festzustellen. Erst danach kann der Verdrängungseffekt durch unterschiedliche Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von der Lage im Planungsraum berücksichtigt werden.

Um sicherzustellen, daß die die Parkmöglichkeit berücksichtigende Gelegenheitsverteilung nur auf diejenigen Personen, die über einen Pkw verfügen, angewandt wird, werden deren Verhaltensmuster dementsprechend geändert, so daß nun 5 Fahrtzweckklassen mit ebenfalls 5 Strukturmerkmalen gekoppelt sind.

Nach Erarbeitung der Grundlagen zur Berücksichtigung der Parkrestriktion durch das Simulationsmodell ORIENT soll wiederum an einem Beispiel die Praktikabilität gezeigt werden. Nützlich wäre als Ergebnis eine leicht zu handhabende Tabelle oder grafische Darstellung mit allgemeingültigen Angaben über die Malus- und Bonusfaktoren in Abhängigkeit vom Parkstandsangebot und der Lage im Planungsraum. Dieses Ziel ist jedoch nicht zu verwirklichen, denn neben fehlenden empirischen Erkenntnissen in diesem Zusammenhang ist das Ergebnis immer auch von der typischen Beschaffenheit des Untersuchungsgebietes

(Größe, Entfernungen, Verteilung der Gelegenheiten usw.) abhängig.

Infolgedessen liefern die Simulationsergebnisse am Beispiel der hypothetischen Stadt der Abb. 27 lediglich Anhaltspunkte. Gegenüber dem "0-Fall" wurden die Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten bei den verhaltenshomogenen Gruppen mit Pkw-Verfügbarkeit beim Fahrtzweck Arbeit in der Weise geändert, daß der Anteil des ÖPNV jeweils verdoppelt und der Anteil des Individualverkehrs entsprechend reduziert wurde. Welche Aufteilung sich im einzelnen dadurch ergeben hat, kann der Abb. 43 entnommen werden. Es zeigt sich, daß selbst nach dieser deutlichen Änderung der ÖPNV-Anteil im günstigsten Fall lediglich 10 % beträgt. Zum Vergleich wird auf die Abb. 7 verwiesen.

Neben dem "0-Fall" wurden fünf Simulationsläufe durchgeführt, bei denen die Anzahl der tertiären Arbeitsplätze in der Verkehrszelle 8 um 20 oder 40 % reduziert und in der Verkehrszelle 13 gleichzeitig um 20 oder 40 % erhöht wurde. Um die Auswirkungen der einzelnen Komponenten getrennt voneinander beurteilen zu können, wurde zum einen keine, zum anderen die oben erwähnte Veränderung der Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten vorgegeben. Zusätzlich wurde der Fall untersucht, bei dem ausschließlich das Verkehrsmittelwahlverhalten zum Tragen kommt.

Welche Auswirkung sich dadurch auf den Modal Split ergeben, ist ebenfalls in der Abb. 43 verzeichnet. Der Anteil des ÖPNV nimmt nur marginal um etwa 1 % zuungunsten des Individualverkehrs zu. Dieser Zuwachs fällt vor allem deswegen so gering aus, da ja nur der Fahrtzweck Arbeit betroffen ist und auch nur bei den Personen mit Pkw-Verfügbarkeit. Darüber hinaus ist erkennbar, daß die geänderte Gelegenheitsverteilung erwartungsgemäß keinen Einfluß auf die Verkehrsmittelwahl ausübt; sie dient eben ausschließlich zur Nachbildung einer veränderten Zielwahl.

Die Veränderungen im Zielverkehr der Verkehrszellen 8 und 13 sind in den Abb. 44 und 45 verzeichnet. Dort markieren die schwarzen Punkte diejenigen Fälle, bei denen keine Änderungen eingetreten sind. Das gilt für den Fahrtzweck Einkauf ohne Parkrestriktion, der nur bei den verhaltenshomogenen Gruppen ohne Pkw-Verfügbarkeit auftritt, für die eine Parkrestriktion unerheblich ist. Außerdem bleibt bei beiden Verkehrszellen der Zielverkehr gleich, wenn lediglich die Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten geändert werden. Bezüglich der Verkehrszelle 13 ergeben sich darüber hinaus bei den Fahrten mit dem ÖPNV grundsätzlich keine Veränderungen, da diese entsprechend Abb. 27 nicht durch den ÖPNV erschlossen ist.

Neben den Absolutwerten, auf die im einzelnen nicht näher eingegangen werden soll, ist eine Betrachtung der relativen Veränderungen zweckmäßiger. Diese können den Abb. 46 und 47 entnommen werden. Im folgenden wird ausschließlich das Ergebnis mit Berücksichtigung der Änderung im Verkehrsmittelwahlverhalten erläutert, um realitätsnah zu bleiben. Bei dem Zielverkehr der Verkehrszelle 8 ergibt sich eine Steigerung der ÖPNV-Fahrten mit dem Fahrtzweck Arbeit von ungefähr 30 %; die Steigerung der ÖPNV-Fahrten in der Morgenstundengruppe beträgt insgesamt etwa 12 % und in der Abendstundengruppe nur ungefähr 3 %. Die Abweichungen je nach dem Ausmaß der Parkrestriktion sind das Ergebnis der stochastischen Simulation des Verkehrsverhaltens, die im ÖPNV stärker zu Buche schlägt als im Individualverkehr, dessen Anteil wesentlich größer ist. Der Zunahme im ÖPNV steht eine entsprechende Abnahme im Individualverkehr der Verkehrszelle 8 gegenüber. Die Abnahmen im Einkaufsverkehr sind mit 7 und 23 % unterproportional gegenüber den Abminderungen der Anzahl der tertiären Arbeitsplätze. Für die Morgen- und Abendstundengruppe ist die jeweilige Reduzierung des im Individualverkehr auftretenden Zielverkehrs entsprechend geringer.

Demgegenüber tritt im Individualverkehr beim Zielverkehrs- aufkommen der Verkehrszelle 13 eine Steigerung - wiederum unterproportional - auf (Abb. 47). Zur Feststellung, welcher Einfluß dem Umstand zuzuschreiben ist, daß jeweils gleichzeitig eine Reduzierung in einer und eine Erhöhung der tertiären Arbeitsplätze in einer anderen Verkehrszelle vorgenommen wurde, dient ein zusätzlicher Simulationslauf, bei dem nur in der Verkehrszelle 8 die Anzahl der tertiären Arbeitsplätze um 20 % abgemindert wurde; das Ergebnis weicht von dem entsprechenden vorangegangenen nur unwesentlich ab.

Mit den vorgestellten Überlegungen zur Einbeziehung möglicher Parkrestriktionen bei der Ermittlung der Verkehrsnachfrage wird ein außerordentlich schwieriges Problem zu mindest ansatzweise mit einem leicht zu handhabenden Instrument einer Lösung zugeführt. Selbstverständlich sind die in diesem Zusammenhang gewonnenen Erkenntnisse lediglich ein erster Schritt; für eine weitere Verbesserung in diesem Bereich müssen jedoch vorab empirische Untersuchungen eine ausreichende Datenbasis über die Auswirkung der Parkrestriktion auf die Verhaltensweisen liefern. Das Erkenntnisinteresse in bezug auf den ruhenden Verkehr muß ohnehin im Zusammenhang mit der Verwendung verhaltensorientierter Ansätze in der Verkehrsplanung gefördert werden, da die Genauigkeit des Modells mit einer angemessenen Berücksichtigung der Parkproblematik noch zu steigern wäre. Nur die verhaltensorientierten Modelle bieten hierfür eine Gewähr; bisher wurde dieser Aspekt sehr pragmatisch behandelt, indem einfach eine Verschiebung zugunsten des ÖPNV beim Zielverkehr der einen oder anderen Verkehrszelle angenommen wurde. Ein Ausweichen auf andere Ziele, je nach Fahrtzweck, wurde dagegen im allgemeinen übersehen bzw. konnte nicht berücksichtigt werden.

Die in diesem Kapitel vorgenommenen Sonderbetrachtungen sind ein deutlicher Beweis für die Vielzahl von Einzelproblemen im Zusammenhang mit der Verkehrsentstehung, der Verkehrsnachfrage aufgrund eines vorgegebenen Verkehrsangebotes, die im vorliegenden Simulationsmodell ORIENT integriert und somit auch einer Lösung zugänglich sind.

8. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, ein Simulationsmodell zur Verkehrsprognose auf der Basis individueller Verhaltensmuster und sogenannter verhaltenshomogener Gruppen zu erstellen und daran anschließend dieses Modell einer Sensitivitätsanalyse zu unterziehen. Das entwickelte Simulationsmodell ORIENT beinhaltet den werktäglichen Personenverkehr innerhalb eines abgegrenzten Planungsraumes. Es berücksichtigt 24 Fahrtzwecke, die in 4 Fahrtzweckklassen eingeteilt worden sind, sowie 5 verschiedene Verkehrsmittel.

Das Rechenprogramm ist so aufgebaut, daß die Kenngrößen zur Definition des Modells, wie die Anzahl der verhaltenshomogenen Gruppen, der Aktivitäten, der Verkehrsmittel usw., variabel sind. Damit kann es den unterschiedlichen Anforderungen jedes Anwendungsbeispiels angepaßt werden. Gegenüber den bekannten vergleichbaren Simulationsmodellen wurden insbesondere die Modalitäten der Zielwahl neu formuliert, indem das Gravitationsgesetz zur Ermittlung der Zielwahlwahrscheinlichkeiten zugrunde gelegt wurde. Dieser Baustein berücksichtigt die Verteilung der Gelegenheiten, die den jeweiligen Fahrtzweck symbolisieren, die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln, die Erreichbarkeit sowie die Bedienungsqualität im ÖPNV.

Der Einsatz des Modells erfolgte am Beispiel der Stadt Pforzheim, für die gegenwärtig die 1. Fortschreibung des GVP mit Hilfe der bisherigen, 4-stufigen Planungsmodelle erarbeitet wird. Diese Vorgehensweise, an einem praktischen Fall gleichzeitig beide Modelltypen anzuwenden, lieferte den Hintergrund für einen kritischen Vergleich. Es zeigte sich, daß das Simulationsmodell ORIENT wesentlich weniger Aufwand verursacht und trotzdem detailliertere und bessere Ergebnisse ermöglicht.

Das Jahr 1967, für das sämtliche Werte aus einer Haushaltsbefragung vorlagen, diente als Basis zur Eichung des Modells.

Dann wurde mit der bekannten Entwicklung der relevanten Größen bis 1978 eine Prognose durchgeführt; der Vergleich der Ergebnisse des Simulationsmodells ORIENT mit den Analyseergebnissen für das gleiche Jahr aus der Fortschreibung ergab eine gute Übereinstimmung, so daß das Simulationsmodell seine Bewährungsprobe bestanden hat. Auch ein Vergleich der Prognoseergebnisse für das Jahr 1990 zwischen beiden Modelltypen ergab nur geringfügige Unterschiede.

Als besonders wichtige Erkenntnis in diesem Zusammenhang ist der Umstand zu nennen, daß man sehr wahrscheinlich mit allgemeingültigen Verhaltensmustern arbeiten kann, wodurch sich der Erhebungsaufwand gegenüber früher merklich reduziert. Denn für das betrachtete Beispiel der Stadt Pforzheim wurden wegen fehlender finanzieller Mittel keine Erhebungen zur Ermittlung der Verhaltensmuster durchgeführt; sie wurden vielmehr verschiedenen Literaturquellen entnommen. Einschränkend muß hinzugefügt werden, daß die Übereinstimmung lediglich für die beiden Verkehrsmittel ÖPNV und den Individualverkehr sowie auch nur für die beiden Spitzentstundengruppen (6-10 Uhr und 15-19 Uhr) geprüft werden konnte. Da jedoch die Verwendung eines Verkehrsplanungsmodells immer eine Kalibrierung für den "0-Fall" beinhaltet, um zu der Frage der Tauglichkeit des jeweiligen Modells Stellung nehmen zu können, ist eine Kontrolle gewährleistet, ob die allgemeingültigen Verhaltensmuster für den betreffenden Fall verwendet werden können. Alle anderen Daten müssen ohnehin für das jeweilige Untersuchungsgebiet beschafft werden; die Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen geschieht relativ problemlos aufgrund der Alterspyramide jeder Verkehrszelle.

Nachdem mit einer Gegenüberstellung von Ergebnissen der Beweis für die Verwendbarkeit des entwickelten Simulationsmodells ORIENT zur Verkehrsprognose vorlag, sollte mit einer Sensitivitätsanalyse Aufschluß über die Bedeutung der einzelnen Eingabegrößen bzw. Wirkungszusammenhänge gewonnen

werden. Dazu wurde ein fiktiver Planungsraum geschaffen. Wichtigste Parameter sind die Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten und die stündliche Aufteilung der einzelnen Fahrtzwecke. Für die Zielwahl ist die Entfernung zwischen allen Verkehrszellen von großer Bedeutung. Von den Strukturmerkmalen hat die Anzahl der relevanten Einwohner je Verkehrsbezirk die größte Relevanz; dagegen ist die Aufteilung in die verhaltenshomogenen Gruppen sowie die Verhaltensmuster weniger bedeutsam. Dieses unerwartete Ergebnis hängt damit zusammen, daß diese beiden Kenngrößen jeweils Anteile von 100 % sind. Eine Verschiebung der Anteile hat eben nicht dieselbe Resonanz wie eine entsprechende Veränderung absoluter Werte. Diese Erkenntnis ist gerade für die Prognose sehr wichtig, da ja häufig die Vorausschätzung der Strukturmerkmale aller Verkehrszellen mit erheblichen Unsicherheiten belastet ist. Die möglichen Fehler bei der Prognose von Anteilen jeder verhaltenshomogenen Gruppe und der Verhaltensmuster sind dagegen von untergeordneter Bedeutung, so daß ein hauptsächlicher Kritikpunkt gegenüber der Anwendung von solchen Simulationsmodellen wie das vorliegende ganz deutlich entkräftet wird.

Neben der speziellen Verankerung der Zielwahl im Rahmen der Simulation des Verkehrsverhaltens und der Sensitivitätsanalyse wurden Lösungsvorschläge zur Behandlung des Güterverkehrs und der die Grenze des Planungsraumes überschreitenden Verkehre ausgearbeitet, die im wesentlichen wie der werktägliche Personenverkehr mit Quelle und Ziel im Untersuchungsgebiet simuliert werden können. Darüber hinaus verdienen drei Sonderprobleme besondere Beachtung.

Das Simulationsmodell ORIENT kann zur Optimierung von ÖPNV-Netzen herangezogen werden. Es ist in der Lage, nach Vorgabe eines Angebotes die entsprechende Nachfrage im ÖPNV zu ermitteln. Dabei findet nicht nur die Verkehrsmittelwahl

sondern auch die Auswahl der Zielverkehrszelle eine angemessene Berücksichtigung.

An einem weiteren Beispiel wurden die Auswirkungen einer möglichen Änderung der Ladenschlußzeit auf 21 Uhr untersucht; diese Maßnahme hätte Abnahmen bei der Morgen- und Mittagsspitze zur Folge, während die Abendspitze bis 18.30 Uhr unverändert bliebe und danach eine deutliche Steigerung des Verkehrsaufkommens zu verzeichnen wäre. Aus verkehrlicher Sicht ist diese Änderung also zu begrüßen.

Schließlich wurde auch das Instrument "Parkrestriktion" in das Modell implementiert, wodurch wiederum ein Einfluß auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl ausgeübt wird. Die vorgeschlagene Lösung erlaubt eine Berücksichtigung des Verdrängungseffektes, indem die gewünschte Zielverkehrszelle nicht mehr mit der tatsächlichen Zielverkehrszelle, wo eher eine Parkmöglichkeit besteht, übereinstimmt. Je nach Art und Umfang der Parkrestriktion und der Lage der betrachteten Verkehrszelle im Planungsraum erfolgt eine Abminderung der Gelegenheiten; andererseits ist in bestimmten Fällen, insbesondere am Stadtrand, eine entsprechende Erhöhung denkbar. Mit dieser Vorgehensweise kann die Veränderung bezüglich des Verkehrsmittelwahlverhaltens, aber auch insbesondere eine mit der Parkrestriktion verbundene Veränderung der Ziele herausgefunden werden.

Die negativen Folgen einer möglichen Parkrestriktion auf die Wirtschaftsstruktur sollen nicht verschwiegen werden. Ein weiterer ungünstiger Effekt entsteht dadurch, daß dann der erwerbstätige Haushalt vorstand zunehmend mit dem öffentlichen Verkehrsmittel zur Arbeit fährt und damit die Verkehrsspitzen im ÖPNV steigert. Gleichzeitig verbleibt der Hausfrau, die früher mit dem ÖPNV zum Einkaufen gefahren ist und die Nachfrage zwischen den Verkehrsspitzen gebildet hat, nun der Pkw für Fahrten zum Einkauf. Es ergibt

sich also nicht nur eine Erhöhung der Verkehrsspitzen sondern sogar auch eine Reduzierung des Verkehrsaufkommens zwischen diesen Verkehrsspitzen im ÖPNV, die ganz und gar unvertretbare zusätzliche Kosten in diesem Bereich nach sich ziehen. Folglich ist das Instrument "Parkrestriktion" sicherlich kein Allheilmittel zur Lösung der innerstädtischen Verkehrsprobleme.

Die vorliegende Arbeit ist ein Beitrag zur gegenwärtigen Diskussion über die Vor- und Nachteile der neuartigen verhaltensorientierten Modelle in der Verkehrsplanung. Obwohl das entwickelte Simulationsmodell ORIENT bewußt recht einfach konzipiert worden ist, um einerseits den Ansprüchen von der Datenseite her gerecht zu werden und andererseits die Grenze der Rechnerkapazität zu beachten, ist der Fortschritt an Genauigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung von Arbeitszeit und Kosten unverkennbar. Hinzu kommt, daß mit einem solchen Modell viel detailliertere und vor allem umfassende Aussagen für die Zukunft gewonnen werden können, so beispielsweise auch für den Rad- und Fußgängerverkehr. Schließlich spielen auch Angaben über verkehrsmittel- und fahrtzweckspezifische Ortsveränderungen zur Beurteilung der Verteilung der Gelegenheiten im Planungsraum eine Rolle.

Sobald sich herausstellt, daß die Aktivitätennachfrage und darauf aufbauend die Verhaltensmuster in bestimmten Bereichen, d.h. beispielsweise je nach Größe des betrachteten Untersuchungsgebietes, übertragbar sind, kann mit äußerst geringem Erhebungsaufwand ein Generalverkehrsplan mit einer fundierten Verkehrsprognose erstellt werden. Durch die Verbesserung des Teilschrittes "Verkehrsprognose", der mit dem Teilschritt "Vorschläge zur Neuordnung des Verkehrs" zur Beschreibung des zukünftigen Verkehrsangebotes in einer Wechselwirkung steht, wird die Qualität der Grundlage jeder Verkehrsplanung entscheidend angehoben.

Wegen seiner Maßnahmenempfindlichkeit und einfachen Bedienungsweise können mit dem Modell eine Vielzahl von Alternativen zur Beschreibung des Verkehrsangebotes schnell und problemlos auf ihre Auswirkungen auf die Nachfrageseite untersucht werden. Gerade die ersten drei Teilschritte innerhalb des 4-stufigen Planungsmodells verursachten mehr Arbeit als die Ergebnisse häufig Wert waren. Dieses Mißverhältnis zwischen Aufwand und Nutzen wird mit dem vorliegenden Modell beseitigt.

Es ist abzusehen, daß die neue Generation von Modellen zur Verkehrsprognose im Rahmen der Generalverkehrsplanung zunehmend in der Praxis Verwendung finden wird. Die Zeitdauer bis zum entgültigen Durchbruch wird nicht nur davon abhängen, wie schnell diese in die entsprechenden Richtlinien eingearbeitet werden können, sondern auch davon, ob die noch offenen Probleme (besonders die Übertragbarkeit von empirischen Befunden und die Zielwahl) so oder so gelöst werden können; Anregungen für weitergehende Forschungsaktivitäten wurden an entsprechender Stelle erwähnt.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

BÖHME, U.: 775-13 ✓
Grundlagen zur Berechnung des städtischen Personenver-
kehrs
in: Wissenschaft und Technik im Straßenwesen, 13,
Technische Universität Dresden, 1970

BRAUN, J.; WERMUTH, M.: 860-6 ✓
VPS 3 - Konzept und Programmsystem eines analytischen
Gesamtverkehrsmodells
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und
Verkehrswesen, Technische Universität München, Heft 6,
1973

Sozialforschung BRÖG, W.: 2833 1-4 3✓
Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten (KONTIV)
- Endbericht -
München, 1977

McCARTHY, G.M.: 902/1297 ✓
Multiple-Regression Analysis of Household Trip Generation
- A Critique
in: Highway Research Record, No. 297, 1969

GRAUMANN, C.F.:
Planung für den Alltag in sozialpsychologischer Perspek-
tive
in: Seminarberichte 1979, Rahmenthema "Aktivitätsmuster
für die Stadtplanung", Institut für Städtebau und Landes-
planung, Universität Karlsruhe, 1979

GREUTER, B.: ✓
Die Verwendung der Erreichbarkeit für ein dynamisches
Nutzungsentwicklungsmodell
in: Internationales Verkehrswesen 30 (1978), Heft 3

HAUTZINGER, H.; KESSEL, P.: ✓ 1820-231
Mobilität im Personenverkehr
Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr:
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 231, 1977

HAUTZINGER, H.: 1060 ✓
Disaggregierte verhaltensorientierte Verkehrsmodelle -
Theorie und praktische Anwendung
in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 49 (1978), Heft 1

HEIDEMANN, C.:

Skizzen zu einer pragmatischen Modelltheorie
in: Veröffentlichungen des Instituts für Städtebauwesen,
Technische Universität Braunschweig, Heft 18, 1976

HENSEL, H.:

Zur Abbildung von "Verhalten im Raum", am Beispiel des
Modells "Entfernung"
in: Seminarbericht 14, Gesellschaft für Regionalfor-
schung, Heidelberg, 1979

HERZ, R.: 105

Multivariate Informationsanalyse der Verkehrsmobilität
in: Raumforschung und Raumordnung 37 (1979), Heft 3-4

HILGENFELD, H.:

Neue Modal-Split-Modelle unter besonderer Berücksichti-
gung amerikanischer Untersuchungen
in: Verkehr und Technik, Heft 8, 1977 8487 ✓

HOLZ, S.:

Werktagliche Aktivitätsfolgen ausgewählter sozio-ökono-
mischer Gruppen
Vertiefarbeit, Institut für Städtebau und Landesplanung,
Universität Karlsruhe, 1978 (unveröffentlicht)

HOLZ, S.:

Verhaltensorientierte Modelle in der Verkehrsplanung
Diplomarbeit, Institut für Verkehrswesen, Universität
Karlsruhe, 1978 (unveröffentlicht)

KESSEL, P.: 1820-132 ✓

Verhaltensweisen im werktaglichen Personenverkehr
Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr:
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 132, 1972

KOCKS CONSULT GMBH: V 2785 ✓
Gesamtverkehrsplan Großraum Nürnberg
München, 1976

KREIBICH, V.: DE 35

Analyse und Simulation der Wahl des Arbeitsstandortes
bei Erwerbspersonen
Dissertation, Technische Universität München, 1972

KUTTER, E.: 1919-9 ✓

Demographische Determinanten städtischen Personenverkehrs
in: Veröffentlichungen des Instituts für Städtebauwesen,
Technische Universität Braunschweig, Heft 9, 1972

KUTTER, E.: 1919 - 12 nicht mehr vorhanden
Areales Verhalten des Stadtbewohners - Folgerungen für
die Verkehrsplanung
in: Veröffentlichungen des Instituts für Städtebauwesen,
Technische Universität Braunschweig, Heft 12, 1973

KUTTER, E.: 1627 - 24 ✓
Probleme der Mobilität
in: Schriftenreihe der DVWG, Reihe B, Heft 24, Köln und
Berlin, 1975

KUTTER, E.: 578 - 29 ✓
Überlegungen zur Verwendung "aggregierter" und "disaggregierter" Methoden in der Verkehrsplanung
in: Internationales Verkehrswesen 29 (1977), Heft 2

KUTTER, E.: 978 ✓
Behavior Oriented Travel Demand Models
in: Internationales Verkehrswesen 29 (1977), Heft 3

KUTTER, E.: 1073 ✓
Grundlagen der Verkehrsursachenforschung
in: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und
Verkehrswegebau, Technische Universität Berlin, 1978

KUTTER, E.; MENTZ, H.-J.: 1061 1979 fehlt!
Verkehrliche Auswirkungen der Einführung eines bedarfsgesteuerten Bussystems
in: Straßenverkehrstechnik 23 (1979), Heft 1

LESSMANN, H.: 1820 - 264b ✓
Wechselwirkung zwischen Parkangebot und Verkehrsaufkommen
Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr:
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 264, 1978

LEUTZBACH, W. et al.: V660 - 4,5 ✓
Generalverkehrsplan Pforzheim 1967 - 1970
Stadtverwaltung Pforzheim, 1970

MÄCKE, P.A.; HÖLSKEN, D.; KESSEL, P.:
Reisemittelwahl in Hamburg
Schlußbericht über Untersuchungen zum Modal-Split in der
Region Hamburg, Aachen, 1973

MÄCKE, P.A.:
Tendenzen in der städtischen Verkehrsentwicklung
in: Technische Mitteilungen 70 (1977), Heft 12

MERCKENS, R.; SPARMANN, J.: ✓
Verkehrsmittelwahl im Berufsverkehr: Bedeutung personenbezogener Merkmale
in: Internationales Verkehrswesen 30 (1978), Heft 1

MERCKENS, R.; SPARMANN, J.: ✓
Verkehrsmittelwahl im Berufsverkehr: Einfluß der Er-
schließungs- und Verbindungsqualität im öffentlichen
Personenverkehr
in: Internationales Verkehrswesen 31 (1979), Heft 2

MEYBURG, A.H.: 360 ✓
Forschungen in den USA über moderne Prognoseverfahren
in der Verkehrsplanung
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und
Verkehrswesen, Technische Universität München, Heft 13,
1976

OI, W.Y.; SHULDINER, P.W.: 362 632 ✓
An Analysis of Urban Travel Demands
The Metr. Transp. Series, Northwestern University Press,
Evanston/Ill., 1962

PFEIFLE, M.: 4055 1061 fällt!
Anwendung eines "modal-split" Verfahrens auf zukünftige
Verkehrsmengen bei unterschiedlicher Berücksichtigung
einzelner Fahrtzwecke, P+R-System und Parkraumrestriktion
in: Straßenverkehrstechnik 22 (1978), Heft 1

RICHARDS, M.G.; BEN-AKIVA, M.E.: 3000 ✓
A Disaggregate Travel Demand Model
SAXON HOUSE, D.C. Heath Ltd., England, 1975

ROHLFING, H.:
SIMULA, Eine Einführung
B.I. Hochschultaschenbücher, Band 747, Bibliographisches
Institut, Mannheim/Wien/Zürich, 1973

SCHMIEDEL, R.: 495
Clusteranalyse von Zeitbudgetmustern
in: Seminarberichte 1979, Rahmenthema "Aktivitätsmuster
für die Stadtplanung", Institut für Städtebau und Landes-
planung, Universität Karlsruhe, 1979

SPARMANN, J.: 1061 fällt!
Verhaltensweisen im Ruhenden Verkehr - Ergebnisse einer
Befragung in Berlin (West)
in: Straßenverkehrstechnik 22 (1978), Heft 6

STRAUCH, H.; TIETZ, H.-P.: ✓
Zusammenhänge zwischen sozioökonomischen Merkmalen und
Verkehrsmobilität
Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität
Karlsruhe, 1978

THOMAS, W.:
Sensitivitätsanalyse eines Verkehrsplanungsmodells
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen,
Universität Karlsruhe, Heft 10, 1974

TOPP, H.H.: *fallt*
Zur Problemorientierung von Verkehrsmodellen
in: Straßenverkehrstechnik 22 (1978), Heft 6

WALKER, J.R.: *902*
Rank Classification: A Procedure for Determining Future
Trip Ends
in: Highway Research Record, No. 240, 1968

WEBER, H.-P.: *1060*
Zur Frage der Verbesserung der Treffsicherheit von Ver-
kehrsprognosen durch verhaltensorientierte Modelle
in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft 48 (1977), Heft 3

WEICHBRODT, C.:
Entwicklung und Anwendung integrierter Personenverkehrs-
modelle auf der Basis individueller Verhaltensmuster
in: Veröffentlichungen des Instituts für Städtebauwesen,
Technische Universität Braunschweig, Heft 24, 1977

WERMUTH, M.: *nicht mehr vorhanden*
Genauigkeit von Modellen zur Verkehrsplanung
in: Veröffentlichungen des Instituts für Städtebauwesen,
Technische Universität Braunschweig, Heft 12, 1973

WERMUTH, M.: *1957*
Struktur und Effekte von Faktoren der individuellen Akti-
vitätennachfrage als Determinanten des Personenverkehrs
Bock+Herchen Verlag, Bad Honnef, 1978

WIRTH, W.:
Die verkehrlichen Verflechtungen städtischer Regionen
mit ihren Kernbereichen
Forschungsauftrag des Bundesministers für Verkehr,
Institut für Verkehrsplanung und Verkehrswesen,
Technische Universität München, 1977 (unveröffentlicht)

WOOTTON, H.J.; PICK, G.W.:
A Model for Trips Generated by Households
in: Journ. Transp. Econ. and Policy, 1, 1967

ZAHAVI, Y.:
Travel Characteristics in Cities of Developing and
Developed Countries
World Bank Staff Working Paper, Nr. 230, 1976

Anhang

Das vorgestellte Programmsystem ORIENT zur Simulation des Verkehrsverhaltens auf der Basis individueller Verhaltensmuster stellt an die Speicherkapazität der verwendeten Rechenanlage relativ hohe Anforderungen, die im wesentlichen von der Anzahl der Verkehrszellen abhängen; hier sind also - je nach der zur Verfügung stehenden Rechenanlage - Beschränkungen unvermeidbar. Es liegt auf der Hand, daß bei dieser Ausgangslage eine Trennung der Simulation von der Auswertung unvermeidbar ist.

Neben der optimalen programmtechnischen Gestaltung, die eine effiziente Ausnutzung der vorhandenen Rechnerkapazität sicherstellt, soll die Eingabe möglichst einfach und übersichtlich organisiert sein, um dem Anwender Fehler vermeiden zu helfen. Dazu gehören vor allem auch vernünftige Bedienungsanleitungen, die als Anlage 1 (ORIENT-SIM) und Anlage 2 (ORIENT-AUSW) beigefügt sind. Bevor die eigentliche Simulation beginnt, erfolgt ein Test der Eingabe, der offensichtliche Fehler und Unvollständigkeiten erkennt und gegebenenfalls einen Abbruch des Runs bewerkstelltigt.

Das Programm ORIENT-SIM arbeitet teilweise mit einem pseudovirtuellen Speicher. Der dadurch erforderliche Mehraufwand geht aus der Speicherstatistik hervor, die am Ende des Simulationslaufes ausgegeben wird. Je weniger Auslagerungen es gibt, desto geringer ist die Rechenzeit. Die Zahl der Auslagerungen läßt sich verringern, indem man mehr Speicher verwendet. Die Abb. 48 gestattet einen Einblick in die Abhängigkeit zwischen der Rechenzeit und dem Speicherplatzbedarf einerseits und der Anzahl der Verkehrszellen andererseits bei einem konstanten Stichprobenumfang von 20 %.

Besonders kritisch ist der benötigte Speicherplatz bei der Simulation, der bei einer Erhöhung der Zellenzahl quadratisch

ansteigt. Demgegenüber bleibt der Speicherbedarf bei der Auswertung nahezu konstant (diesem Beispiel wurde die sogenannte Standardauswertung zugrunde gelegt, die alle Auswertepunkte bis auf 4.1, 4.2 und 4.3 enthält). Das Diagramm für die Rechenzeit zeigt wiederum einen quadratischen Zusammenhang; die Rechenzeit für die Auswertung beträgt jeweils ungefähr das 3-fache der Rechenzeit für die Simulation.

Der Einfluß des Stichprobenumfangs auf die Rechenzeit und den Speicherplatzbedarf ist schließlich der Abb. 49 zu entnehmen; die Angaben beziehen sich auf ein aus 14 Verkehrszellen bestehendes Untersuchungsgebiet. Der benötigte Speicherumfang ist in beiden Fällen zufälligerweise identisch und nimmt mit wachsendem Stichprobenumfang oberhalb von 10 % kaum noch zu. Hinsichtlich der Rechenzeit stellt sich ein linearer Zusammenhang ein, wobei der Stichprobenumfang für die Rechenzeit der Simulation von weitaus geringerer Bedeutung als für die Auswertung ist.

Die Ausführungen zeigen, daß einer gewünschten Erweiterung des Simulationsmodells ORIENT von seiten der Rechnerkapazität enge Grenzen gesetzt sind. Den größten Aufwand verursachen die zahlreichen Zielwahrscheinlichkeitsmatrizen. Die Datenorganisation wurde so optimiert, daß diejenigen der Verkehrszellen mit geringen Wahrscheinlichkeiten, also meistens die Randbezirke in die externen Speicher und diejenigen der häufig vorkommenden Verkehrszellen in den Kernspeicher gelangen. Sobald das Programm feststellt, daß es Daten aus dem externen Speicher öfter als aus dem Kernspeicher benötigt, erfolgt eine Umorganisation. Eine Verbesserung des Programms, die auf eine Reduzierung des Speicherplatzbedarfs abzielt, ist also sicherlich nicht mehr möglich. Daher wird wohl zunächst zu untersuchen sein, ob und in welchem Umfang der Aufwand bei der Zielwahl reduziert werden kann, um eine Erweiterung bzw. Ergänzung des vorliegenden Modells nicht von vornherein in Frage zu stellen.

Fehlerwahrscheinlichkeit

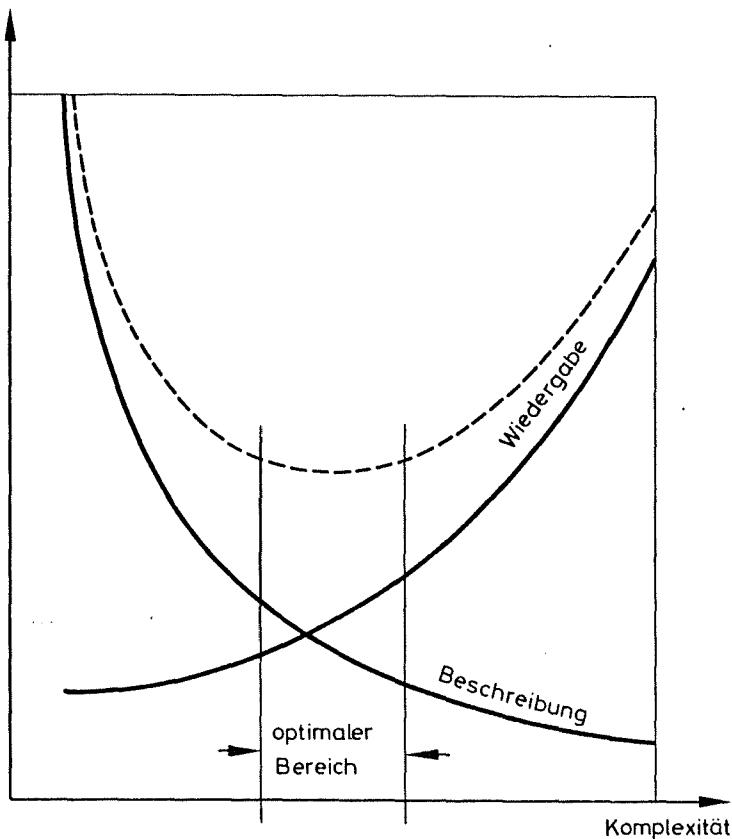


Abb. 1 Komplexität des Modells

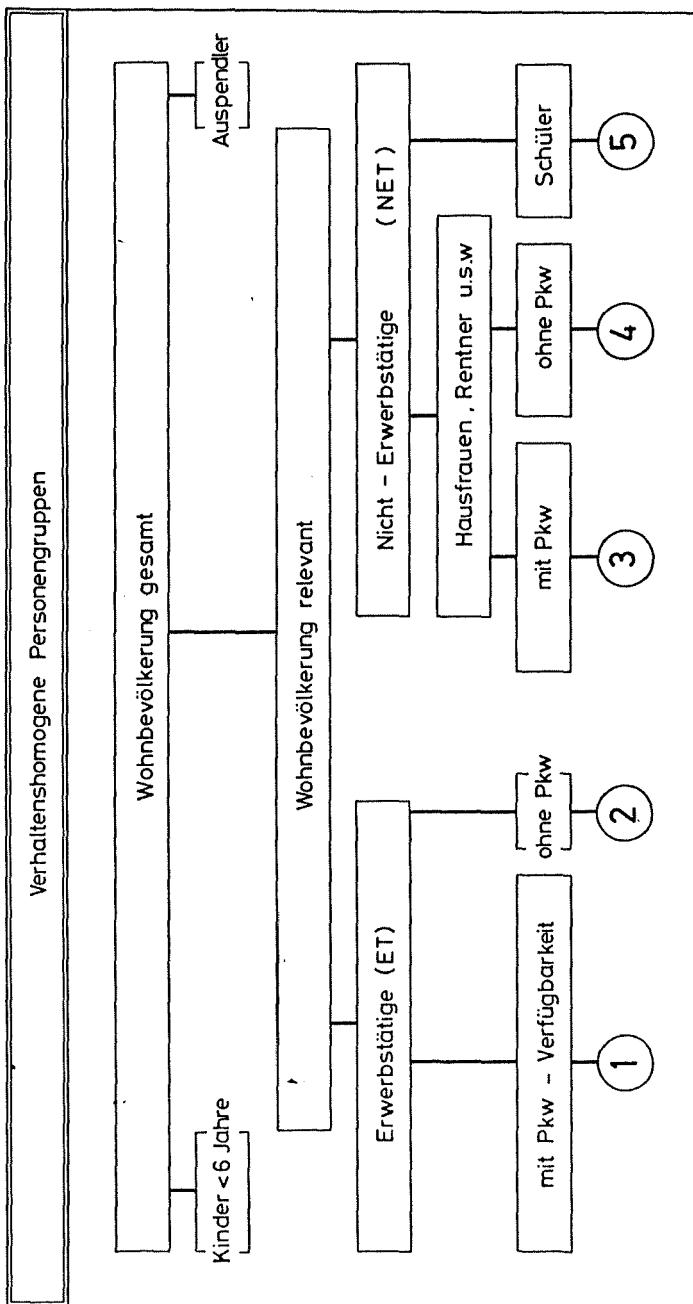


Abb. 2 Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen

Aktivitäten		
Schlüssel Nr.	Bedeutung	Struktur - merkmal
0	keine Fahrt	-
1	→ Arbeit	Arbeitsplätze
2	→ Ausbildung	Ausb. plätze
3	→ Einkauf	Arbeitsplätze III
4	→ Privat	Einwohner
5	→ Wohnung	-

Verhaltensmuster			
Nr.	Fahrtenfolge	Anteil	
		① ET mit Pkw	② ET ohne Pkw
1	0	6	10
2	5 - 1 - 5	45	60
3	5 - 1 - 5 - 4 - 5	7	4
4	5 - 1 - 5 - 3 - 5	6	4
5	5 - 1 - 3 - 4 - 5	3	4
6	5 - 1 - 1 - 1 - 5	7	2
7	5 - 3 - 5	3	3
8	5 - 4 - 5	3	2
9	5 - 1 - 3 - 5	3	2
10	5 - 1 - 5 - 1 - 5	4	3
11	5 - 1 - 4 - 5	2	0
12	5 - 1 - 3 - 3 - 5	5	0
13	5 - 1 - 3 - 4 - 1 - 5	4	70%
14	5 - 2 - 5	2	2
15	5 - 1 - 4 - 4 - 5	0	2%
Ø Anzahl der Fahrten pro Person und Tag		alle Personen	2,69
		mobile Personen	2,86
			2,26
			2,51

Abb. 3 Verhaltensmuster der Erwerbstätigen

Verhaltensmuster			
Nr.	Fahrtenfolge	Anteil	
		(3) NET mit Pkw	(4) NET ohne Pkw
1	0	16 %	24 %
2	5 - 3 - 5	32	39
3	5 - 3 - 5 - 4 - 5	9	7
4	5 - 3 - 5 - 3 - 5	7	8
5	5 - 4 - 5	5	8
6	5 - 3 - 4 - 5	4	0
7	5 - 4 - 5 - 4 - 5	2	1
8	5 - 4 - 5 - 3 - 5	2	2
9	5 - 3 - 5 - 4 - 5 - 4 - 5	2	0
10	5 - 1 - 5	2	2
11	5 - 3 - 4 - 5 - 4 - 5	2	0
12	5 - 3 - 3 - 4 - 5	9	63%
13	5 - 3 - 5 - 3 - 5 - 4 - 5	2	0
14	5 - 3 - 4 - 4 - 5	2	2
15	5 - 4 - 3 - 3 - 5	2	0
16	5 - 3 - 3 - 5 - 3 - 5	2	0
17	5 - 4 - 3 - 5	0	3
18	5 - 3 - 3 - 5 - 4 - 5	0 %	2 %
φ Anzahl der Fahrten pro Person und Tag		alle Personen	2,58
		mobile Personen	3,07
			2,05
			2,70

Abb. 4 Verhaltensmuster der Nicht-Erwerbstätigen

Verhaltensmuster		
Nr.	Fahrtenfolge	Anteil
Personengruppe		(5) Schüler
1	0	9 %
2	5 - 2 - 5	46
3	5 - 2 - 5 - 4 - 5	13
4	5 - 2 - 5 - 3 - 5	6
5	5 - 1 - 5	4
6	5 - 4 - 5	4
7	5 - 2 - 3 - 2 - 5	4
8	5 - 2 - 5 - 4 - 5 - 4 - 5	2
9	5 - 2 - 5 - 2 - 5	2
10	5 - 2 - 5 - 3 - 5 - 4 - 5	2
11	5 - 1 - 5 - 4 - 5	3
12	5 - 2 - 3 - 4 - 5	2
13	5 - 2 - 3 - 3 - 5	2
14	5 - 2 - 5 - 2 - 5 - 4 - 5	1 %
Ø Anzahl der Fahrten pro Person und Tag		2,66
alle Personen		2,66
mobile Personen		2,92

Abb. 5 Verhaltensmuster der Schüler

Gewichtungsfaktoren für die Zielwahl					
Gruppe	(1), (3) mit Pkw	- Verfügbarkeit	(2), (4), (5) ohne Pkw	- Verfügbarkeit	
Erschließungsgrad	1, 2, 3		1	2	3
Fahrtzweckklasse	1	→ Arbeit			
	$\gamma_{ij} = \frac{AG_j}{w_{ij}}$		$\gamma_{ij} = \frac{AG_j}{w_{ij}1,3}$	$\gamma_{ij} = \frac{AG_j}{w_{ij}1,6}$	
Fahrtzweckklasse	2	→ Ausbildung			
	$\gamma_{ij} = \frac{ASB}{w_{ij}}$				
Fahrtzweckklasse	3	→ Einkauf			
	$\gamma_{ij} = \frac{AIII_j}{w_{ij}1,3}$		$\gamma_{ij} = \frac{AIII_j}{w_{ij}1,6}$	$\gamma_{ij} = \frac{AIII_j}{w_{ij}2,0}$	
Fahrtzweckklasse	4	→ Privat			
	$\gamma_{ij} = \frac{E_j}{w_{ij}}$		$\gamma_{ij} = \frac{E_j}{w_{ij}1,3}$	$\gamma_{ij} = \frac{E_j}{w_{ij}1,6}$	

Abb. 6 Gewichtungsfaktoren für die Zielwahl

Verkehrsmittelwahl				Verkehrsmittel			
Verhaltenshomo- gene Gruppe	Fahrtzweck- Klasse	Erlernungs- Klasse	Erschließungs- Klasse	Zu Fuß	ÖPNV	Pkw - Mitarbeiter	Pkw - Selbstfahrer
1,3	1,2,3,4	0	1	20	2	10	65
		0	2	19	0	10	68
		0	3	19	0	10	68
		1	1	7	5	12	73
		1	2	7	3	12	75
		1	3	7	0	12	78
		2	1	1	4	12	82
		2	2	1	2	12	84
		2	3	1	0	12	86
		3	1	0	3	12	85
2,4		3	2	0	0	12	88
		3	3	0	0	12	88
		0	1	80	5	10	0
		0	2	85	0	10	0
		0	3	85	0	10	0
		1	1	38	40	12	0
		1	2	41	37	12	0
		1	3	43	35	12	0
		2	1	5	70	15	0
		2	2	7	68	15	0

Abb. 7a Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten

Verkehrsmittelwahl				Verkehrsmittel				
Verhaltenshomo- gene Gruppe	Fahrtzweck - klasse	Entfernungs - klasse	Erschließungs - klasse	zu Fuß	ÖPNV	Pkw - Mittfahrer	Pkw - Selbstfahrer	Fahrrad Mofa
5	1, 3, 4	0	1	75	5	10	0	10
		0	2	80	0	10	0	10
		0	3	80	0	10	0	10
		1	1	38	40	12	0	10
		1	2	41	37	12	0	10
		1	3	43	35	12	0	10
		2	1	5	60	15	0	20
		2	2	7	58	15	0	20
		2	3	10	55	15	0	20
		3	1	0	66	20	0	14
2	1, 3, 4	3	2	0	64	20	0	16
		3	3	0	62	20	0	18
		0	1	70	5	10	0	15
		0	2	75	0	10	0	15
		0	3	75	0	10	0	15
		1	1	38	30	12	0	20
		1	2	43	20	12	0	25
		1	3	48	10	12	0	30
		2	1	5	55	15	0	25
		2	2	10	45	15	0	30
1	1, 3, 4	2	3	15	35	15	0	35
		3	1	0	55	20	0	25
		3	2	0	50	20	0	30
		3	3	0	45	20	0	35

Abb. 7b Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeiten

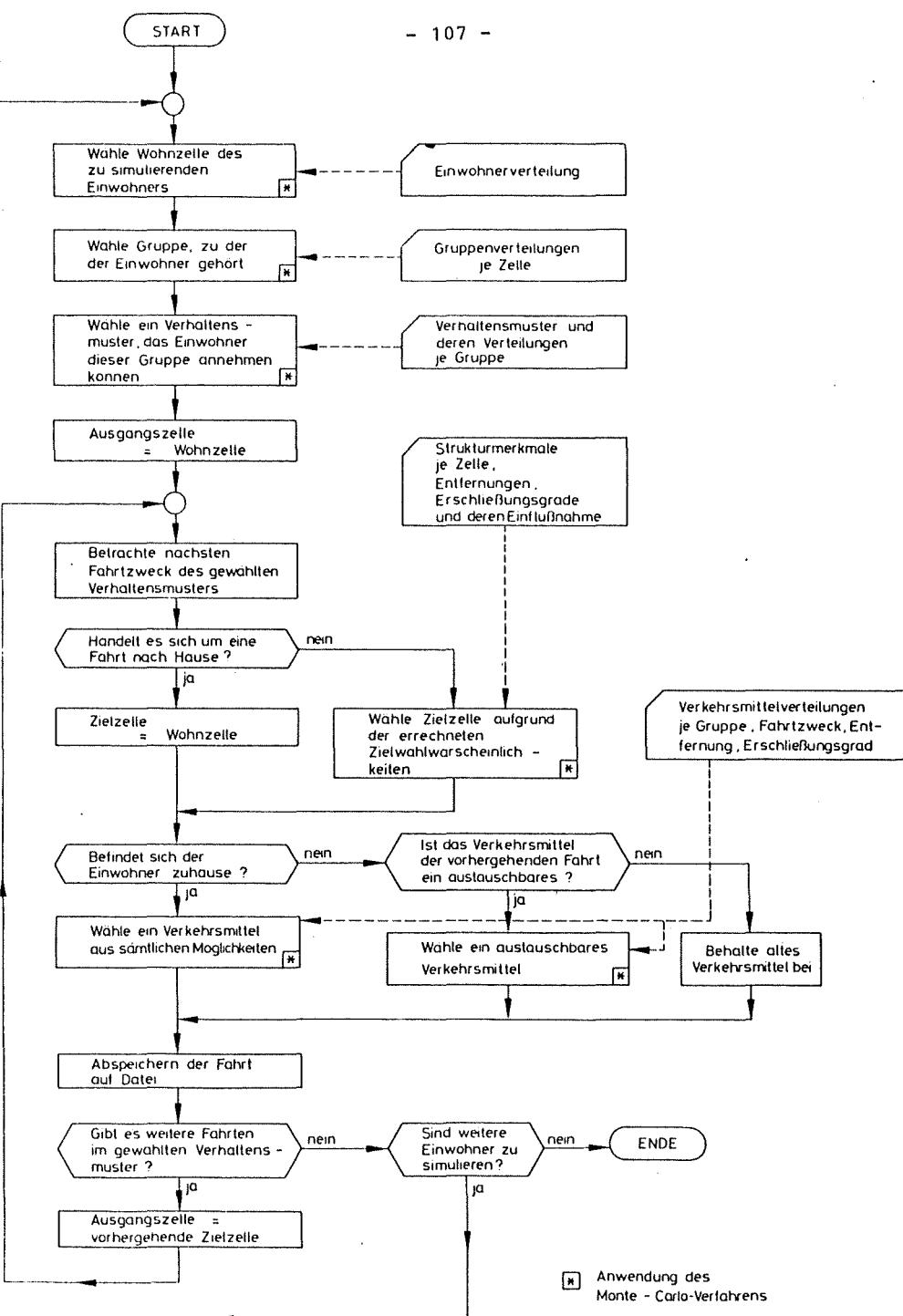


Abb. 8 Strukturdiagramm ORIENT-SIM

- EINWOHNER NR. 153 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'NICHT-ERWERBSTAETIGE OHNE PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 7 .
ER FAEHT MIT EINEM OEFFENTLICHEN VERKEHRSMITTEL NACH ZELLE 8 ZUM EINKAUFEN .
ER FAEHT MIT EINEM OEFFENTLICHEN VERKEHRSMITTEL NACH ZELLE 7 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 154 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'NICHT-ERWERBSTAETIGE OHNE PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 24 .
ER UNTERHAT KEINE FAHRU .
- EINWOHNER NR. 155 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'ERWERBSTAETIGE MIT PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 24 .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 22 ZUR ARBEIT .
ER FAEHT ALS MITFAHRER IM PKW NACH ZELLE 24 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 156 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'ERWERBSTAETIGE MIT PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 47 .
ER FAEHT MIT DEM EIGENEN PKW NACH ZELLE 25 ZUR ARBEIT .
ER FAEHT MIT DEM EIGENEN PKW NACH ZELLE 47 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 157 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'NICHT-ERWERBSTAETIGE MIT PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 39 .
ER FAEHT ALS MITFAHRER IM PKW NACH ZELLE 15 ZUM EINKAUFEN .
ER FAEHT MIT EINEM OEFFENTLICHEN VERKEHRSMITTEL NACH ZELLE 39 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 158 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'ERWERBSTAETIGE MIT PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 19 .
ER FAEHT MIT DEM EIGENEN PKW NACH ZELLE 39 ZUR ARBEIT .
ER FAEHT MIT DEM EIGENEN PKW NACH ZELLE 19 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 159 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'SCHUELER' UND WOHNNT IN ZELLE 8 .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 8 ZUR AUSBILDUNG .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 8 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 160 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'NICHT-ERWERBSTAETIGE OHNE PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 38 .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 37 ZUM EINKAUFEN .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 38 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 161 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'ERWERBSTAETIGE MIT PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 8 .
ER FAEHT ALS MITFAHRER IM PKW NACH ZELLE 22 ZUR ARBEIT .
ER FAEHT MIT EINEM OEFFENTLICHEN VERKEHRSMITTEL NACH ZELLE 8 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 162 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'NICHT-ERWERBSTAETIGE OHNE PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 14 .
ER FAEHT ALS MITFAHRER IM PKW NACH ZELLE 22 ZUM EINKAUFEN .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 14 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 163 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'NICHT-ERWERBSTAETIGE OHNE PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 13 .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 22 ZUR ARBEIT .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 13 NACH HAUSE .
- EINWOHNER NR. 164 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'SCHUELER' UND WOHNNT IN ZELLE 18 .
ER UNTERHAT KEINE FAHRU .
- EINWOHNER NR. 165 GEHOERT ZUR GRUPPE DER 'NICHT-ERWERBSTAETIGE OHNE PKW' UND WOHNNT IN ZELLE 25 .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 22 ZUM EINKAUFEN .
ER GEHT ZU FUSS NACH ZELLE 25 NACH HAUSE .

Abb. 9 Ausschnitt der Simulationsergebnisse ORIENT-SIM

Stündliche Anteile in % des Tageswertes je Fahrtzweck											
Fahrtzweck \ Uhrzeit	1 - 1	2 - 1	3 - 1	1 - 2	3 - 2	5 - 3	5 - 4	3 - 3	3 - 4	4 - 3	
	1 - 3	2 - 2	3 - 2	4 - 1	4 - 2			4 - 4		4 - 5	
	1 - 4	2 - 4	5 - 1	5 - 2					1 - 5	3 - 5	
	2 - 5										
0 - 1	0,1	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-	0,3	1,3
1 - 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
2 - 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 - 4	-	-	0,3	-	0,1	-	-	-	-	-	-
4 - 5	-	-	0,6	-	0,1	-	-	-	-	-	0,1
5 - 6	0,1	-	6,1	-	0,7	0,2	0,1	0,2	-	-	0,1
6 - 7	0,8	-	22,3	1,7	3,2	1,0	0,8	1,0	0,4	-	-
7 - 8	3,7	-	38,7	75,6	16,0	2,4	3,7	1,1	1,3	0,3	-
8 - 9	5,6	-	9,3	18,2	12,6	3,1	5,6	0,6	3,0	0,6	-
9 - 10	8,1	0,1	2,7	3,1	7,8	1,7	8,1	0,5	3,4	0,6	-
10 - 11	8,8	2,5	0,7	1,2	6,2	2,7	8,8	0,7	4,7	0,7	-
11 - 12	8,8	9,8	0,8	-	4,7	1,0	8,8	1,3	5,5	1,2	-
12 - 13	7,4	30,6	1,4	-	3,0	1,7	7,4	8,5	8,8	3,0	-
13 - 14	5,9	55,1	7,2	0,1	4,9	2,6	5,9	8,3	7,2	1,4	-
14 - 15	7,0	1,6	3,9	0,1	7,1	5,8	7,0	2,8	3,9	1,5	-
15 - 16	8,1	0,3	1,8	-	7,8	7,1	8,1	4,6	4,7	1,4	-
16 - 17	9,2	-	1,2	-	9,0	4,1	9,2	32,0	9,7	4,0	-
17 - 18	8,8	-	1,1	-	9,0	13,7	8,8	15,0	15,1	8,8	-
18 - 19	6,8	-	0,2	-	3,7	14,0	6,8	12,3	16,0	14,0	-
19 - 20	4,4	-	0,6	-	2,1	20,2	4,4	5,4	7,6	12,3	-
20 - 21	2,9	-	0,3	-	1,2	13,0	2,9	1,7	3,9	11,1	-
21 - 22	1,6	-	0,7	-	0,4	3,5	1,6	1,6	2,0	11,7	-
22 - 23	1,2	-	0,1	-	0,3	1,8	1,2	1,7	1,7	16,2	-
23 - 24	0,7	-	-	-	0,1	0,3	0,7	0,7	0,8	9,5	-

1: Arbeit

2: Ausbildung

3: Einkauf

4: Privat

5: Wohnung

Abb. 10 Zeitliche Aufteilung der Fahrtzwecke

Vergleich der Datengrundlage				
Merkmal	ORIENT		4 - Stufen - Modell	
	Analyse	Prognose	Analyse	Prognose
Einwohner	X	X	X	X
Aufteilung auf Verhaltens - homogene Gruppen	X	X		
Verhaltensmuster	X			
Arbeitsplätze gesamt	X	X	X	X
Arbeitsplätze III	X	X		
Ausbildungsplätze	X	X		
Motorisierung	X	X	X	X
Matrix der Verkehrs - beziehungen im IV und ÖV aus einer Haus - haltsbefragung			X	
Matrix der Entfer - nungen	X			
Matrix der Erschließungs - klasse im ÖV	X	X		
Verkehrsmittelwahl je Gruppe , Fahrtzweck, Entfernungsklasse und Erschließungsklasse	X			
Einflussnahme der Entfernung auf die Zielwahl je Gruppe	- X			
Stundenweise Aufteilung der Fahrten je Fahrt - zweck	X			
Daten zum Verkehrs - aufkommen	X		X	

Abb. 11 Vergleich der Datengrundlage

Veränderung der Eingabeparameter					
Merkmal	51 Zellen		65 Zellen		1990
	1967	1978	1978	1990	
Einwohner gesamt	88 157	86 286	132 140	130 725	
Einwohner relevant	81 660	79 642	121 965	120 880	
Kraftfahrzeuge	19 302	30 485	46 099	61 440	
Anteil der Einwohner relevant mit Pkw - Verfügbarkeit	30 %	49 %	47 %	64 %	
Aufteilung auf die verhaltenshomogenen Gruppen	Gruppe 1	24 %	38 %	37 %	47 %
	Gruppe 2	22 %	8 %	9 %	1 %
	Gruppe 3	6 %	11 %	10 %	17 %
	Gruppe 4	34 %	26 %	26 %	25 %
	Gruppe 5	14 %	17 %	18 %	10 %
zugehörige Standardabweichung	Gruppe 1	8,9 %	8,0 %	7,3 %	4,4 %
	Gruppe 2	8,6 %	6,5 %	5,9 %	2,1 %
	Gruppe 3	4,1 %	7,9 %	7,2 %	8,5 %
	Gruppe 4	6,6 %	9,5 %	8,5 %	9,1 %
	Gruppe 5	3,4 %	4,3 %	3,9 %	2,4 %
Arbeitsplätze gesamt	65 250	65 892	83 933	85 350	
Arbeitsplätze III	20 612	23 265	25 840	27 105	
Ausbildungsplätze	19 825	19 825	24 663	24 663	

Abb. 12 Veränderung der Eingabeparameter

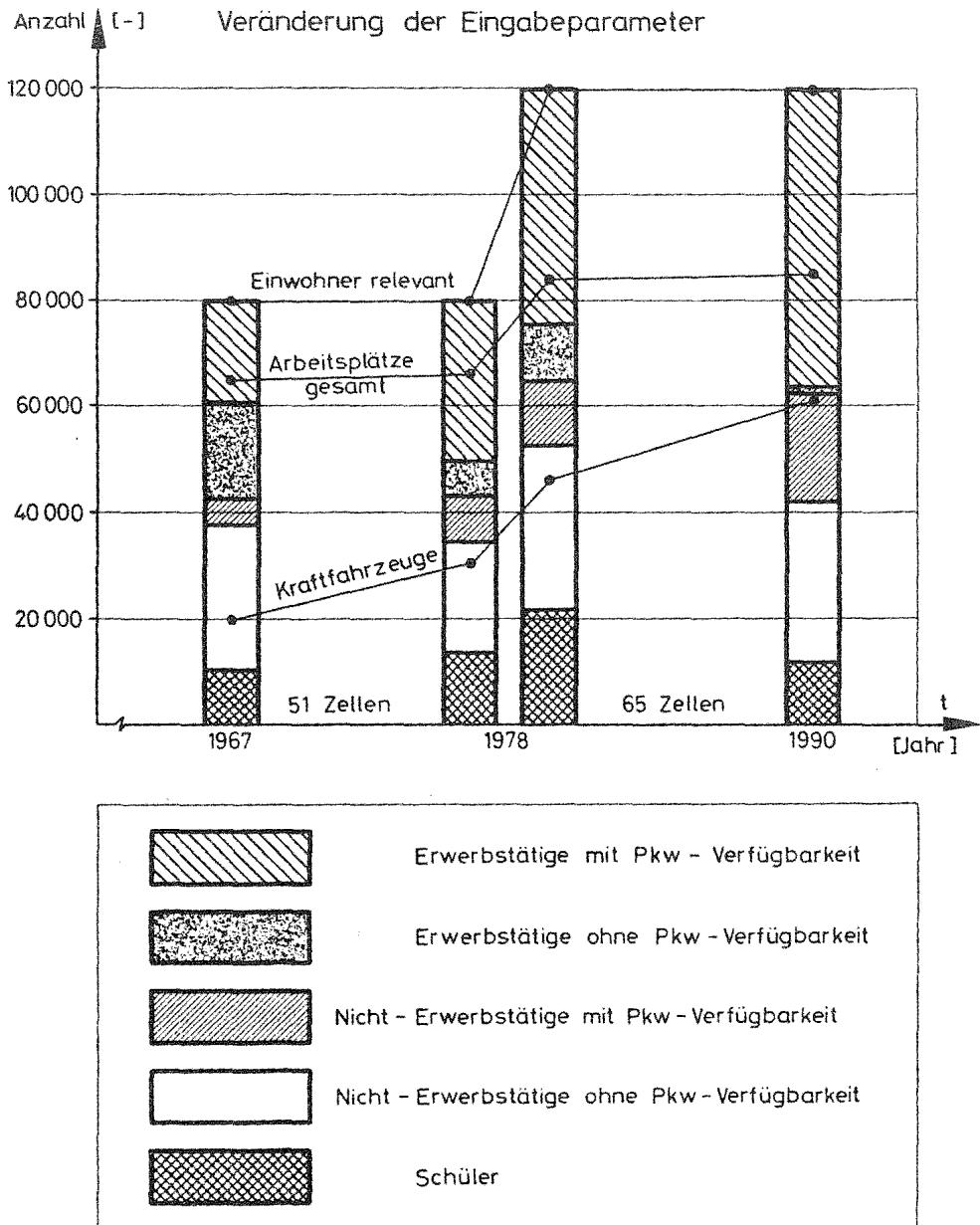


Abb. 13 Veränderung der Eingabeparameter

Verkehrsaufkommen 6-10 Uhr

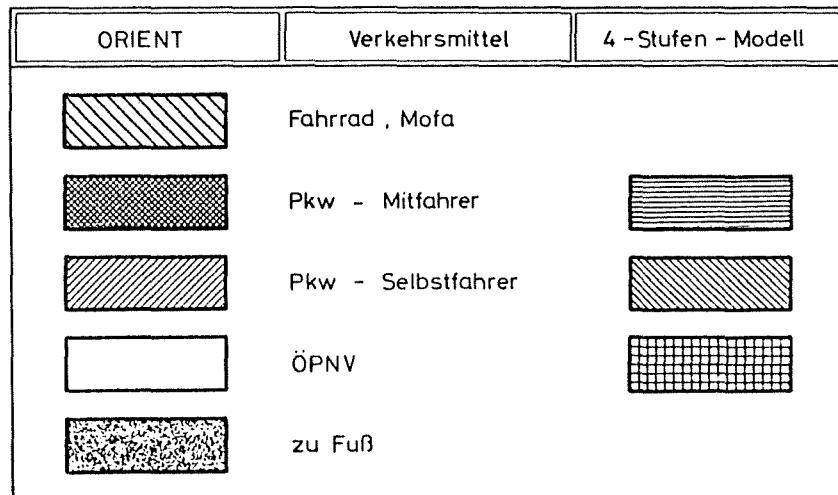
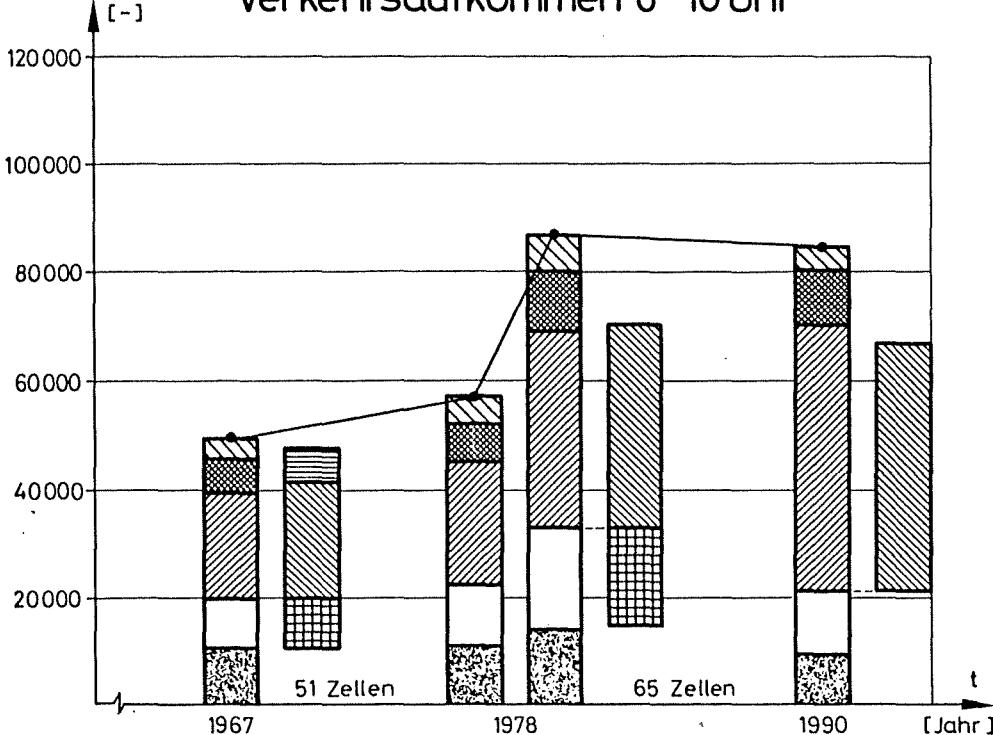


Abb. 14 Verkehrsaufkommen 6-10 Uhr

Verkehrsaufkommen 15 - 19 Uhr

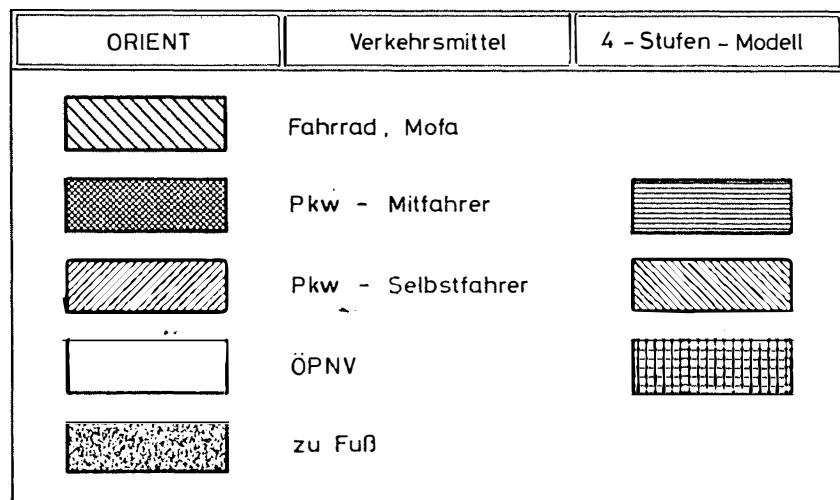
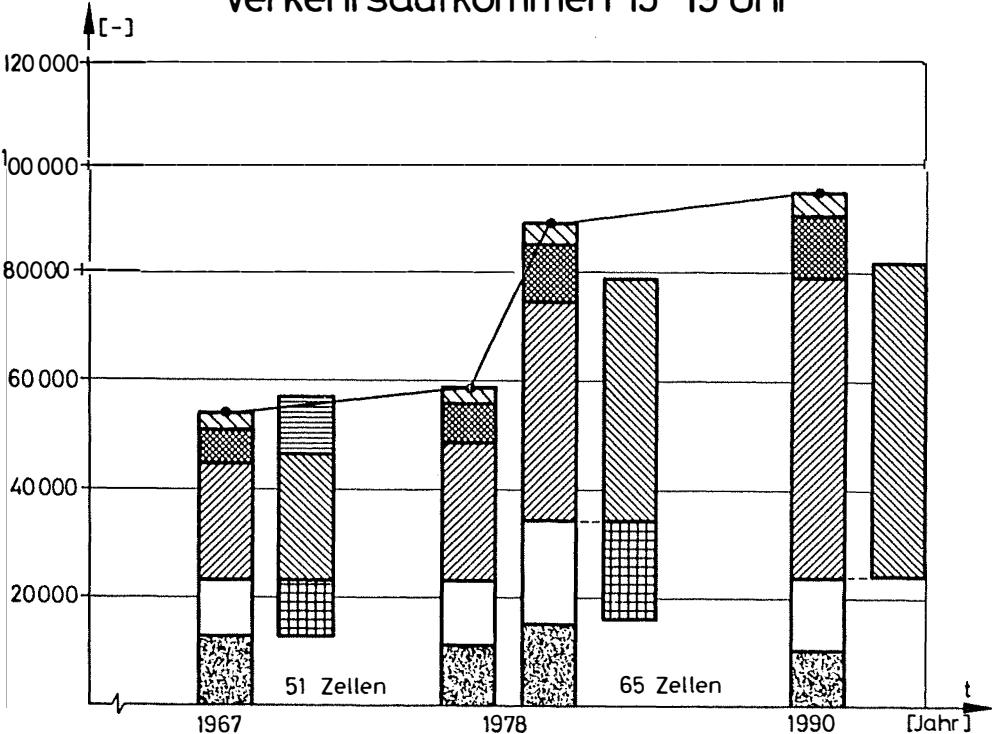
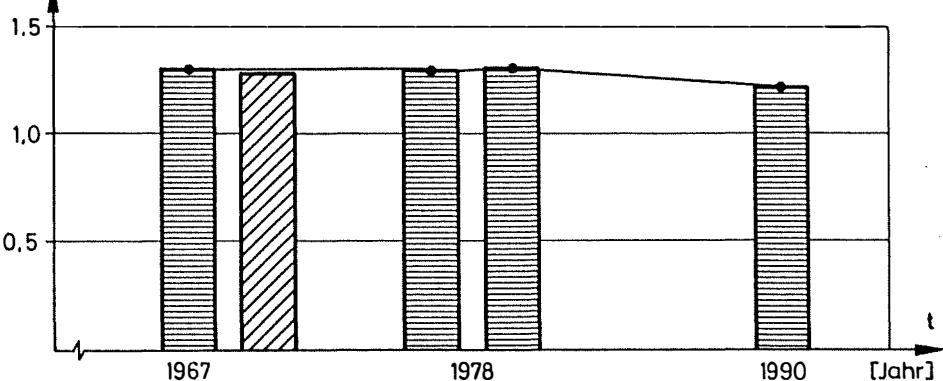


Abb. 15 Verkehrsaufkommen 15-19 Uhr

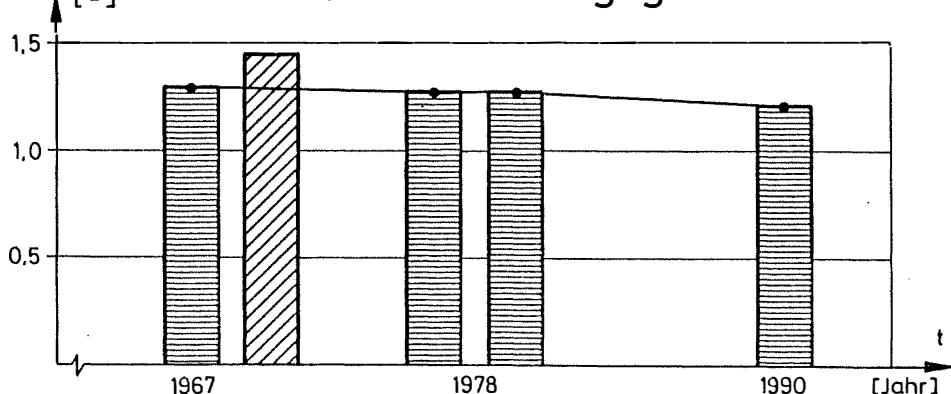
Pkw -

Besetzungsgrad [-] mittl. Pkw - Besetzungsgrad 6 - 10 Uhr



Pkw -

Besetzungsgrad [-] mittl. Pkw - Besetzungsgrad 15 - 19 Uhr



ORIENT

Merkmal

4 - Stufen - Modell



Pkw - Besetzungsgrad



Abb. 16 Mittlerer Pkw-Besetzungsgrad

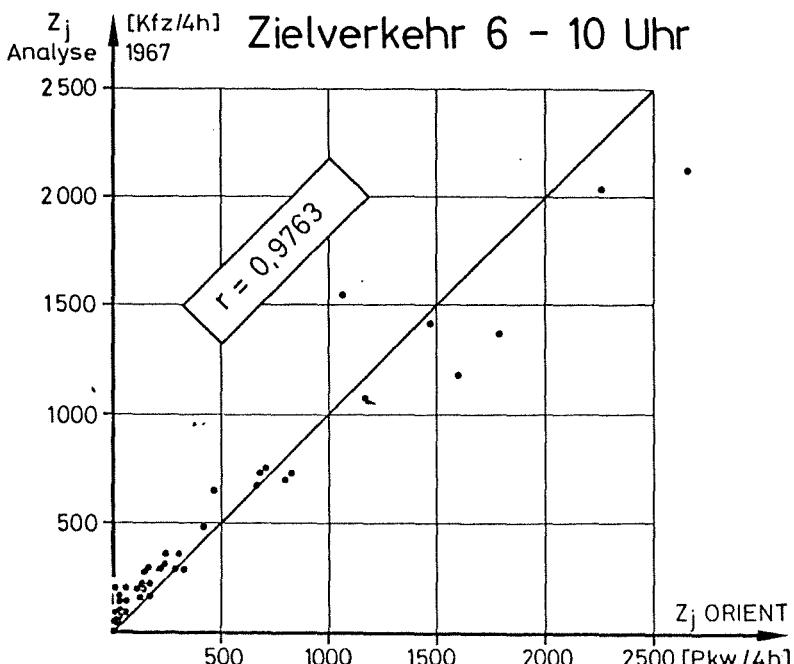
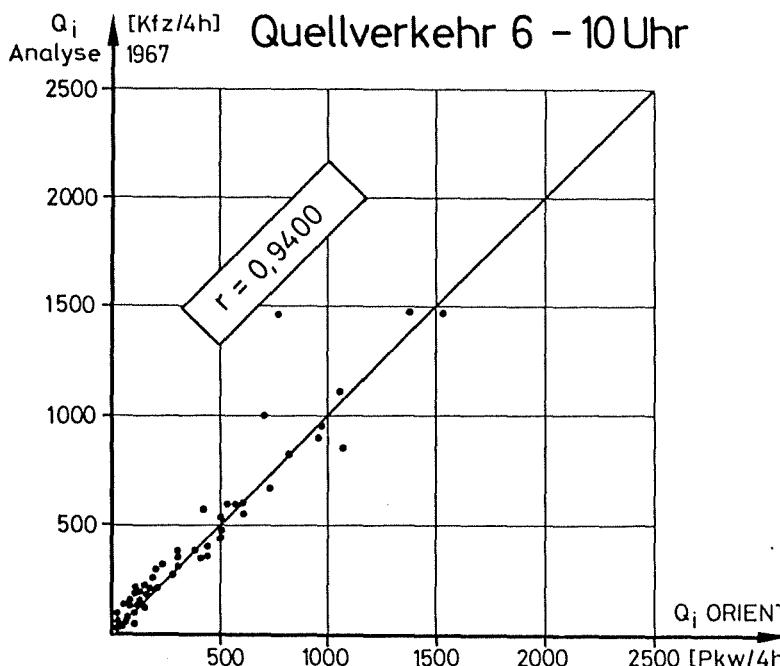


Abb. 17 Vergleich der Ergebnisse
Haushaltsbefragung - ORIENT, 6-10 Uhr

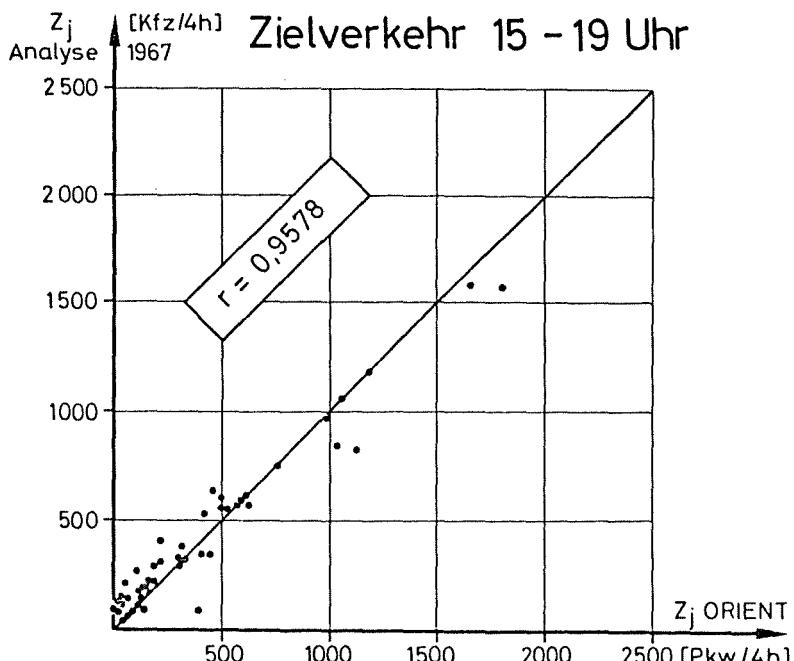
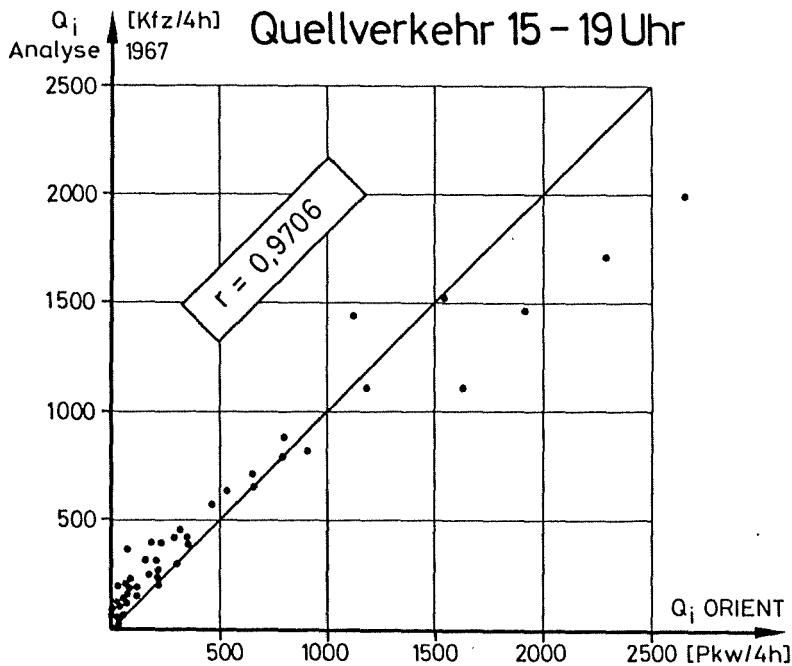
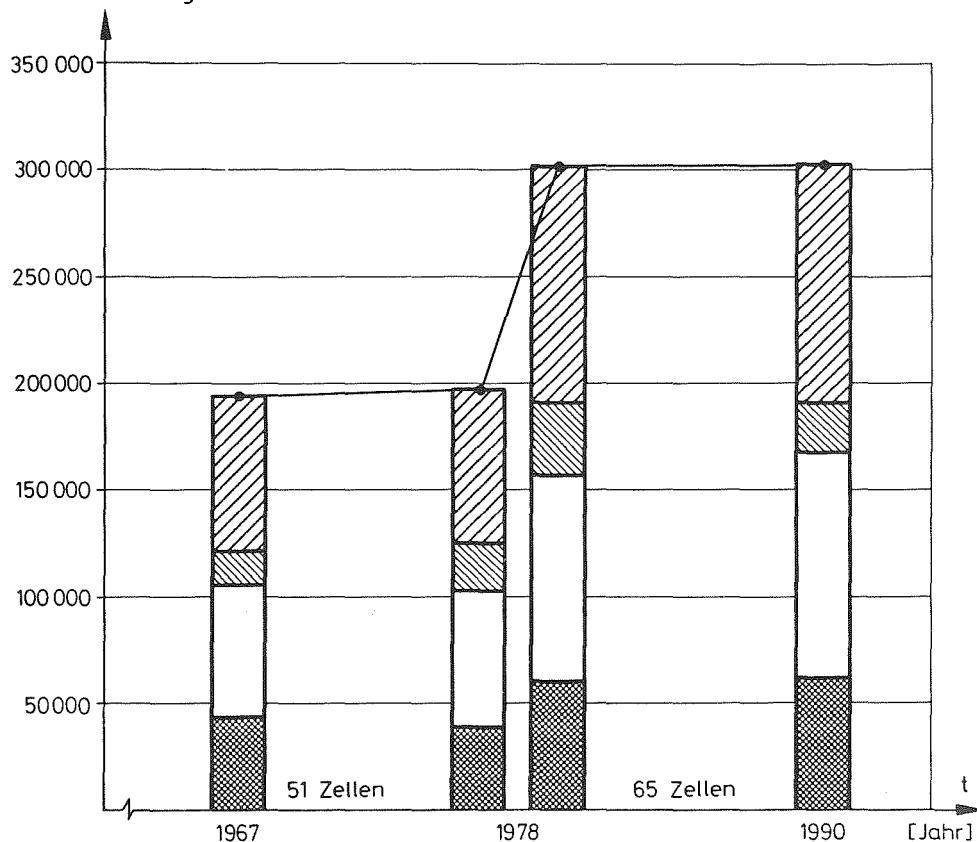


Abb. 18 Vergleich der Ergebnisse
Haushaltsbefragung - ORIENT, 15-19 Uhr

Anzahl der
Ortsveränderungen

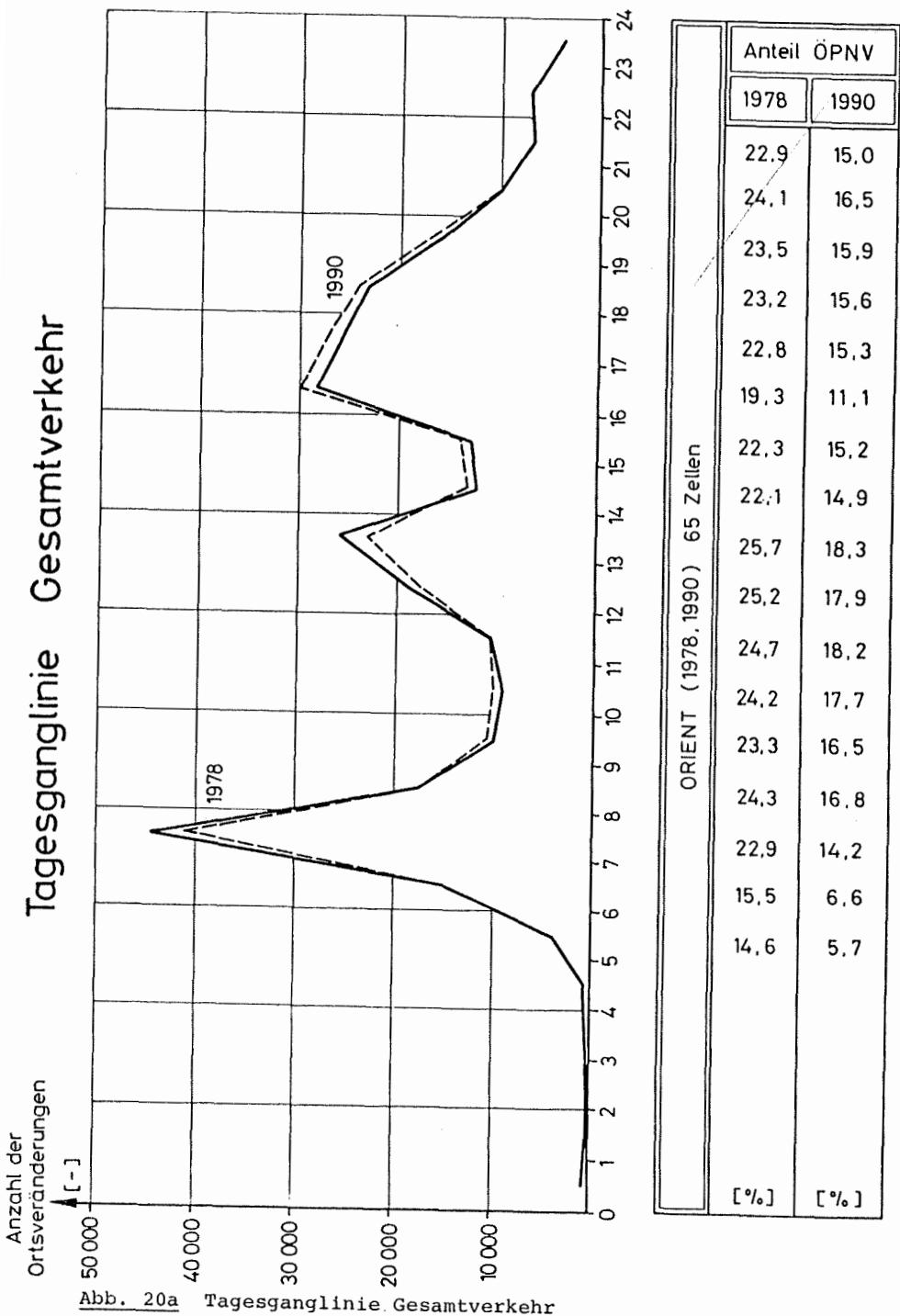
- 118 -

Verkehrsaufkommen 0 - 24 Uhr



ORIENT (1978)	Fahrtzweckklasse	KONTIV (1977)
	Arbeit	36 %
	Ausbildung	12 %
	Einkauf	27 %
	Privat	25 %

Abb. 19 Verkehrsaufkommen 0-24 Uhr



Tagesganglinie ÖPNV

Anzahl der
Ortsveränderungen
[-]

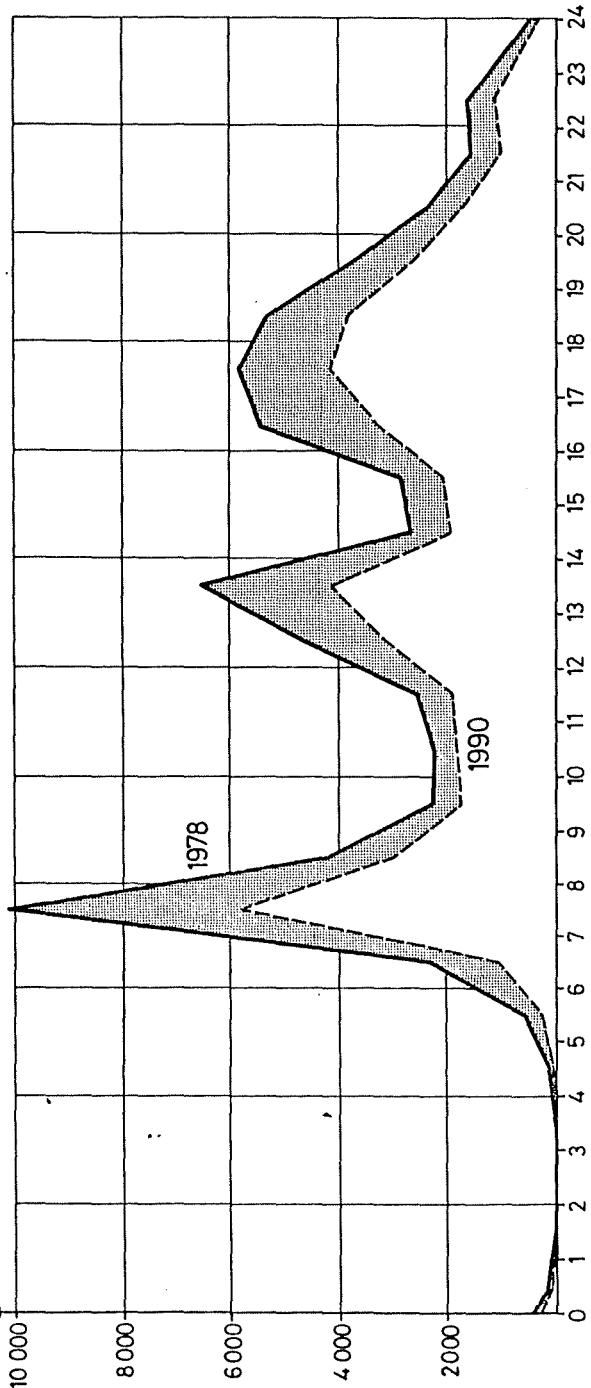
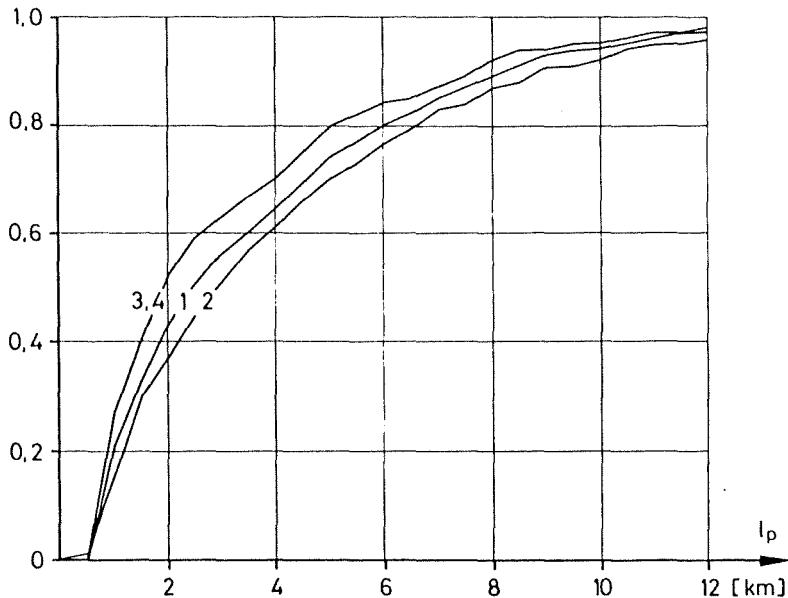


Abb. 20b Tagesganglinie ÖPNV

ORIENT (1978, 1990) 65 Zellen					
ÖPNV Fahrten	1978		1990		Δ
	1978	1990	1978	1990	
6 - 10	19 088	11 545	19 459	13 390	- 31.2%
Δ	- 39.5%	-	0 - 24	-	- 33.5%

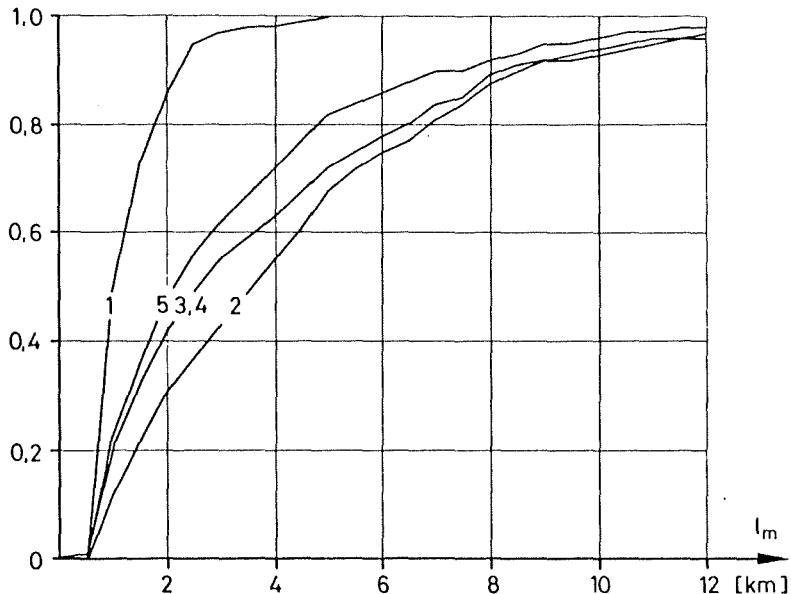
Fahrtweitenverteilungsfunktion



ORIENT (1978) 65 Zellen		
Nr.	Fahrtzweckklasse	Mittelwert
1	Arbeit	3,66 km
2	Ausbildung	4,03 km
3	Einkauf	3,20 km
4	Privat	3,21 km

Abb. 21 Fahrtweitenverteilungsfunktion für Fahrtzweckklassen

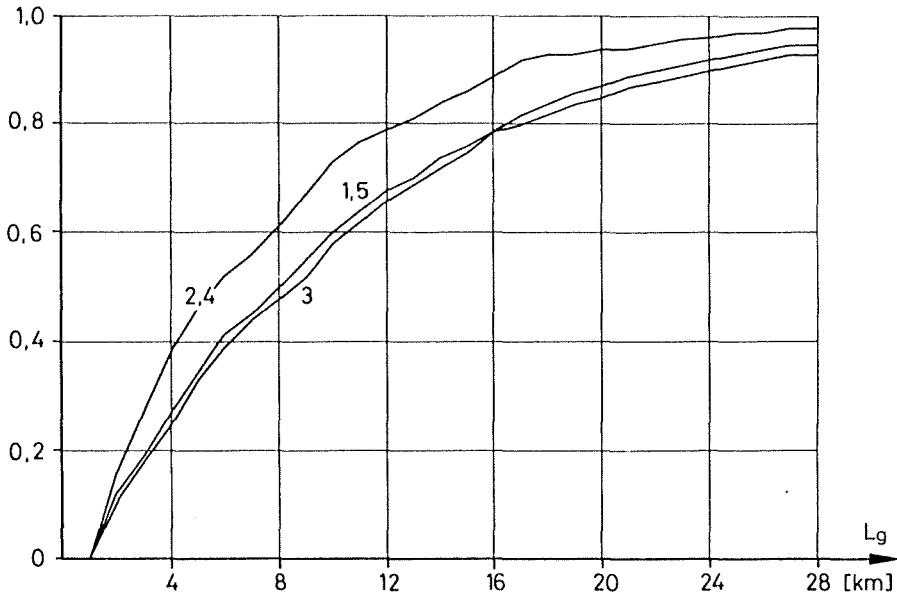
Fahrtweitenverteilungsfunktion



ORIENT (1978) 65 Zellen		
Nr.	Verkehrsmittel	Mittelwert
1	zu Fuß	1,26 km
2	ÖPNV	4,30 km
3	Pkw - Mitfahrer	3,76 km
4	Pkw - Selbstfahrer	3,89 km
5	Fahrrad, Mofa	3,17 km

Abb. 22 Fahrtweitenverteilungsfunktion für Verkehrsmittel

Gesamtfahrtweitenverteilungsfunktion



ORIENT (1978) 65 Zellen		
Nr.	verhaltenshomogene Gruppe	Mittelwert
1	Erwerbstätige mit Pkw	10,3 km
2	Erwerbstätige ohne Pkw	7,8 km
3	Nicht - Erwerbstätige mit Pkw	11,1 km
4	Nicht - Erwerbstätige ohne Pkw	8,3 km
5	Schüler	10,4 km

Abb. 23 Gesamtfahrtweitenverteilungsfunktion für verhaltens-homogene Gruppen

Verkehrsmittelwahlstatistik

verhaltenshomo- gene Gruppe	Fahrtzweck- klasse	Entfernung - klasse	Erschließungs - klasse	relative Häufigkeit N = 240			
				51 Zellen		65 Zellen	
				1967	1978	1978	1990
				[%]	[%]	[%]	[%]
1	1	0	1	2,4	2,2	1,7	1,9
1	1	0	2	0	0	1,1	1,6
1	1	1	1	9,2	11,1	7,2	7,2
1	1	1	2	5,0	4,5	3,0	3,2
1	1	1	3	1,2	1,4	1,1	1,7
1	1	2	1	1,9	2,9	1,9	2,5
1	1	2	2	2,1	3,3	3,4	4,4
1	1	2	3	1,5	1,6	1,4	2,2
1	1	3	1	1,4	0,3	1,4	2,1
1	1	3	2	0,4	0,7	4,8	7,0
1	1	3	3	0,3	0,4	1,3	2,3
1	3	1	1	1,2	3,2	2,4	2,7
1	4	1	1	1,5	1,6	1,2	1,1
2	1	1	1	3,6	3,9	2,6	0,3
2	1	2	1	1,3	1,4	1,1	0
3	3	1	1	1,7	3,2	2,1	2,8
4	3	0	1	2,7	1,4	1,3	1,2
4	3	1	1	15,7	8,9	6,3	4,4
4	3	2	1	3,9	2,8	2,1	2,1
4	3	3	1	0,3	0,2	1,8	1,9
4	4	0	1	1,6	1,2	1,1	1,1
4	4	1	1	4,3	2,5	1,7	1,2
5	2	1	1	2,6	3,2	2,1	1,0
5	2	1	2	2,0	1,8	1,1	0,6
5	2	2	2	0,8	1,4	1,4	0,8
5	2	3	2	0,1	0,3	2,3	1,5
Σ n = 26				68,7	65,4	58,9	58,8

Abb. 24 Verkehrsmittelwahlstatistik

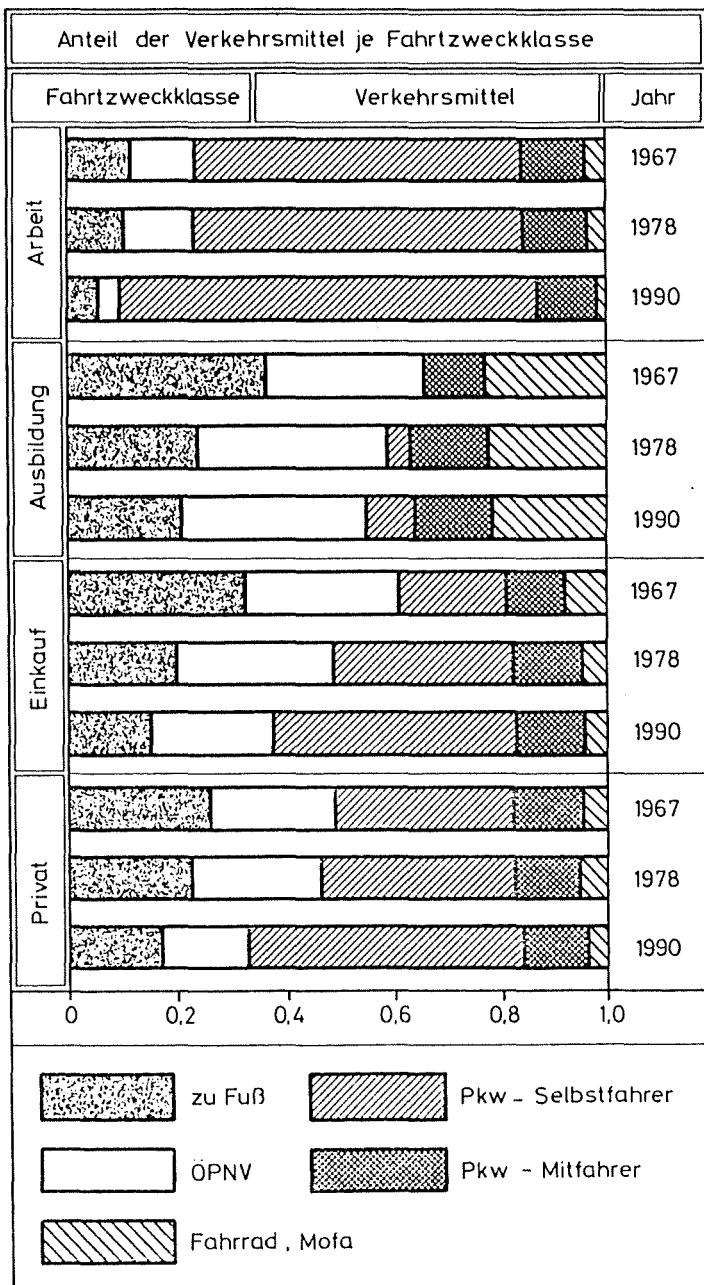


Abb. 25 Anteil der Verkehrsmittel je Fahrtzweckklasse

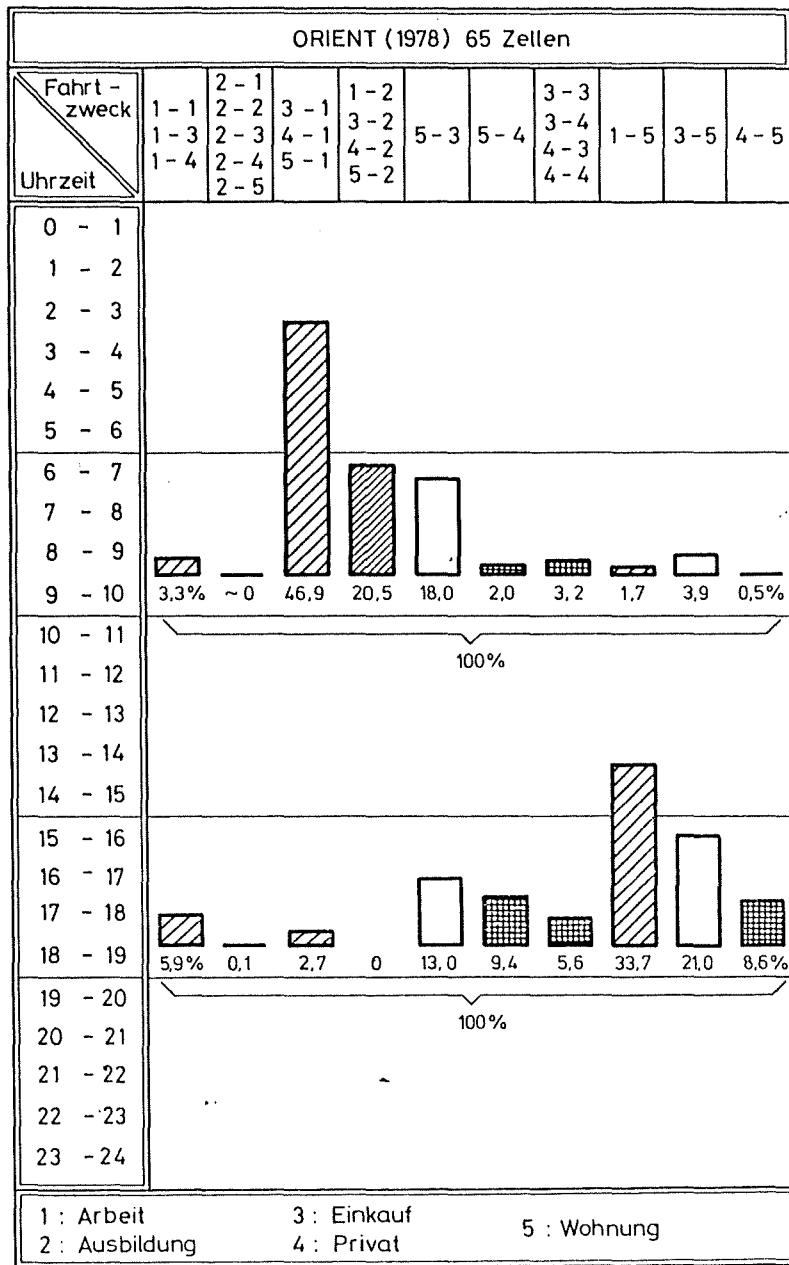


Abb. 26 Anteil der Fahrtzwecke 6-10 Uhr und 15-19 Uhr

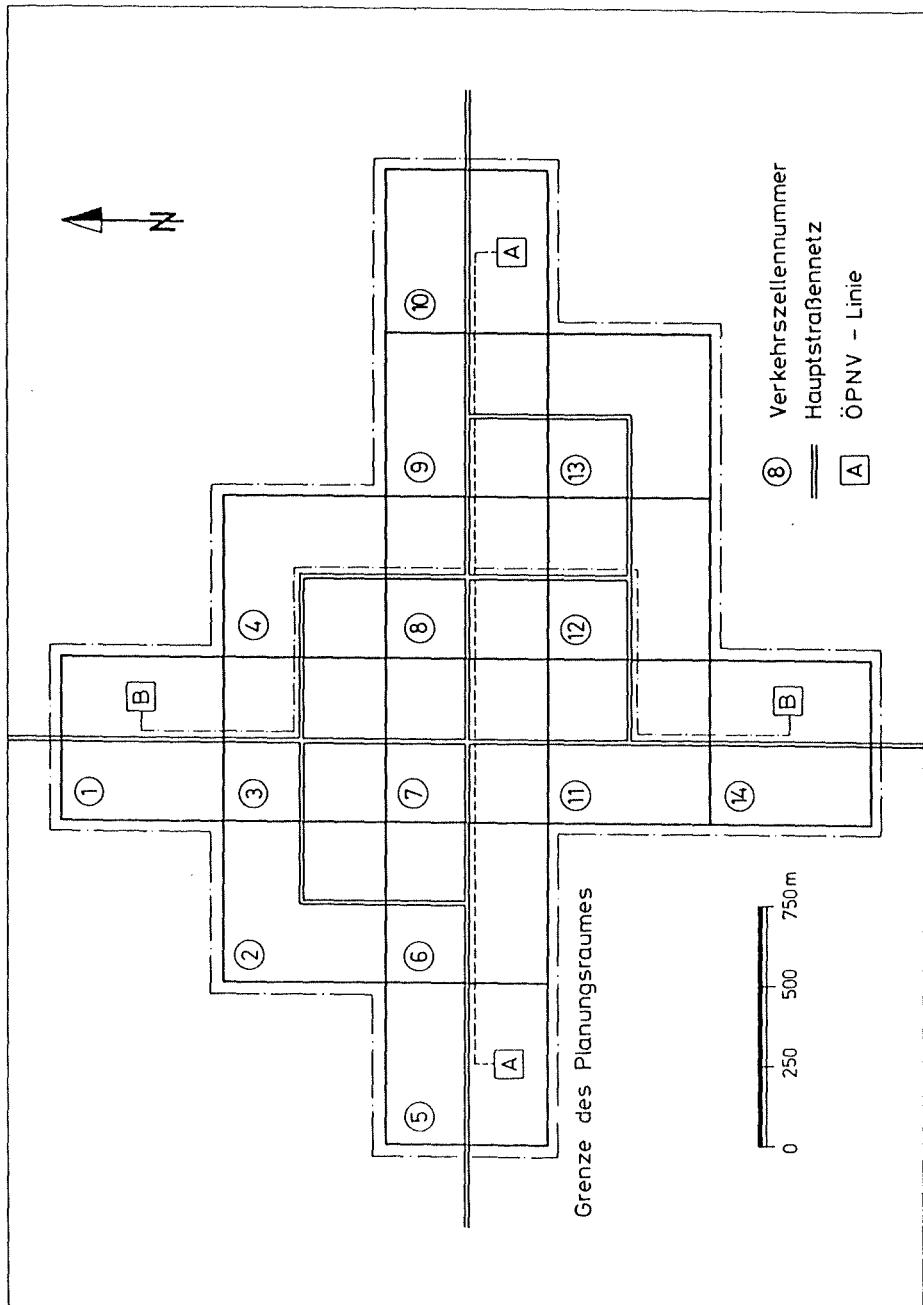


Abb. 27 Lageplan des fiktiven Planungsraumes

Merkmale	Eingabeparameter 0 - Fall												Σ oder Mittelwert	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
E gesamt	3500	700	600	4000	300	3000	2700	1000	800	400	300	700	200	1800
E relevant	3196	646	554	3692	286	2746	2471	933	738	377	277	660	187	1697
Pkw	919	208	180	1222	178	998	899	368	258	157	103	210	84	516
A gesamt	180	55	20	1800	2000	800	1400	5000	80	100	20	145	700	200
A III	50	35	10	500	100	80	340	2300	30	40	10	65	350	90
Ausb. plätze	0	0	1000	0	0	0	1000	0	0	1200	0	0	0	500
Pers. mit Pkw	1236	284	246	1671	255	1376	1239	512	354	219	143	287	119	701
Anteil der E rel. mit Pkw [%]	39	44	44	45	89	50	50	55	48	58	52	43	64	41
Gruppe 1 [%]	31	36	35	36	66	40	40	44	38	46	41	35	49	33
2 [%]	13	7	11	10	0	11	2	5	8	0	3	8	0	12
3 [%]	8	8	9	9	23	10	10	11	10	12	11	8	15	8
4 [%]	21	29	26	29	3	24	35	24	25	27	34	29	20	28
Gruppe 5 [%]	27	20	19	16	8	15	13	16	19	15	11	20	16	19

Abb. 28 Eingabeparameter "0-Fall"

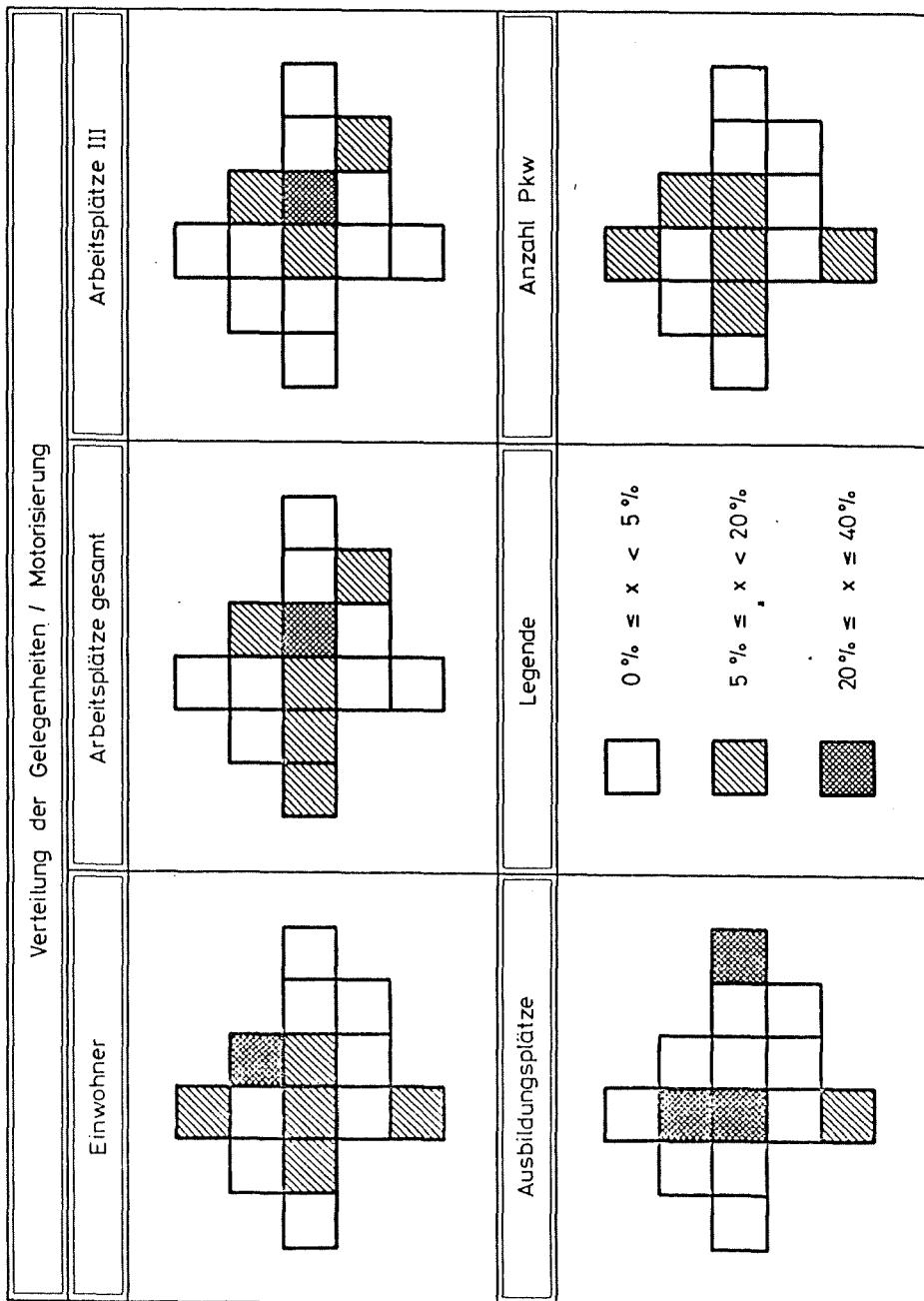


Abb. 29 Verteilung der Gelegenheiten und Motorisierung

		Sensitivitätsanalyse						ORIENT 14 Zellen					
Nr.	Δ Merkmal	Standardabweichung in [%]						[Fahrten / 4 h]					
		Verkehrsaufkommen in [%]			Standardabweichung			15 - 19			15 - 19		
		0 - 24	6 - 10	15 - 19	0 - 24	6 - 10	15 - 19	ÖV	IV	ÖV	IV	ÖV	IV
1	0 - Fall	50 %	45 966	1981	4860	1910	5358	0	0	0	0	0	0
1	0 - Fall	1 %	+	7	- 43	+	14	- 49	+	4	86	305	167
2	0 - Fall	7 %	•	•	+	8	•	•	+	5	30	65	57
3	0 - Fall	20 %	•	- 8	•	- 8	- 5	31	29	29	26	28	29
4	0 - Fall	50 %	•	•	•	•	•	24	19	29	26	7	18
5	verh. Gruppe	•	•	•	•	•	•	38	41	21	19	17	16
6	E relevant	•	+	4	•	+	7	•	33	64	37	46	32
7	A gesamt	•	•	•	•	•	•	16	19	20	52	16	48
8	A III	•	•	•	•	•	•	22	30	30	42	20	42
9	Ausb. plätze	•	•	•	•	•	•	19	31	28	45	11	42
10	Nr. 5 + 6 + 7 + 8 + 9	•	•	•	•	•	•	44	44	34	33	13	37
11	Entfernung	•	•	•	•	- 10	- 4	15	26	11	53	30	51

Abb. 30a Ergebnis der Sensitivitätsanalyse

		Sensitivitätsanalyse			ORIENT 14 Zellen			Standardabweichung			[Fahrten / 4 h]			Beteiligung		
Nr.	Δ Merkmal	Δ Verkehrsaufkommen in [%]			6 - 10			6 - 19			15 - 19					
		0 - 24		6 - 10	15 - 19	ÖV		IV	ÖV	IV	ÖV	IV	ÖV			
		$\Sigma Q_i = \Sigma Z_j$			Q _i			Z _j			Q _i					
►	0 - Fall	50 %	45 966	1981	4860	1910	5358	0			0					
12	Entf. Klasse		•	- 9	•	- 9	•	22	16	26	26	29	14	18	23	III
13	Erschl. Klasse		•	•	•	•	•	17	31	35	62	47	58	24	38	1
14	Widerstand		•	•	+ 5	+ 9	+ 5	23	36	42	42	32	46	30	43	1
15	Verh. muster ET		•	•	•	•	•	15	31	20	38	15	36	14	37	II
16	Verh. muster NET		•	+ 5	+ 5	+ 6	+ 6	20	38	26	36	21	42	19	47	1
17	Verh. muster SCH		•	•	+ 4	•	+ 4	17	42	25	46	16	42	13	44	1
18	Nr. 15 + 16 + 17		•	+ 6	+ 4	+ 5	+ 4	20	35	33	37	17	35	19	42	II
19	Mittel ohne Entf.		•	+ 39	+ 7	+ 38	+ 7	84	50	90	52	87	50	92	54	1
20	Mittel ohne Erschl.		•	+ 10	+ 7	- 10	+ 7	33	45	52	42	23	53	20	50	1
21	Zeit Gleichwert.		•	- 30	- 30	- 28	- 36	107	197	122	299	120	310	60	194	1
22	7 - 11 / 16 - 20		•	•	- 10	+ 4	+ 6	26	75	16	76	18	43	24	50	1

Abb. 30b Ergebnis der Sensitivitätsanalyse

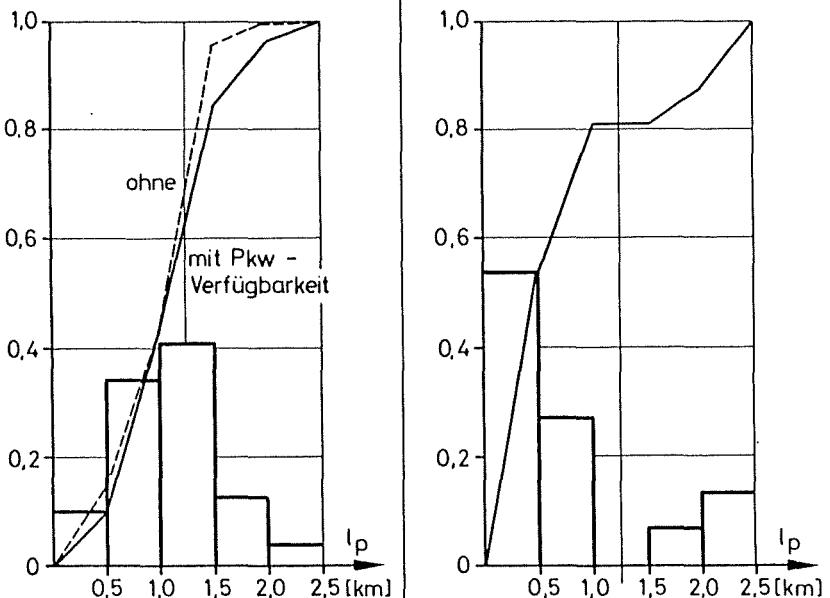
Merkmale	Eingabeparameter 10 % Fehler														Σ oder Mittelwert
	Verkehrszelle														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
E gesamt	3150	770	540	4400	330	2700	3000	1100	700	350	350	800	250	1560	20 000
E relevant	2900	700	500	4100	300	2500	2800	1000	600	300	300	700	200	1400	18 300
Pkw	994	240	172	1404	103	876	958	343	207	103	103	241	70	481	6295
A gesamt	160	50	30	1600	2200	700	1250	5500	90	90	20	130	800	180	12 800
A III	55	30	15	550	90	70	400	2100	35	35	10	60	450	100	4 000
Ausb.pätze	0	0	900	0	0	0	900	0	0	1050	0	400	0	450	3 700
Pers. mit Pkw	1363	329	235	1927	141	1175	1316	470	282	141	141	329	94	658	8 601
Anteil der E rel. mit Pkw [%]														47	
Gruppe 1 [%]															37
2 [%]															9
3 [%]															10
4 [%]															26
Gruppe 5 [%]															18

Abb. 31 Eingabeparameter "10 % Fehler"

Zielwahlwahrscheinlichkeiten von Verkehrszelle 1

Arbeit

Ausbildung



Einkauf

Privat

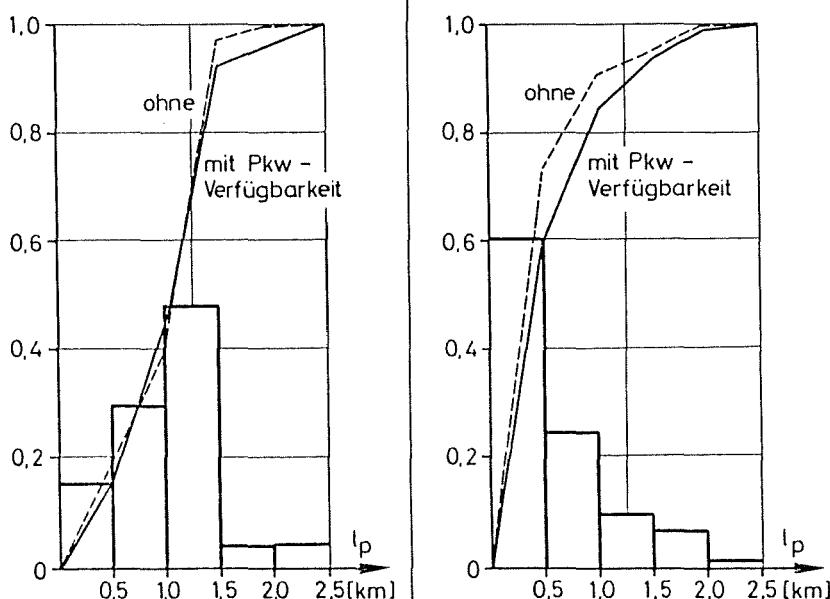
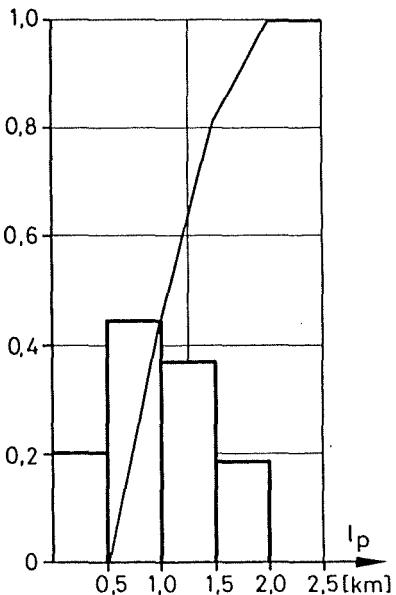
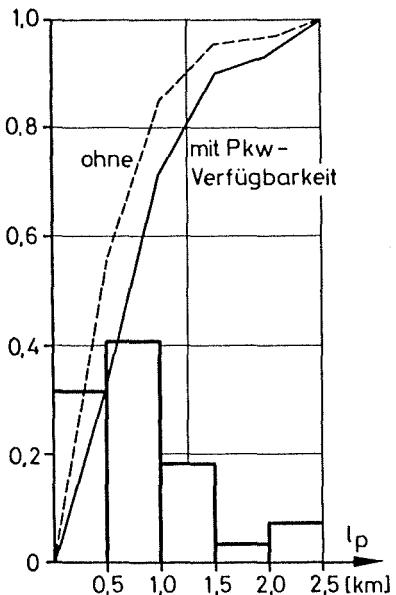


Abb. 32 Zielwahlwahrscheinlichkeiten von Verkehrszelle 1

Zielwahlwahrscheinlichkeiten von Verkehrszelle 13

Arbeit

Ausbildung



Einkauf

Privat

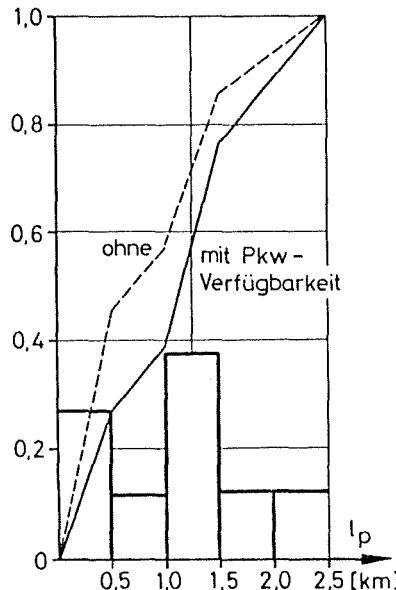
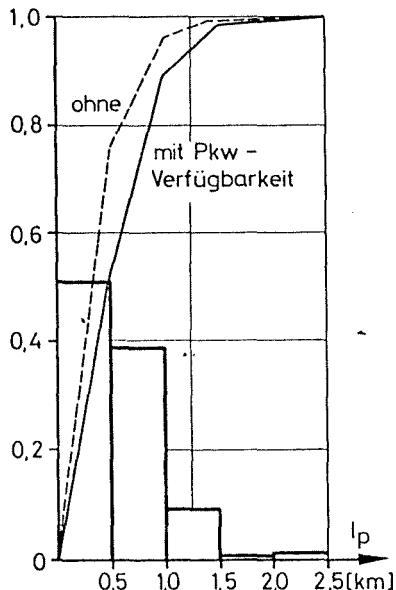


Abb. 33 Zielwahlwahrscheinlichkeiten von Verkehrszelle 13

Optimierung ÖPNV – ORIENT 14 Zellen

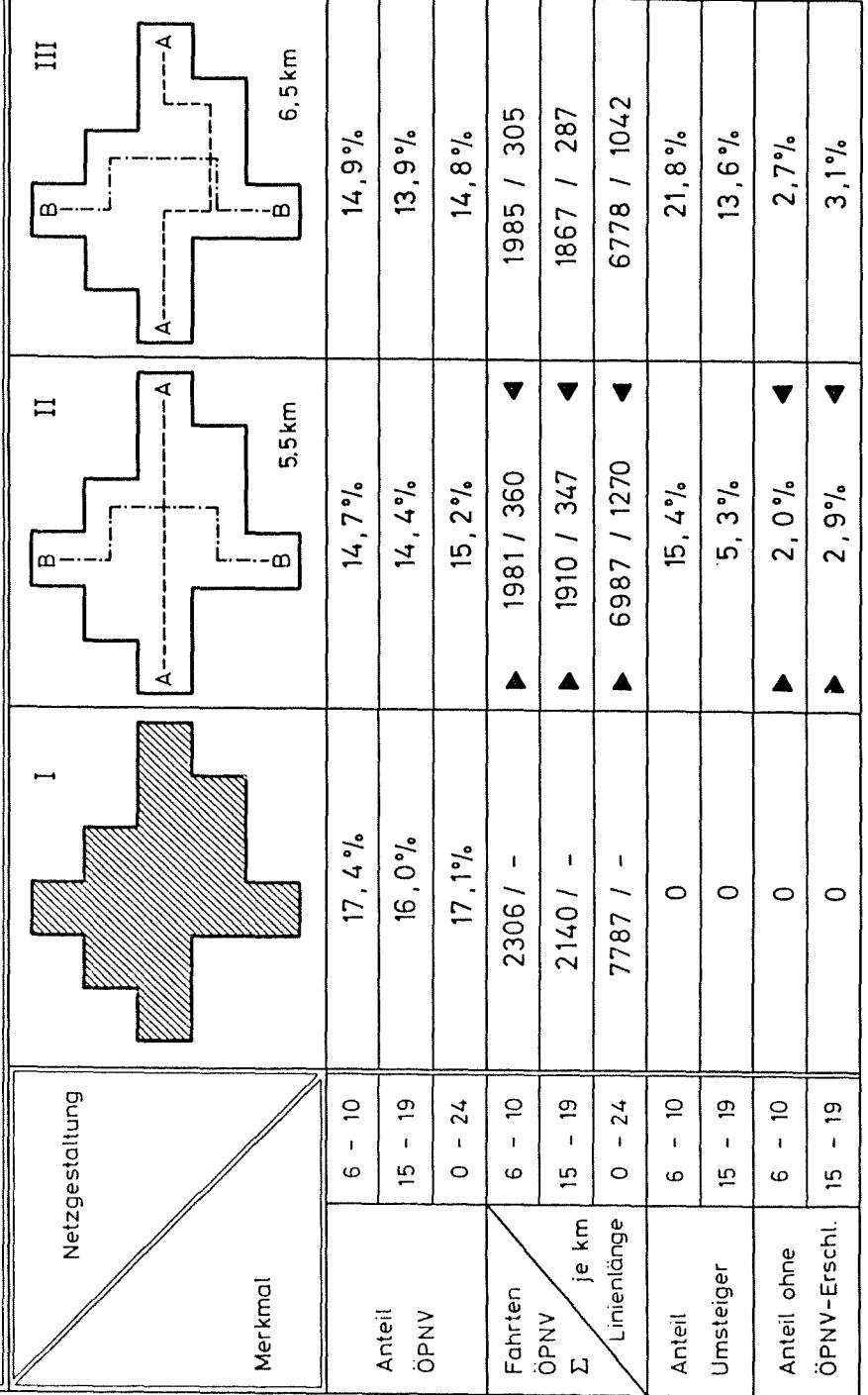


Abb. 34 Optimierung von ÖPNV-Netzen

Optimierung ÖPNV – ORIENT 14 Zellen

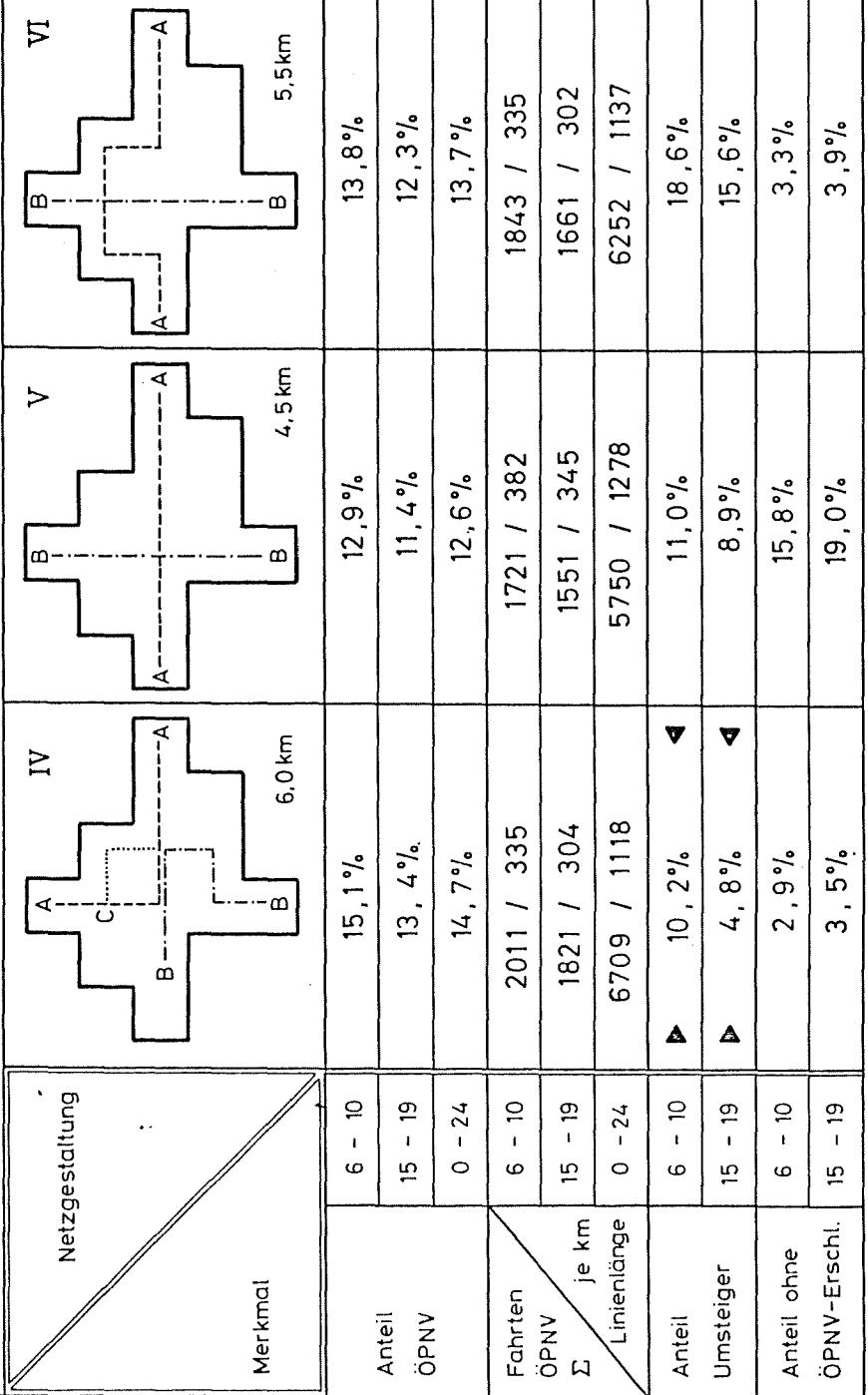


Abb. 35 Optimierung von ÖPNV-Netzen

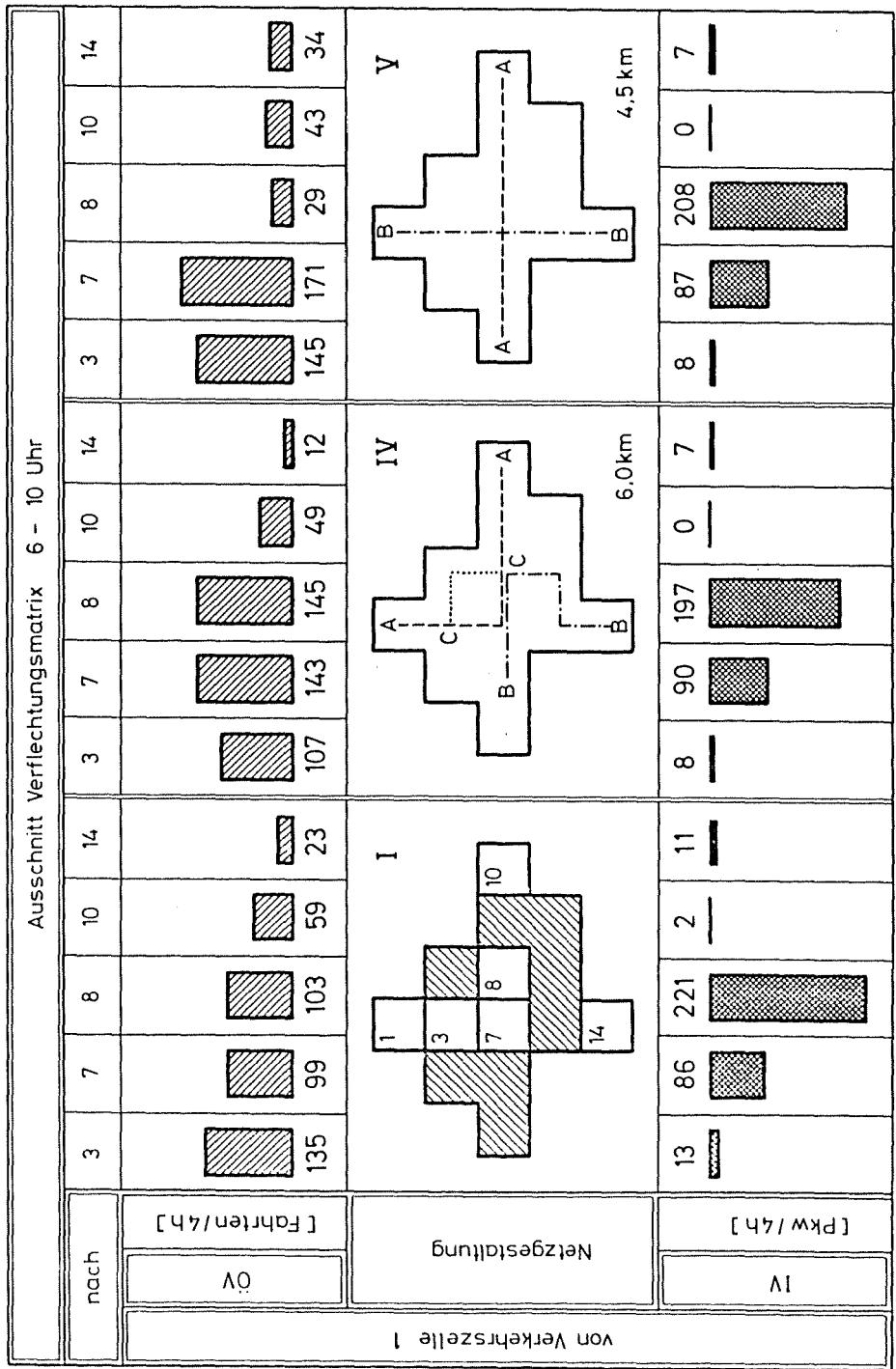


Abb. 36 Ausschnitt Verflechtungsmatrix von Verkehrszelle 1

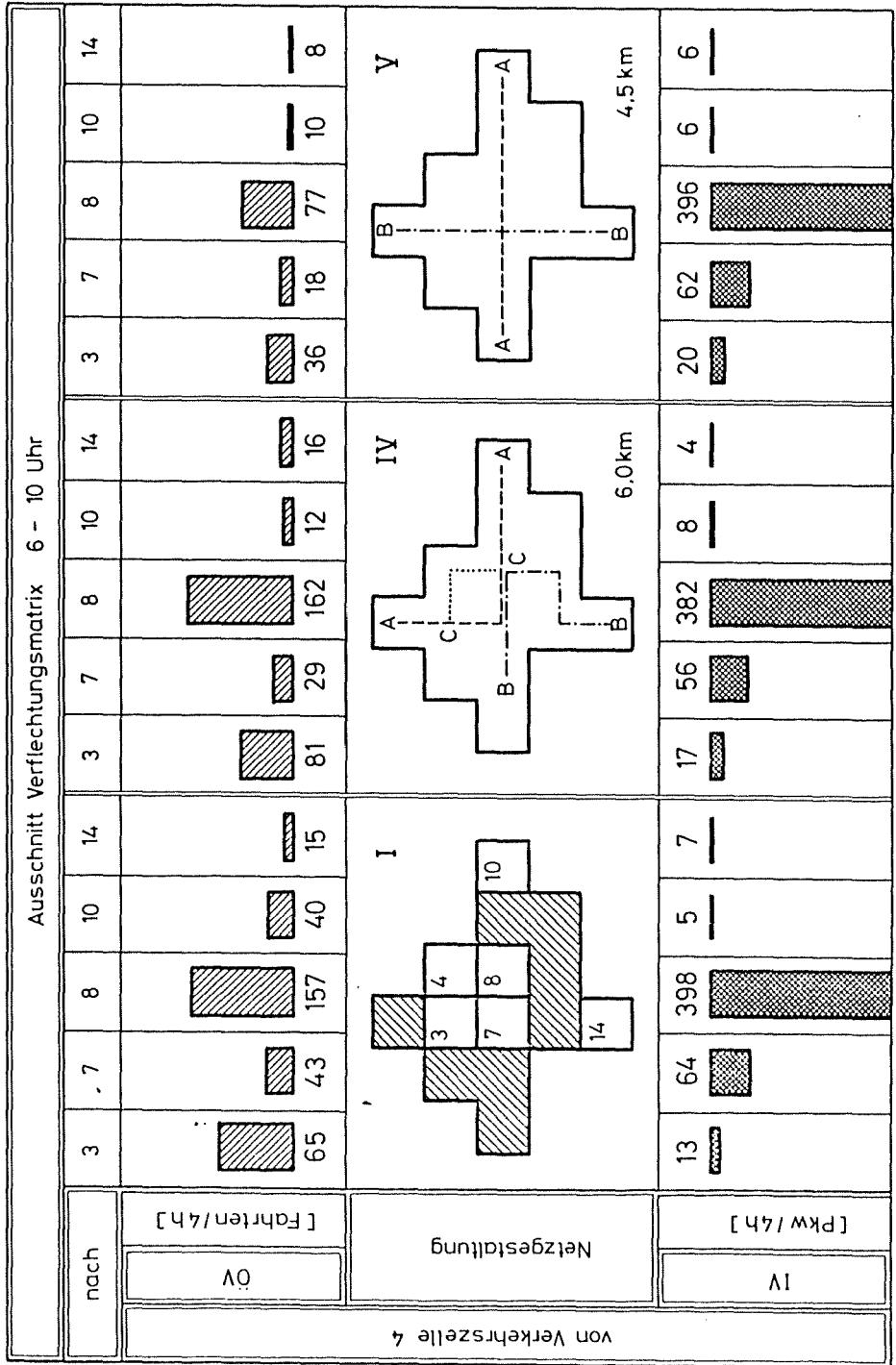


Abb. 37 Ausschnitt Verflechtungsmatrix von Verkehrszelle 4

Stündliche Anteile in % des Tageswertes je Fahrtzweck					
Fahrt - zweck	3 - 1 5 - 1	4 - 1 5 - 3	3 - 3 4 - 3	3 - 4 4 - 4	1 - 5
Uhrzeit	Ladenschluß 21 Uhr				
0 - 1	-	-	0,1	-	0,3
1 - 2	-	-	-	-	-
2 - 3	-	-	-	-	-
3 - 4	0,3	0,1	-	-	-
4 - 5	0,6	0,1	-	-	-
5 - 6	6,1	0,7	0,1	0,2	-
6 - 7	22,3	2,9	0,7	1,0	0,4
7 - 8	34,8	14,4	3,3	1,1	1,2
8 - 9	8,4	11,3	5,0	0,6	2,7
9 - 10	5,7	7,0	7,3	0,5	3,1
10 - 11	2,5	5,6	7,9	0,7	4,2
11 - 12	0,8	4,2	7,9	1,3	5,0
12 - 13	1,4	2,7	6,7	8,5	7,9
13 - 14	7,2	4,4	5,3	8,3	6,5
14 - 15	3,9	6,4	6,3	2,8	3,5
15 - 16	1,8	7,0	7,3	4,6	4,2
16 - 17	1,2	8,1	8,3	32,0	8,7
17 - 18	1,1	8,1	8,0	15,0	13,6
18 - 19	0,2	9,0	9,2	6,3	14,4
19 - 20	0,6	4,3	8,8	5,4	11,0
20 - 21	0,3	2,9	3,9	3,7	6,8
21 - 22	0,7	0,4	2,0	5,6	4,0
22 - 23	0,1	0,3	1,2	1,7	1,7
23 - 24	-	0,1	0,7	0,7	0,8
1 : Arbeit 2 : Ausbildung	3 : Einkauf 4 : Privat		5 : Wohnung		

Abb. 38 Zeitliche Aufteilung der Fahrtzwecke bei Ladenschluß 21 Uhr

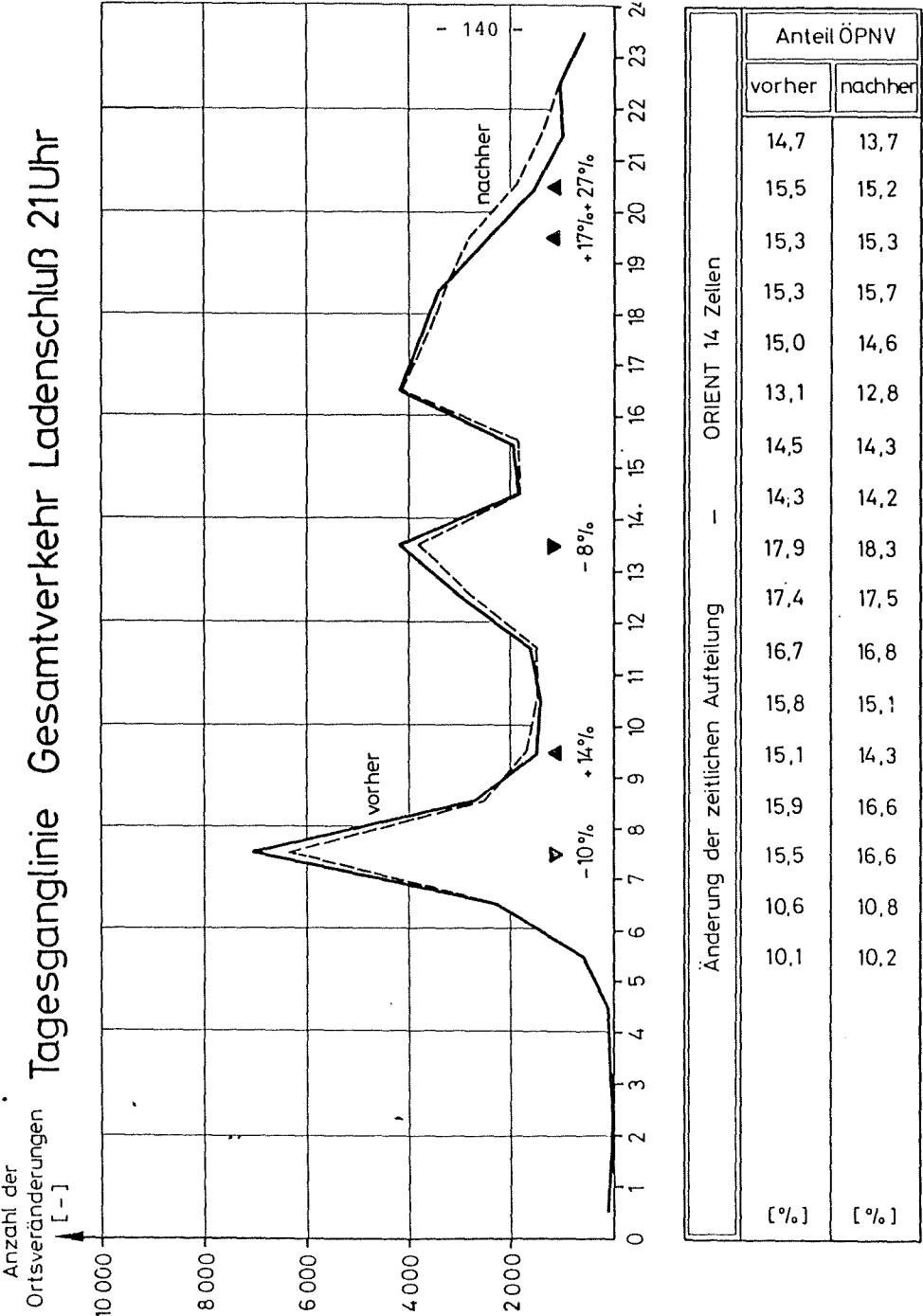


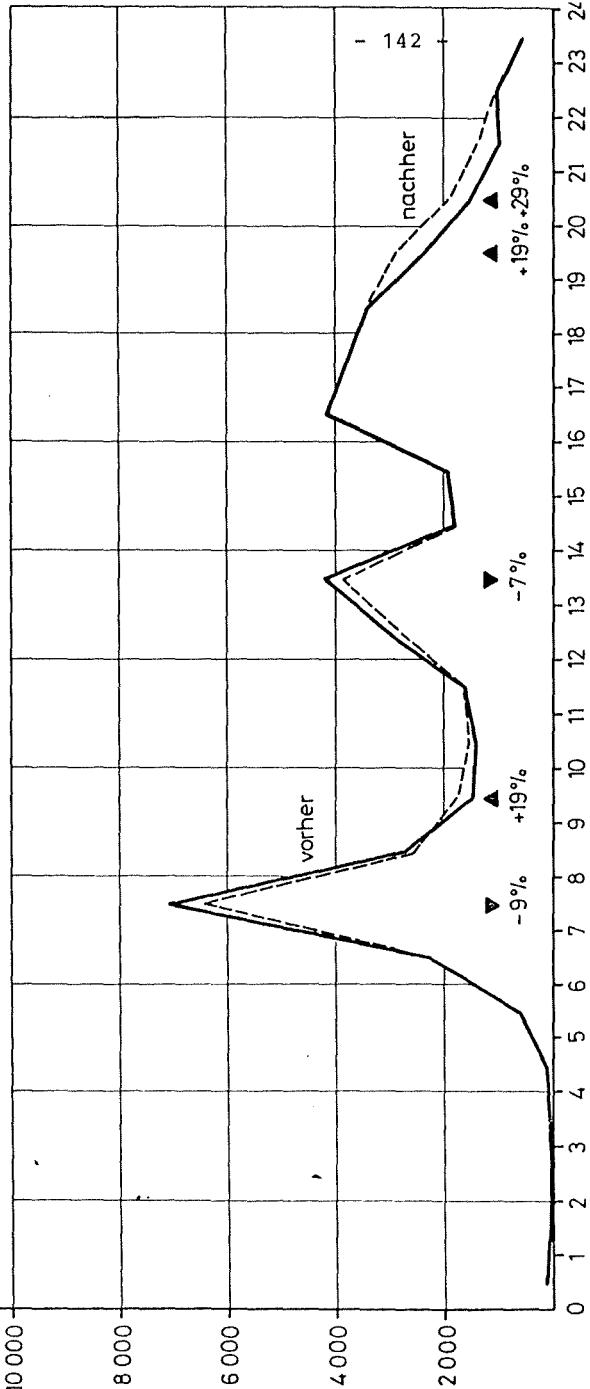
Abb. 39 Tagesganglinie Gesamtverkehr bei Ladenschluß 21 Uhr; ausschließlich Änderung der zeitlichen Aufteilung

Aktivitäten		
Schlüssel Nr.	Bedeutung	Struktur - merkmal
0	keine Fahrt	-
1	→ Arbeit	Arbeitsplätze
2	→ Ausbildung	Ausb. plätze
3	→ Einkauf	Arbeitsplätze III
4	→ Privat	Einwohner
5	→ Wohnung	-

Verhaltensmuster			
Nr.	Fahrtenfolge	Anteil	
		① ET mit Pkw	② ET ohne Pkw
1	0	6 %	10 %
2	5 - 1 - 5	► 40	► 54
3	5 - 1 - 5 - 4 - 5	► 6	► 3
4	5 - 1 - 5 - 3 - 5	► 8	► 6
5	5 - 1 - 3 - 4 - 5	► 4	► 5
6	5 - 1 - 1 - 1 - 5	7	2
7	5 - 3 - 5	3	3
8	5 - 4 - 5	3	2
9	5 - 1 - 3 - 5	► 5	► 4
10	5 - 1 - 5 - 1 - 5	4	3
11	5 - 1 - 4 - 5	2	0
12	5 - 1 - 3 - 3 - 5	► 6	► 2
13	5 - 1 - 3 - 4 - 1 - 5	4	2
14	5 - 2 - 5	2	2
15	5 - 1 - 4 - 4 - 5	0 %	2 %
Ø Anzahl der Fahrten pro Person und Tag		alle Personen	► 2,77
		mobile Personen	► 2,95
			► 2,62

Abb. 40 Verhaltensmuster der Erwerbstätigen bei Laden-
schluß 21 Uhr

Anzahl der Ortsveränderungen Tagesganglinie Gesamtverkehr Ladenschluß 21Uhr



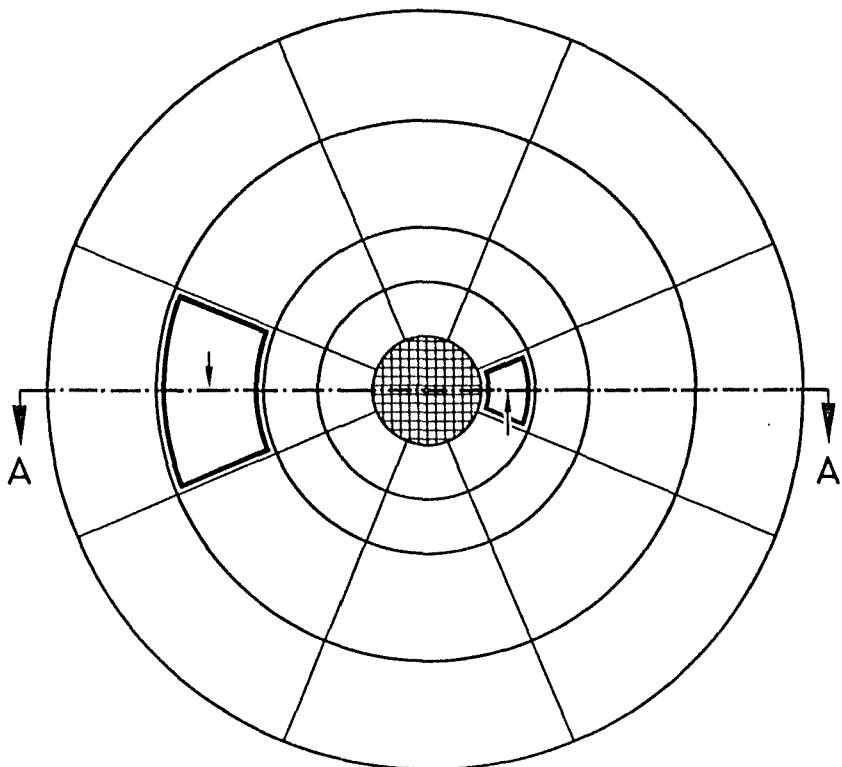
Änderung der Verhaltensmuster und zeitlichen Aufteilung	- ORIENT 14 Zellen	Anteil ÖPNV	
		vorher	nachher
		14,7	13,9
		15,5	15,1
		15,3	15,0
		15,3	15,6
		15,0	14,5
		13,1	12,8
		14,5	14,2
		14,3	14,0
		17,9	17,9
		17,4	17,1
		16,7	16,0
		15,8	14,7
		15,1	14,3
		15,9	16,7
		15,5	16,7
		10,6	10,8
		10,1	10,3
[%]	[%]		

Abb. 41

Tagesganglinie Gesamtverkehr bei Ladenschluß 21 Uhr; Änderung der zeitlichen Aufteilung und der Verhaltensmuster

Parkrestriktion

- ORIENT



$\Delta A_{III} = f \text{ (Lage im Planungsraum)}$

schematisch

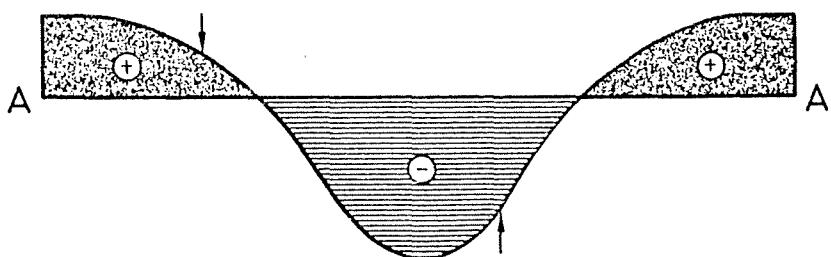


Abb. 42 Prinzipskizze zur Berücksichtigung der Parkrestriktion
in Abhängigkeit von der Lage im Planungsraum

Parkrestriktion ORIENT - Δ Modal Split								
verhaltenshomo- gene Gruppe	Fahrtzweck - Klasse	Entferungs - Klasse	Erschließungs - Klasse	Verkehrsmittel				
				zu Fuß	ÖV	Pkw - Mittfahrer	IV	Fahrad Mofa
1,3 (mit Pkw - Verfügbarkeit)	1 (Arbeit)	0	1	20	4	10	63	3
		0	2	19	0	10	68	3
		0	3	19	0	10	68	3
		1	1	7	10	12	68	3
		1	2	7	6	12	72	3
		1	3	7	0	12	78	3
		2	1	1	8	12	78	1
		2	2	1	4	12	82	1
		2	3	1	0	12	86	1

Δ Modal Split - Gesamtverkehr				
Uhrzeit	Δ Modal Split Δ A III Verkehrsmittel	nein	ja	
		0 - Fall	0	± 20%
6 - 10	ÖV	15,2%	16,6%	16,5%
		38,0%	36,7%	36,7%
15 - 19	.. ÖV	14,2%	15,3%	15,2%
		41,1%	40,0%	40,0%
0 - 24	ÖV	15,2 %	16,2 %	16,2 %
		37,4 %	36,3 %	36,4 %

Abb. 43 Veränderung der Verkehrsmittelwahl infolge der Parkrestriktion

Parkrestriktion		ORIENT		14 Zellen		-		Zielverkehr der Verkehrszelle 8			
Uhrzeit	Fahrtzweck	Δ Modal Split		nein		▼		ja			
		-40 %		-20 %		0 - Fall		0		-20 %	
alle	ges. ÖV	4167	4248	4320	●	820	4248	4167	4167	808	808
	IV	723	710	714		1848	1836	787	1716		
	alle	1800	1900	1930				1836			
alle	ges. ÖV	2255	2355	2445	●	419	2355	2255	2255	413	413
	IV	394	389	400		950	923	405	826	826	
	alle	840	937	998				923			
alle	ges. ÖV	9960	10260	10534	●	1916	10260	9960	9960	1884	1884
	IV	1740	1714	1742		4258	1846	610	610	3838	3838
	alle	3972	4280	4450			4162	2332	2332	2304	
Arbeit	ges. ÖV	4388	4368	4402	●	650	4368	4388	4388	642	642
	IV	506	484	480		2500	2336	2332	2332	2304	
	alle	2428	2446	2446							
Einkauf mit Parkrestriktion	ges. ÖV	1944	2254	2492	●	104	2254	1944	1944	80	80
	IV	70	64	98		1766	1686	74	74	1394	1394
	alle	1414	1704	1810							
Einkauf ohne Parkrestriktion	ges. ÖV	●	●	●		2948	●	●	●	●	●
	IV	●	●	●		1038	●	●	●	●	●
	alle	●	●	●		0	●	●	●	●	●
0 - 24		0 - 24	0 - 24	0 - 24							

Abb. 44 Veränderung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl infolge der Parkrestriktion am Beispiel der Verkehrszelle 8

Parkrestriktion		ORIENT		14 Zellen		-		Zielverkehr der Verkehrszelle 13	
Uhrzeit	Fahrtzweck	nein				ja			
		Δ Modal Split	Δ A III	+ 40%	+ 20%	0 - Fall	0	+ 20%	+ 40%
6 - 10	alle	ges. ÖV	IV	279 ●	258 ●	250 0	●	258 ●	279 ●
15 - 19	alle	ges. ÖV	IV	210	193	181	●	192	206
0 - 24	alle	ges. ÖV	IV	199 ●	184 ●	175 5	●	184 ●	199 ●
0 - 24	alle	ges. ÖV	IV	127	117	117	●	122	126
0 - 24	Arbeit	ges. ÖV	IV	770 ●	712 ●	688 16	●	712 ●	770 ●
0 - 24	Arbeit	ges. ÖV	IV	510	476	458	●	482	506
0 - 24	Einkauf mit Parkrestriktion	ges. ÖV	IV	356 ●	352 ●	360 0	●	352 ●	356 ●
0 - 24	Einkauf ohne Parkrestriktion	ges. ÖV	IV	286 ●	234 ●	200 0	●	234 ●	286 ●
0 - 24	Einkauf ohne Parkrestriktion	ges. ÖV	IV	224	184	164	●	186	218

Abb. 45 Veränderung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl infolge der Parkrestriktion am Beispiel der Verkehrszelle 13

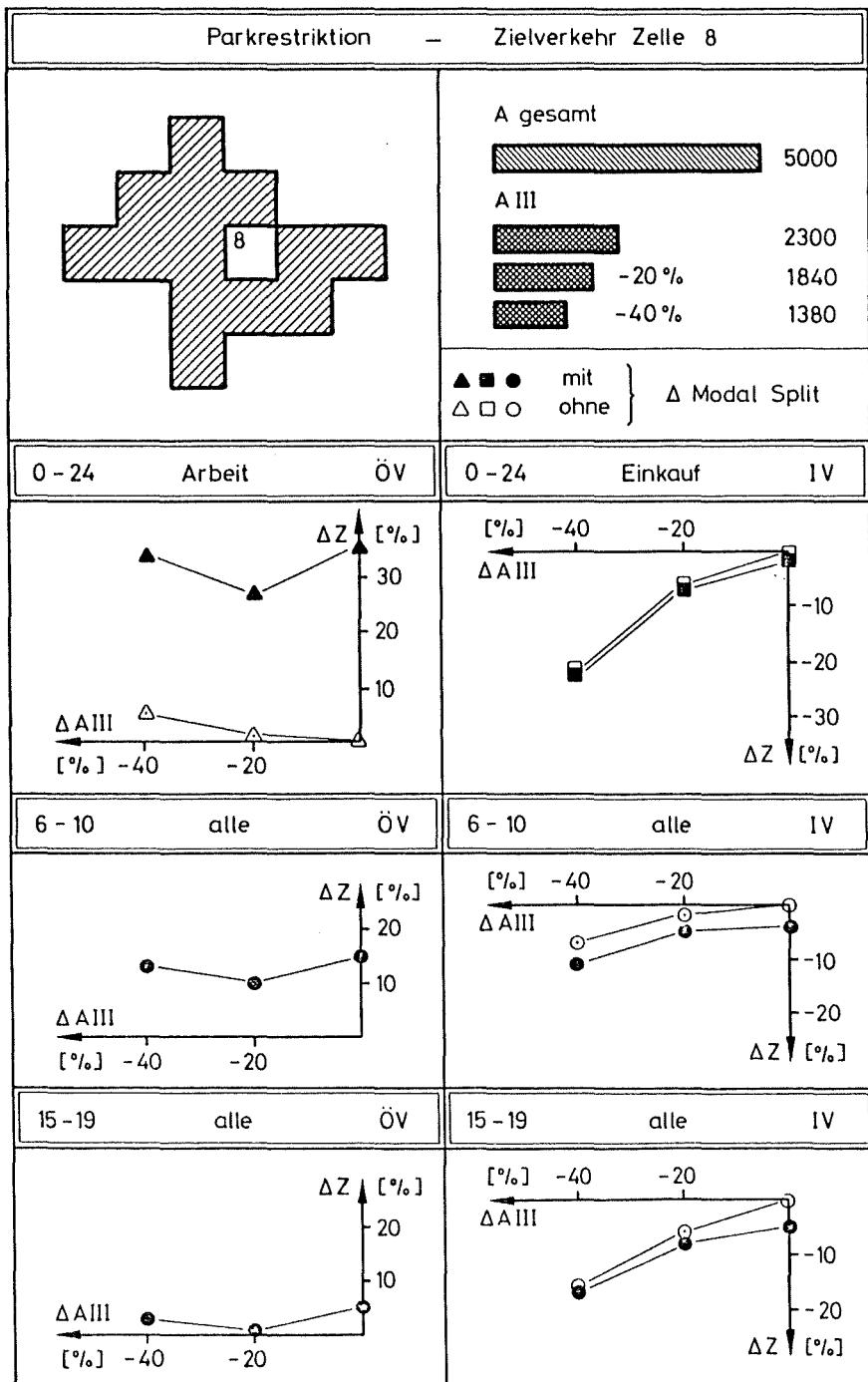


Abb. 46 Relative Veränderung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl infolge der Parkrestriktion der Verkehrszelle 8

Parkrestriktion

- Zielverkehr Zelle 13

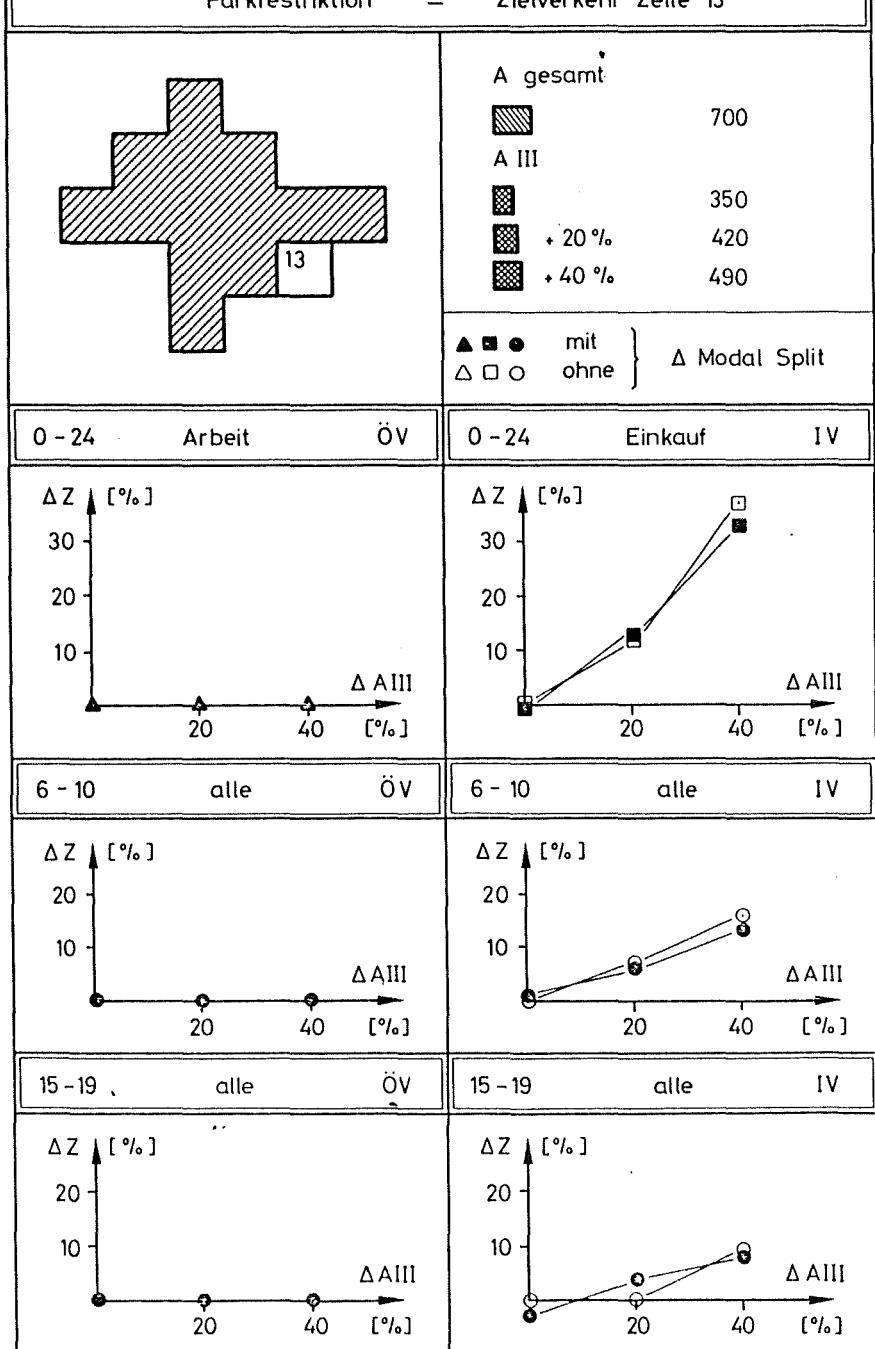
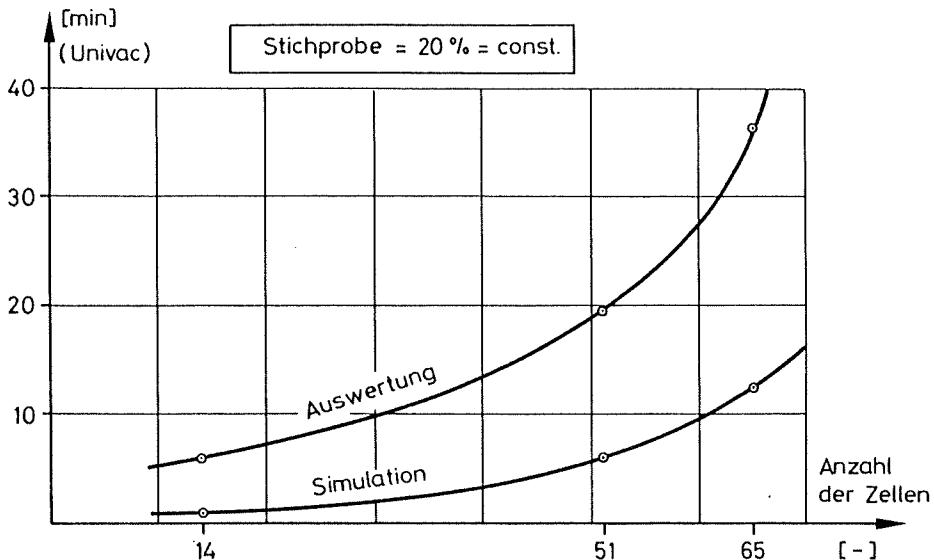


Abb. 47 Relative Veränderung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl infolge der Parkrestriktion der Verkehrszelle 13

Rechenzeit



Kernspeicher

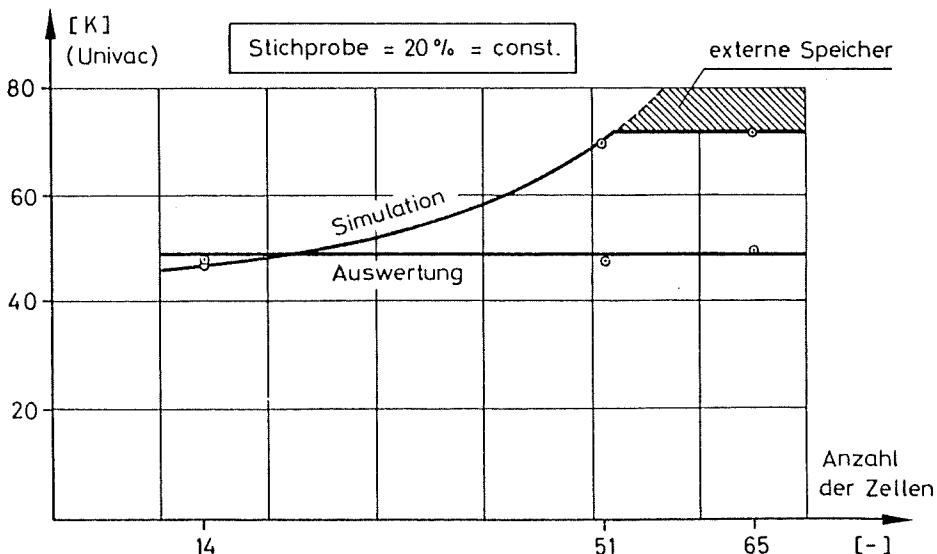
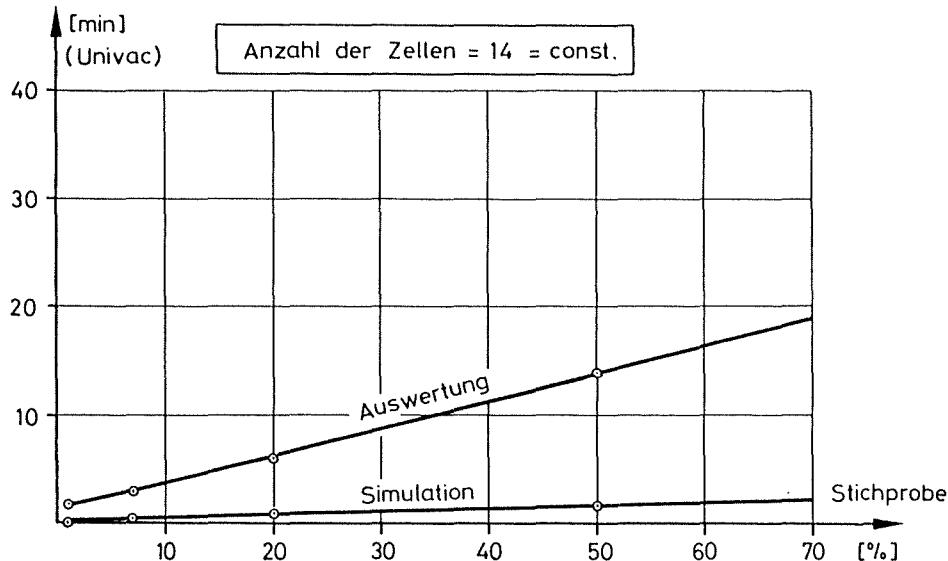


Abb. 48 Rechenzeit und Speicherplatzbedarf in Abhängigkeit von der Anzahl der Verkehrszellen

Rechenzeit



Kernspeicher

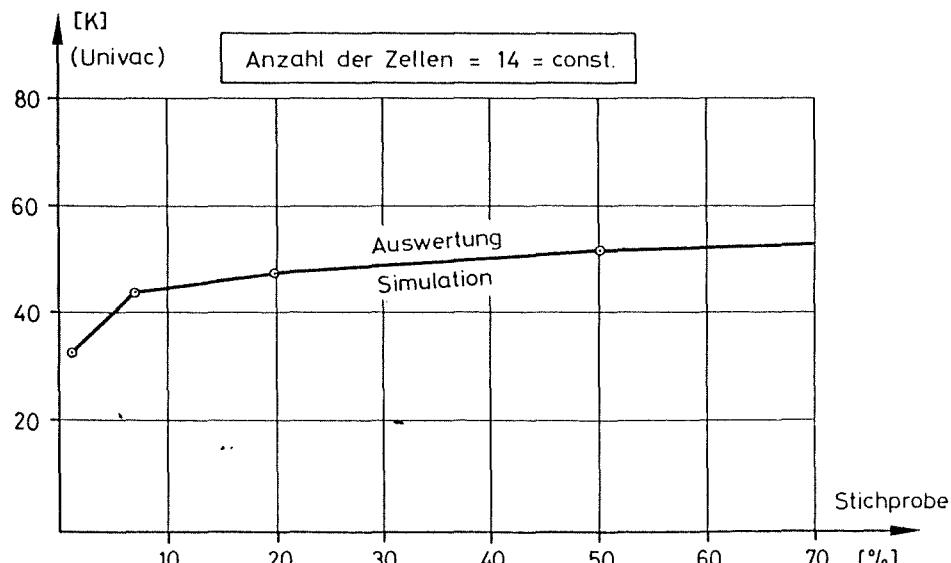


Abb. 49 Rechenzeit und Speicherplatzbedarf in Abhängigkeit von der Größe der Stichprobe

Anlage 1

* O R I E N T - S I M / B E D I E N *

A.) ***** A U F G A B E *****

SIMULATION DES VERKEHRS INNERHALB EINES IN
VERKEHRSZELLEN EINGETEILTN GEBIETES (Z.B. STADT).

B.) ***** T Y P *****

SIMULA-HAUPTPROGRAMM

C.) ***** E R S T E L L U N G *****

ERSTELLER: MICHAEL FRANK, UDO SPARMANN

ERSTELLDATUM: 1978/79

LETZTE AENDERUNG: 11.11.79 MICHAEL FRANK

D.) ***** E X T E R N E R E F E R E N Z E N *****

PROCEDURE MATAUS

E.) ***** E I N G A B E *****

DIE EINGABE BESTEHT AUS EINER FOLGE VON STEUERKARTEN.
JEDER STEUERKARTE BEGINNT IN SPALTE 1 MIT EINEM
SCHLUESSELWORT.

JE NACH ART DER EINGABE FOLGEN WEITERE SCHLUESSEL-
WERTER UND/ODER INTEGER-ZAHLEN, TEXTE, USW.
DIESE WEITEREN ANGABEN KOENNEN AUCH AUF DEN
FOLGENDEN KARTEN STEHEN.

ERST NACH BEENDIGUNG DER EINGABE-ANALYSE DER ZU EINEM
SCHLUESSELWORT GEHOERENDEN FOLGE-EINGABEN WIRD EIN
NEUES SCHLUESSELWORT IN SPALTE 1 ERWARTET.

DIE EINGABE BESTEHT AUS DREI TEILEN.
DEN ERSTEN TEIL BILDEN DIE KARTEN, DIE DAS MODELL
BESCHREIBEN (I. MODELLKARTEN).
DEN ZWEITEN TEIL BILDEN DIE KARTEN, DIE ZUR KONTROLL-
AUSGABE DER EINGABE DIENEN (II. KONTROLLKARTEN).
DIESER TEIL KANN AUS BELIEBIG VIELEN KARTEN BESTEHEN.
ER KANN AUCH GANZ ENTFALLEN.
DER DRITTE TEIL BESTEHT AUS NUR EINER KARTE, DER
'SIMULA'-KARTE (III.).
SIE KANN ENTFALLEN, WENN NICHT SIMULIERT WERDEN SOLL.

I. M O D E L L - K A R T E N

1.) 'ANFANG'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION DER GLOBALEN PARAMETER DES MODELLS.
DIESE KARTE MUSS IMMER ALS E R S T E KARTE
EINGEGEBEN WERDEN.

FORMAT

ANFANG <Z><STR><G><OGRP><M><VMZ><AVMZ><EKL><ERKL>
<FZK><LAUF>

<Z> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER VERKEHRSZELLEN
<STR> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER STRUKTURMERK-
MALE
<G> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER VERHALTENS-
HOMOGENEN GRUPPEN
<OGRP> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER OBERGRUPPEN
(FUER DIE ZIELWAHL)
<M> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER UNTERSCHIED-
LICHEN VERHALTENSMUSTER
<VMZ> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER UNTERSCHIED-
LICHEN VERKEHRSMITTEL
<AVMZ> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER AUSTAUSCH-
BAREN VERKEHRSMITTEL. EIN VERKEHRSMITTEL IST
AUSTAUSCHBAR, WENN ES NICHT IN DIE WOHNZELLE
ZURUECKGEbracht WERDEN MUSS. (Z.B. OEFFENTL.
VERKEHRSMITTEL)
<EKL> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER ENTFERNUNGS-
KLASSEN
<ERKL> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER ERSCHLIES-
SUNGSKLASSEN
<FZK> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ANZAHL DER FAHRTZWECK-
KLASSEN
<LAUF> ZAHL ZUR STEUERUNG DES SIMULATIONSLAUFES
=/2 ---> KEIN AUSDRUCKEN DER EINGABEN
=2 ---> DIE EINGABEKARTEN MIT STEUERWORT
WERDEN AUSGEDRUCKT.

2.) 'ZELLE'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION DER STRUKTUR EINER VERKEHRSZELLE.
FUER JEDEN VERKEHRSZELLE (1,...,<Z>) MUSS EINE
SOLCHE KARTE EINGEGEBEN WERDEN.

FORMAT

ZELLE <NR><STRM(1)> ...<STRM(STR)> <GP(1)> ...<GP(G)>

<NR> POSITIVE INTEGER-ZAHL, NUMMER DER VERKEHRS-ZELLE (<NR> DARB NICHT GROESSER ALS <Z> SEIN. VGL. 1.)

<STRM(I)> POSITIVE INTEGER-ZHAL, STRUKTURMERKMALE 'I' Z.B. ZAHL DER ARBEITSPLAETZE
ACHTUNG: STRM(1) MUSS DIE ZAHL DER EINWOHNER SEIN

<GP(I)> (I=1,...,<G>) INTEGER-ZAHLEN, DIE DEN EINWOHNERANTEIL DER EINZELNEN GRUPPEN IN PROZENT ANGEBEN. DIE SUMME DER PROZENTE MUSS 100 ERGEBEN.

3.) 'GRUPPE'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION DER VERHALTENSMUSTER-VERTEILUNG FUER EINE VERHALTENSHOMOGENE GRUPPE.
FUER JEDE GRUPPE (1,...,<G>) MUSS EINE SOLCHE KARTE EINGEGEBEN WERDEN.

FORMAT

GRUPPE <NR><MU(1)> ...<MU(M)>

<NR> POSITIVE INTEGER-ZAHL, GRUPPENNUMMER
<MU(I)> (I=1,...,<M>) INTEGER-ZAHLEN >= 0,
ANTEILE DER VERHALTENSMUSTER IN PROZENT.
DIE SUMME DER <MU(I)> MUSS 100 ERGEBEN.

4.) 'MUSTER'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION EINES VERHALTENSMUSTERS.
JEDES VERHALTENSMUSTER (1,...,<M>) MUSS DEFINIERT WERDEN.

FORMAT

MUSTER <NR><N><FZ(1)> ...<FZ(N)>

<NR> POSITIVE INTEGER-ZAHL <= <M>, NUMMER DES VERHALTENSMUSTERS

<N> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ZAHL DER FAHRT-ZWECKE DIESES MUSTERS
<FZ(I)> (I=1,...,<N>) INTEGER-ZAHLEN >= 0,
DIE NICHT GROESSER ALS <FZK>+1 SIND UND
DIE FAHRTZWECKE DES MUSTERS ANGEBEN.

5.) 'ENTFER'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION DER ENTFERNUNGEN ZWISCHEN SAEMTLICHEN
VERKEHRSZELLEN IN FORM EINER MATRIX.

FORMAT

ENTFER <EINHEIT> <FORM> <MATRIX>

<EINHEIT> EINHEIT, IN DER DIE MATRIX EINGEgeben WIRD.
HIERFUER MUSS EINES DER SCHLUESELWOERTER
'KM' (KILOMETER) ODER 'SEC' (SEKUNDEN)
STEHEN.

<FORM> EINGABEFORM DER MATRIX.
HIERFUER MUSS EINES DER SCHLUESELWOERTER
'EXPL' (GANZE MATRIX ZEILENWEISE) ODER
'DIAG' (OBERE DREIECKSMATRIX EINSCHLIESS-
LICH DER HAUPTDIAGONALEN ZEILENWEISE; DIE
MATRIX WIRD DANN SYMMETRISCH ERGAENZT)
STEHEN.

<MATRIX> MATRIX-WERTE ALS INTEGER-ZAHLEN, ANZAHL UND
BEDEUTUNG JE NACH WAHL VON <EINHEIT> UND
<FORM>.

6.) 'ENTFKL'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION DER ENTFERNUNGSKLASSEN ZWISCHEN SAEMTLICHEN
VERKEHRSZELLEN IN FORM EINER MATRIX BZW. AUTOMATISCH
AUS DER ENTFERNUNGSMATRIX.

FORMAT

ENTFKL <FORM> <MATRIX>
BZW.
ENTFKL AUTO <GR(1)> <GR(2)> ... <GR(EKL-1)>

<FORM> EINGABEFORM DER MATRIX.
HIERFUER MUSS EINES DER SCHLUESSELWOERTER
'EXPL' (GANZE MATRIX ZEILENWEISE) ODER
'DIAG' (OBERE DREIECKSMATRIX EINSCHLIESS-
LICH DER HAUPTDIAGONALEN ZEILENWEISE; DIE
MATRIX WIRD DANN SYMMETRISCH ERGAENZT)
STEHEN.

<MATRIX> MATRIX-WERTE ALS INTEGER-ZAHLEN, ANZAHL
NACH WAHL VON <FORM>.

<GR(I)> (I=1,...,<EKL>-1) REAL-ZAHLEN, DIE DIE
KLASSENBERGRENZEN DER ENTFERNUNGSKLASSEN
IN KILOMETERN ANGEBEN. DIE LETZTE KLASSE
ENTHAELT ALLE ENTFERNUNGEN, DIE GROESSER
ALS <GR(EKL-1)> SIND.
DIE ENTFERNUNGSKLASSENMATRIX WIRD UNTER
VERWENDUNG DIESER KLASSENGRENZEN AUS DER
ENTFERNUNGSMATRIX BERECHNET.
DIE ENTFERNUNGSKLASSE EINER ZELLE ZU SICH
SELBST IST DABEI IMMER DIE KLASSE 0.

7.) 'ERSCHL'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION DER ERSCHLIESUNGSKLASSEN ZWISCHEN SAEMT-
LICHEN VERKEHRSZELLEN IN FORM EINER MATRIX.

FORMAT

ERSCHL <FORM> <MATRIX>

<FORM> EINGABEFORM DER MATRIX.
HIERFUER MUSS EINES DER SCHLUESSELWOERTER
'EXPL' (GANZE MATRIX ZEILENWEISE) ODER
'DIAG' (OBERE DREIECKSMATRIX EINSCHLIESS-
LICH DER HAUPTDIAGONALEN ZEILENWEISE; DIE
MATRIX WIRD DANN SYMMETRISCH ERGAENZT)
STEHEN.

<MATRIX> MATRIX-WERTE ALS INTEGER-ZAHLEN, ANZAHL
NACH WAHL VON <FORM>.

8.) 'MITTEL'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION EINER VERKEHRSMITTELWAHL-VERTEILUNG.
FUER ALLE VERHALTENSOMOGENEN GRUPPEN (1,...,<G>),
FUER ALLE VON DIESER GRUPPE IM RAHMEN IHRER VER-
HALTENSMUSTER VORKOMMENDEN FAHRTZWECKKLASSEN, FUER
SAEMTLICHE ENTFERNUNGSKLASSEN (1,...,<EKL>) UND

FUER SAEMTLICHE ERSCHLIESSUNGSKLASSEN (1,...<ERKL>)
MUESSEN DURCH SOLCHE KARTEN DIE VERTEILUNGEN FUER DIE
VERKEHRSMITTELWAHL DEFINIERT WERDEN.

FORMAT

MITTEL <GRP><FZKL><ENT><ERS><VP (1)> ...<VP (VMZ)>
BZW.
MITTEL <GRPA><FZKA> WIE <GRPB><FZKB>
BZW.
MITTEL <GRPA> WIE <GRPB>

<GRPA> POSITIVE INTEGER-ZAHL, GRUPPENNUMMER (NICHT
GROESSER <G>)
<GRPB> SIEHE <GRPA>
<FZKA> INTEGER-ZAHL >= 0, FAHRTZWECKKLASSE (NICHT
GROESSER <FZK>)
<FZKB> SIEHE <FZKA>
<ENT> INTEGER-ZAHL >= 0, ENTFERNUNGSKLASSE (NICHT
GROESSER <EKL>)
<ERS> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ERSCHLIESSUNGSKLASSE
(NICHT GROESSER <ERKL>)
<VP(I)> (I=1,...,<VMZ>) PROZENTUALER ANTEIL DER
VERKEHRSMITTEL I BEI DER AUSWAHL FUER DIE
FAHRT EINES EINWOHNER DER GRUPPE <GRP> ZU
EINEM FAHRTZWECK AUS DER FAHRTZWECKKLASSE
<FZKL> UEBER EINE STRECKE DER ENTFERNUNGS-
KLASSE <ENT> UND DER ERSCHLIESSUNGSKLASSE
<ERS>.
DIE SUMME DER <VP(I)> MUSS 100 ERGEBEN.

9.) 'TITEL'-EINGABEKARTE

=====

FUNKTION

DEFINITION VON NAMEN BZW. KENNUNGEN FUER DEN SIMULA-
TIONS LAUF. DIE EINZELNEN GRUPPEN, FAHRTZWECKE, FAHRT-
ZWECKKLASSEN UND VERKEHRS MITTEL.
DIESE NAMEN ERSCHEINEN BEI DER AUSWERTUNG ANSTELLE DER
NUMMERN.

FORMAT

TITEL SIMNAM <TEXT>
BZW.
TITEL <SWORT> <INDEX> <TEXT>

<SWORT> HIERFUER STEHT EINES DER SCHLUESSEL WOERTER
'MITTEL' (BEZEICHNUNG FUER VERKEHRS MITTEL),
'FZWECK' (BEZEICHNUNG FUER FAHRTZWECK),
'GRUPPE' (BEZEICHNUNG FUER GRUPPE),
'MERKML' (BEZEICHNUNG FUER STRUKTUR MERKMALE).

<INDEX> NUMMER DES MIT <SWORT> AUSGEWAEHLTEN
OBJEKTES (VERKEHRSMITTELNUMMER, ETC.)
<TEXT> BEZEICHNUNG, DIE DEM AUSGEWAEHLTEN OBJEKT
ZUGEORDNET WIRD:
BEI 'SIMNAM' BEZEICHNUNG DES SIMULATIONSLAUFES.
DER TEXT BEGINNT DIREKT HINTER 'SIMNAM' BZW.
<INDEX> UND ENDET MIT DER EINGABEKARTE.

10.) 'TAETIG'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION EINER TAETIGKEIT FUER DEN AUSDRUCK DER
FAHRten IN FORM VON SAETZEN.

FORMAT

TAETIG MITTEL <INDEX> <TEXT>
BZW.
TAETIG FZWECK <INDEX> <TEXT>

<INDEX> NUMMER DES VERKEHRSMITTELS BZW. DES FAHRT-
ZWECKS.
<TEXT> IST IM ERSTEN FALL DER SATZ, DER DIE BE-
NUTZUNG EINES VERKEHRSMITTELS WIEDERGIBT,
IM ZWEITEN FALL DER SATZ, DER DIE FAHRT ZUM
BETREFFENDEN ZWECK WIEDERGIBT.

11.) 'TERMIN'-EINGABEKARTE

FUNKTION

EINSCHALTEN DES TERMINAL-MODUS.
DIES IST EIN MODUS, DER EINE ERWEITERTE AUSGABE
WAEHREND DES SIMULATIONS LAUFES BEWIRKT.
INSbesondere WIRD DIE RECHENZEIT FUER JE 100 SIMU-
LIERTE EINWOHNER AUSGEDRUCKT, SO DASS DER FORTGANG
DER SIMULATION (BEI AUFRUF VOM TERMINAL AUS) ER-
KENNBAR WIRD.

FORMAT

TERMIN

12.) 'ZUFALL'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION DER ZUFALLSGENERATOR-STARTWERTE

FORMAT

ZUFALL <WERT>

<WERT> POSITIVE INTEGER-ZAHL (< = 49)
DER INTERNE STARTWERT FUER DIE ZUFALLS-
GENERATOREN IST $2^* <WERT> + 1$.
FEHLT DIESE KARTE, SO IST <WERT> = 1.

13.) 'OBERGR'-EINGABEKARTE

FUNKTION

ZUORDNUNG VON GRUPPEN ZU OBERGRUPPEN (FUER DIE ZIELWAHL).

FORMAT

OBERGR <OG(1)> <OG(2)> ... <OG(G)>

<OG(I)> OBERGRUPPE, ZU DER DIE GRUPPE 'I' GEHOERT
1 <= <OG(I)> <= <OGRP> MUSS FUER ALLE
I=1, ..., <G> GELTEN.

14.) 'ZILPOT'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION DES GRADES DER EINFLUSSNAHME DER ENTFERNUNG AUF DIE WAHL DES ZIELES.

DER WIDERSTAND EINER FAHRT VON ZELLE I NACH ZELLE J
ERRECHNET SICH WIE FOLGT:

W(I,J,FZ,OG) = ENTF(I,J)**POT(FZ,OG,ERSCHL(I,J))

WOBEI GILT:

ENTF(I,J) IST DIE ENTFERNUNG VON ZELLE I NACH ZELLE J
ERSCHL(I,J) IST DIE ERSCHLIESUNGSKLASSE DER STRECKE

VON ZELLE I NACH ZELLE J.

FZ IST DER FAHRTZWECK, ZU DEM DIE FAHRT UNTERNOMMEN WERDEN SOLI.

WIEVIEL VOLLE, OG IST DIE OBERGRUPPE, ZU DER DER EINWOHNER GEHOERT

ES IST DIE ÜBERNIGHT, ES DER DER EINWÄHNER GEGEN, DER DIE FAHRT UNTERNIMMT.

DER DIE FAHRT UNTERHINN.

FORMAT

<POT(2,1)> <POT(2,2)> ... <POT(2,ERKL)>

$\langle \text{POT(FZK, 1)} \rangle \langle \text{POT(FZK, 2)} \rangle \dots \langle \text{POT(FZK, ERKL)} \rangle$

<OG> OBERGRUPPE, FUER DIE DIE POTENZEN EINGEGEBEN WERDEN.
<POT(F,E)> POTENZ FUER DEN FAHRTZWECK 'F' UND DIE ERSCHLIESUNGSKLASSE 'E'.

15.) 'KLASTR'-EINGABEKARTE

FUNKTION

EINFLUSSNAHME DER STRUKTURMERKMALE AUF DIE ZIELWAHL.
DIE STRUKTURMERKMALE WERDEN ALS NUMMERN EINGEGEBEN,
WOBEI DIE NUMMER DER POSITION DES STRUKTURMERKMALES
IN DER FOLGE DER STRUKTURMERKMALE AUF EINER 'ZELLE'-
KARTE ENTSPRICHT.
(Z.B. NUMMER=1 ENTSPRICHT STRUKTURMERKMAL 'EINWOHNER-
ZAHL').

FORMAT

KLASTR <STR(1)> <STR(2)> ... <STR(FZK)>

<STR(I)> ATTRAKTIVITAETS-MERKMAL FUER DEN FAHRT-
ZWECK 'I', D.H. BEI DER ZIELWAHL FUER
EINE FAHRT ZUM FAHRTZWECK 'I' IST DIE
WAHRSCHEINLICHKEIT FUER DIE EINZELNEN
ZIELZELLEN PROPORTIONAL ZU DEREN STRUK-
TUR-MERKMAL MIT DER NUMMER <STR(I)>.

16.) 'DATEI'-EINGABEKARTE

FUNKTION

DEFINITION VON DATEINAMEN FUER DIE SIMULATIONSWERTE-
UND DIE SIMULATIONSSTATUS-DATEI.

FORMAT

DATEI WERTE <NAME>
UND
DATEI STATUS <NAME>

<NAME> NAME DER WERTE- BZW. STATUS-DATEI
(ES GELTEN DIE REGELN FUER DATEINAMEN AN
DER UNIVAC-ANLAGE; ALS QUALIFIER WIRD DIE
PROJEKT-ID DES RUNS IMPLIZIERT).
DIE STANDARDNAMEN BEI WEGFALL DER BETREF-
FENDEN KARTE LAUTEN:
'SIMWERTE' BZW. 'SIMSTATUS'.

FALLS UEBERHAUPT NOETIG (Z.B. BEI MEHREREN SIMULATIONS LAEUFEN) MUESSEN B E I D E DATEIEN UMDEFINIERT WERDEN, DA SONST SCHON EXISTIERENDE DATEIEN MIT DEN NAMEN 'SIMWERTE' BZW. 'SIMSTATUS' UEBERSCHRIEBEN WERDEN UND DIE DAZUGEHÖRIGEN SIMULATIONS LAEufe NICHT MEHR AUSGEWERTET WERDEN KOENNEN.

II. K O N T R O L L - K A R T E N

1.) 'CONTRL ZELLEN'-KARTE

FORMAT

CONTRL ZELLEN

AUSGABE

DIE STRUKTUR-BESCHREIBUNG SAEMTLICHER VERKEHRSZELLEN WIRD AUSGEGEBEN.

2.) 'CONTRL ENTFER'-KARTE

FORMAT

CONTRL ENTFER

AUSGABE

DIE ENTFERNUNGSMATRIX WIRD AUSGEGEBEN.

3.) 'CONTRL ENTFKL'-KARTE

FORMAT

CONTRL ENTFKL

AUSGABE

DIE ENTFERNUNGSKLASSENMATRIX WIRD AUSGEGEBEN.

4.) 'CONTRL ERSCHL'-KARTE

FORMAT

CONTRL ERSCHL

AUSGABE

DIE ERSCHLIESUNGSKLASSENMATRIX WIRD AUSGEgeben.

5.) 'CONTRL GRUPPE'-KARTE

FORMAT

CONTRL GRUPPE

AUSGABE

DIE VERHALTENSMUSTER-VERTEILUNGEN FUER SAEMTLCHE GRUPPEN WERDEN AUSGEgeben.

6.) 'CONTRL MUSTER'-KARTE

FORMAT

CONTRL MUSTER

AUSGABE

SAEMTLCHE DEFINIERTEN VERHALTENSMUSTER WERDEN AUSGEgeben.

7.) 'CONTRL ZIELE'-KARTE

FORMAT

CONTRL ZIELE <AZ> <FZKL> <OG>

AUSGABE

DIE ERRECHNETE ZIELZELLEN-VERTEILUNG FUER FAHRDEN DER FAHRTZWECKKLASSE <FZKL> VON DER ZELLE <AZ>, DIE VON EINWOHNERN DER OBERGRUPPE <OG> UNTERNOMMEN WERDEN, WIRD AUSGEgeben.

8.) 'CONTRL MITTEL'-KARTE

FORMAT

CONTRL MITTEL

AUSGABE

DIE VERKEHRSMITTEL-VERTEILUNGEN WERDEN AUSGEGEBEN.

III. S I M U L A - K A R T E

FUNKTION

START DER SIMULATION FUER EINEN EINZUGEBENDEN PROZENT-SATZ DER GESAMTEINWOHNERZAHL UND MIT PROTOKOLLIERUNG EINER EINZUGEBENDEN ZAHL VON EINWOHNERN.

FORMAT

SIMULA <SIMPRO> <SIMLIST>

<SIMPRO> POSITIVE INTEGER-ZAHL <= 100, GIBT AN WIEVIEL PROZENT DER EINWOHNER SIMULIERT WERDEN,
<SIMLIST> POSITIVE INTEGER-ZAHL, ES WERDEN DIE ERSTEN <SIMLIST>-1 SIMULIERTEN EINWOHNER PROTOKOLLIERT.

Anlage 2

* O R I E N T - A U S W / B E D I E N *

A.) ***** A U F G A B E *****

AUSWERTUNG DER VOM PROGRAMM 'ORIENT-SIM' ERZEUGTEN
DATEN, DIE AUF DEN DATEIEN 'SIMWERTE' UND
'SIMSTATUS' STEHEN.
DIESE BEIDEN DATEIEN MUESSEN VOR ABLAUF DES
PROGRAMMES ASSIGNIERT WERDEN!

B.) ***** T Y P *****

SIMULA-HAUPTPROGRAMM

C.) ***** E R S T E L L U N G *****

ERSTELLER: MICHAEL FRANK, UDO SPARMANN

ERSTELLDATUM: 1978/79

LETZTE AENDERUNG: 21.04.79 MICHAEL FRANK

D.) ***** E X T E R N E R E F E R E N Z E N *****

PROCEDURE MATAUS

PROCEDURE GANGLINAUS

E.) ***** E I N G A B E *****

DIE EINGABE BESTEHT AUS EINER FOLGE VON STEUERKARTEN.
JEDER STEUERKARTE BEGINNT IN SPALTE 1 MIT EINEM CODE,
DER AUS DREI BUCHSTABEN BESTEHT.
JE NACH AUFGERUFENER AUSWERTUNG FOLGT DARAUF
FORMATFREI EIN SCHLUESSELWORT AUS SECHS BUCHSTABEN
UND/ODER EIN ODER MEHRERE INTEGER- ODER REAL-WERTE.

1.) 'EWV' -STEUERKARTE

=====

FORMAT

EWV

AUSGABE

GESAMTZAHL DER SIMULIERTEN EINWOHNER (ABSOLUT
UND IN PROZENT)
VERTEILUNG DER EINWOHNER AUF DIE EINZELNEN ZELLEN
VERTEILUNG DER EINWOHNER AUF DIE EINZELNEN GRUPPEN
EINWOHNER PRO GRUPPE UND ZELLE
VERTEILUNG DER EINWOHNER AUF DIE EINZELNEN
VERHALTENSMUSTER
EINWOHNER PRO VERHALTENSMUSTER UND GRUPPE

2.) 'FHV'-STEUERKARTE

=====

FORMAT

FHV

AUSGABE

GESAMTZAHL DER FAHRDEN
VERTEILUNG DER FAHRDEN AUF DIE EINZELNEN FAHRTZWECKE
VERTEILUNG DER FAHRDEN AUF DIE EINZELNEN
VERKEHRSMITTEL
FAHRDEN PRO FAHRTZWECK UND VERKEHRSMITTEL

3.) 'PBG'-STEUERKARTE

=====

FORMAT

PBG

AUSGABE

EINE QUADRATISCHE MATRIX WIRD AUSGEGBEN, IN DER DIE
KOMPONENTE (I,J) DEN MITTLEREN PKW-BESETZUNGSGRAD
BEI FAHRDEN VON ZELLE I NACH ZELLE J ANGIBT.

4.) 'FMX'-STEUERKARTE

=====

4.1 FAHRDEN-MATRIX GESAMT

FORMAT

FMX GESAMT

AUSGABE

EINE QUADRATISCHE MATRIX, DIE SOVIELE ZEILEN UND SPALTEN HAT, WIE EINWOHNERZELLEN SIMULIERT WERDEN, WIRD AUSGEGEBEN.

IN DER KOMPONENTE (I,J) STEHT DABEI DIE ZAHL DER FAHRTEN, DIE VON DER ZELLE I ZUR ZELLE J UNTERNOMMEN WURDEN.

4.2 FAHRTEN-MATRIZEN AUFGESCHLUESSELT NACH FAHRTZWECKKLASSEN

FORMAT

FMX FZWECK <FZK>

<FZK> IST EINE INTEGER-ZAHL, DIE DIE FAHRTZWECKKLASSE ANGIBT.

AUSGABE

EINE FAHRTEN-MATRIX (WIE IN 4.1) WIRD AUSGEGEBEN. IN JEDER KOMPONENTE (I,J) STEHT DIE ZAHL DER ZUR FAHRTZWECKKLASSE <FZK> UNTERNOMMENEN FAHRTEN VON ZELLE I NACH ZELLE J UND DEREN RELATIVER ANTEIL AN DEN GESAMTEN FAHRTEN VON ZELLE I NACH ZELLE J.

4.3 FAHRTEN-MATRIZEN AUFGESCHLUESSELT NACH VERKEHRSMITTELN

FORMAT

FMX MITTEL <VMIT>

<VMIT> IST EINE INTEGER-ZAHL, DIE DAS VERKEHRSMITTEL ANGIBT.

AUSGABE

EINE FAHRTEN-MATRIX (WIE IN 4.1) WIRD AUSGEGEBEN. IN JEDER KOMPONENTE (I,J) STEHT DIE ZAHL DER MIT DEM VERKEHRSMITTEL <VMIT> UNTERNOMMENEN FAHRTEN VON ZELLE I NACH ZELLE J UND DEREN RELATIVER ANTEIL AN DEN GESAMTEN FAHRTEN VON ZELLE I NACH ZELLE J.

4.4 FAHRTEN-MATRIZEN DOPPELT AUFGESCHLUESSELT NACH VERKEHRSMITTELN UND FAHRTZWECKKLASSEN

FORMAT

FMX DOPPEL <VMIT> <FZK>

<VMIT> IST EINE INTEGER-ZAHL, DIE DAS VERKEHRSMITTEL ANGIBT.
<FZK> IST EINE INTEGER-ZAHL, DIE DIE FAHRTZWECKKLASSE ANGIBT.

AUSGABE

EINE FAHRTEN-MATRIX (WIE IN 4.1) WIRD AUSGEGEBEN.
IN JEDER KOMPONENTE (I,J) STEHT DIE ZAHL DER ZU FAHRTZWECKEN DER FAHRTZWECKKLASSE <FZK> MIT DEM VERKEHRSMITTEL <VMIT> UNTERNOMMENEN FAHRTEN VON ZELLE I NACH ZELLE J UND DEREN RELATIVER ANTEIL AN DEN GESAMTEN FAHRTEN VON ZELLE I NACH ZELLE J.

5.) 'FWV'-STEUERKARTE

FORMAT

FWV <KLBR>

<KLBR> IST EINE REAL-ZAHL, DIE DIE KLASSENBREITE DER FAHRTWEITEN-VERTEILUNG IN KILOMETER ANGIBT.
SIE DARB NICHT KLEINER ALS 0.1 SEIN (100 METER).

AUSGABE

FAHRTWEITEN-VERTEILUNG ALLER FAHRTEN
FAHRTWEITEN-VERTEILUNG AUFGESCHLUESSELT NACH FAHRTZWECKEN
FAHRTWEITEN-VERTEILUNG AUFGESCHLUESSELT NACH VERKEHRSMITTELN

6.) 'GWV'-STEUERKARTE

FORMAT

GWV <KLBR>

<KLBR> IST EINE REAL-ZAHL, DIE DIE KLASSENBREITE DER FAHRTWEITEN-VERTEILUNG IN KILOMETER ANGIBT.
SIE DARB NICHT KLEINER ALS 0.1 SEIN (100 METER).

AUSGABE

FAHRTWEITEN-VERTEILUNG DER GESAMT-FAHRTWEITEN
(FAHRTWEITEN UEBER DIE GESAMTEN VERHALTENSMUSTER)
AUFGESCHLUESSELT NACH DEN EINZELNEN
VERHALTENSHOMOGENEN GRUPPEN

7.) 'TAG'-STEUERKARTE

7.1 EINGABE DER STUNDENWEISE VERTEILUNG DER FAHRTEN EINES FAHRTZWECKPAARES

FORMAT

TAG INPUTS <FZA> <FZB> <TW(1)> <TW(2)> ...<TW(24)>

<FZA> IST EINE INTEGER-ZAHL, DIE DEN ERSTEN
FAHRTZWECK DES FAHRTZWECKPAARES ANGIBT.
<FZB> IST EINE INTEGER-ZAHL, DIE DEN ZWEITEN
FAHRTZWECK DES FAHRTZWECKPAARES ANGIBT.
<TW(I)> VIERUNDZWANZIG INTEGER-ZAHLEN, DIE DIE
ANTEILE DER FAHRTEN ZWISCHEN (I-1) UHR UND (I)
UHR ANGEBEN, DIE ZUM FAHRTZWECK <FZB> UNTERNOMMEN
WURDEN UND BEI DENEN DIE VORHERIGE FAHRT ZUM
FAHRTZWECK <FZA> UNTERNOMMEN WURDE.
DIE ANTEILE MUESSEN IN PROMILLE
ANGEgeben WERDEN.

AUSGABE

KEINE

ANMERKUNG

ES MUESSEN FUER ALLE FAHRTZWECKPAARE, DIE VORKOMMEN
KOENNNEN (SIEHE VERHALTENSMUSTER), 'TAG-INPUT'-
KARTEN EINGEGEBEN WERDEN, BEVOR EINE DER ANDEREN
'TAG'-KARTEN EINGEGEBEN WERDEN DARF.

7.2 FAHRTEN-MATRIX FUER ZEITRAUM

FORMAT

TAG GESAMT <TA> <TE>

<TA> INTEGER-ZAHL, DIE DIE ANFANGSZEIT DES ZEITRAUMES
IN VOLLEN STUNDEN ANGIBT.
<TE> INTEGER-ZAHL, DIE DIE ENDZEIT DES ZEITRAUMES
IN VOLLEN STUNDEN ANGIBT.

AUSGABE

EINE AUF HUNDERT PROZENT DER EINWOHNER HOCHGERECHNETE FAHRTEN-MATRIX DER IM ZEITRAUM <TA> UHR BIS <TE> UHR UNTERNOMMENEN FAHRTEN WIRD AUSGEGEBEN.

7.3 FAHRTEN-MATRIX FUER VERKEHRSMITTEL UND ZEITRAUM

FORMAT

TAG MITTEL <VMIT> <TA> <TE>

<VMIT> INTEGER-ZAHL, DIE DAS VERKEHRSMITTEL ANGIBT.
<TA> ANFANGSZEIT WIE BEI 7.2
<TE> ENDZEIT WIE BEI 7.2

AUSGABE

EINE FAHRTEN-MATRIX (WIE BEI 7.2) WIRD AUSGEGEBEN.
ES SIND DARIN JEDOCH NUR DIE MIT DEM VERKEHRSMITTEL <VMIT> UNTERNOMMENEN FAHRTEN ENTHALTEN.

7.4 GANGLINIEN DER STUENDLICHEN VERKEHRSVERTEILUNG

FORMAT

TAG GANGLI

AUSGABE

GANGLINIEN DER STUENDLICHEN FAHRTENVERTEILUNGEN DER AUF HUNDERT PROZENT EINWOHNER HOCHGERECHNETEN FAHRTEN FUER GESAMTVERKEHR, VERKEHR MIT DEN EINZELNEN VERKEHRSMITTELN UND VERKEHR ZU DEN EINZELNEN FAHRTZWECKEN.

8.) 'STA'-STEUERKARTE

FORMAT

STA

AUSGABE

VERTEILUNG DER EINZELNEN VERKEHRSMITTELWAHL-VORGAENGE NACH DEM MONTECARLO-VERFAHREN, DIE WAEHREND DER SIMULATION VORGENOMMEN WURDEN.

F.) ***** A U S G A B E *****

JEDE STEUERKARTE (AUSSER 7.1) ERZEUGT EINE EIGENE DRUCK-DATEI.
DIESE DATEIEN HABEN DIE NAMEN '\$PR01', '\$PR02',
'\$PR03', '\$PR04', ...
ES IST ZU BEACHTEN, DASS DIESE DATEIEN VOM SIMULA-
LAUFZEITSYSTEM DYNAMISCH ERZEUGT UND BEI
PROGRAMMENDE AUTOMATISCH AUSGEDRUCKT WERDEN.

Veröffentlichungen aus dem Institut für Verkehrswesen

Schriftenreihe des Instituts

- Heft 1: Baron, P.S.: Weglängen als Kriterium zur Beurteilung von Fluggast-Empfangsanlagen; 1967. +)
- Heft 2: Stoffers, K.E.: Berechnung von optimalen Signalzeitenplänen; 1968. +)
- Heft 3: Koehler, R.: Verkehrsablauf auf Binnenwasserstraßen - Untersuchungen zur Leistungsfähigkeitsberechnung und Reisezeitverkürzung; 1968. +)
- Heft 4: Böttger, R.: Die numerische Behandlung des Verkehrsablaufs an signalgesteuerten Straßenkreuzungen; 1970. +)
- Heft 5: Droste, M.: Stochastische Methoden der Erfassung und Beschreibung des ruhenden Verkehrs; 1971. +)
- Heft 6: 10 Jahre Institut für Verkehrswesen; 1973. +)
- Heft 7: Bey, I.: Simulationstechnische Analyse der Luftfrachtabfertigung; 1972. +)
- Heft 8: Wiedemann, R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses; 1974. +)
- Heft 9: Köhler, U.: Stabilität von Fahrzeugkolonnen; 1974. +)
- Heft 10: Thomas, W.: Sensitivitätsanalyse eines Verkehrsplanungs-Modells; 1974. +)
- Heft 11: Pape, P.: Weglängen-Reduzierung in Fluggast-Empfangsanlagen durch flexible Vorfeldpositionierung; 1976. +)
- Heft 12: Koffler, Th.: Vorausschätzung des Verkehrsablaufs über den Weg; 1977. +)
- Heft 13: Haenicke, W.: Der Einfluß von Verflechtungen in einem bedarfsoorientierten Nahverkehrssystem auf die Reisegeschwindigkeit; 1977. +)
- Heft 14: Bahm, G.: Kabinengröße und Betriebsablauf neuer Nahverkehrssysteme; 1977. +)

- Heft 15: Laubert, Wolf: Betriebsablauf und Leistungsfähigkeit von Kleinkabinenbahnstationen; 1977.
- Heft 16: Sahling, B.-M.: Verkehrsablauf in Netzen - Ein graphentheoretisches Optimierungsverfahren -; 1977.
- Heft 17: Zahn, E. M.: Berechnung gesamtkostenminimaler außerbetrieblicher Transportnetze; 1978.
- Heft 18: Handschmann, W.: Sicherheit und Leistungsfähigkeit städtischer Straßenkreuzungen unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung des Kraftfahrzeugführers; 1978.
- Heft 19: Willmann, G.: Zustandsformen des Verkehrsablaufs auf Autobahnen; 1978.
- Heft 20: Sparmann, U.: ORIENT - Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose; 1980.
- Heft 21: Allsop, R. E.: Festzeitsteuerung von Lichtsignalanlagen; 1980.
-
-

Vorläufige Berichte des Instituts

- Nr. 1: Leutzbach, W., Koehler, R.: Binnenwasserstraßenverkehr als Zufallsverteilung; 1964.
- Nr. 2: Eick, P.: Experimentelle Überprüfung des Folgetests von WALD; 1964
- Nr. 3: Bexelius, S.: Größen der Verkehrstheorie - ihre Definition und Anwendung; 1965.
- Nr. 4: Leutzbach, W., Ernst, R.: Untersuchung über den Einfluß der Fahrbahnmarkierung auf das Verhalten der Fahrzeuglenker; 1965.
- Nr. 5: Gullón Löw, M.: Die Planung des spanischen Stadt- und Landstraßennetzes; 1965. +)
- Nr. 6: Bexelius, S.: An extended Model for Car Following; 1965.
- Nr. 7: Bexelius, S.: Beschreibung des Verkehrsablaufs im Hinblick auf verschiedene Arten von Engpässen; 1965. +)
- Nr. 8: Leutzbach, W., Lenz, K.-H.: Wartezeitverluste an Schleusen; 1966.
- Nr. 9: Martin, W.: Zeitstudie über die Passagierabfertigung am Flughafen Stuttgart; 1967. +)
- Nr. 10: Droste, M.: Parkraumerhebungen in Intervallen; 1968.
- Nr. 11: Leutzbach, W.: Bewegung als Funktion von Zeit und Weg; 1968 (reprinted in Transportation Research, Vol 3 (1969) 421-428).
- Nr. 12: Droste, M.: Die Berechnung optimaler Signalzeitenpläne als Problem der ganzzahligen linearen Programmierung; 1969.
- Nr. 13: Ludes, K., Siegener, W.: Untersuchung des Verkehrsablaufs im Hinblick auf riskantes Fahrverhalten; 1969.
- Nr. 14: Haigth, F.A.: Problems in Transport Safety; 1970.
- Nr. 15: Dilling, J.: Reisegeschwindigkeit und Straßencharakteristik; 1970. +)

- Nr. 16: Coblenz, H.S.: Transportation Planning and Social Issues: Function and Dysfunction; 1971. +)
- Nr. 17: Köhler, U.: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsganglinie bzw. Geschwindigkeitsprofil und Häufigkeitsdichte der Geschwindigkeiten; 1971. +)
- Nr. 18: Brilon, W.: Der Zusammenhang zwischen räumlich-zeitlichen Kennwerten des Verkehrsablaufs und lokal ermittelten Parametern; 1973. +)
- Nr. 19: Vásárhelyi, B.: Stochastische Simulation an Straßenkreuzungen nach dem "rechts-vor-links-Prinzip"; 1974.
- Nr. 20: Bahm, G., Laubert, W.: Modelle zur Simulation des Betriebsablaufs von neuen Personennahverkehrssystemen; 1975.
- Nr. 21: Wiedemann, R., Brilon, W., Brannolte, U.: Simulation des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Landstraßen; 1977.
- Nr. 22: Brannolte, U., Vásárhelyi, B.: Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf kurvigen Landstraßen; 1977. +)
- Nr. 23: Sparmann, U.: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Vorbeifahrtenhäufigkeit auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen, 1979
- Nr. 24: Stucke, G.: Ermittlung der Teilstrome aus Querschnittsmessungen; 1979

Institutsnotizen

- Nr. 1: Bisbee, E.F.: Beispiele zur Transportanalyse; 1967 (übersetzt von W. Siegener). +)
- Nr. 2: Vergleich einiger Verkehrserzeugungs- und Verteilungsmodelle; Seminarbericht SS 1968. +)
- Nr. 3: Berechnungsbeispiel zum Verkehrsablauf an Engpässen; Seminarbericht WS 1968/69.
- Nr. 4: Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit des Straßennetzes und der Kapazität des Parkraums; Seminarbericht SS 1969. +)
- Nr. 5: Brilon, W.: Erzeugung von Zufallszahlen; 1970.
- Nr. 6: Dilling, J.: Charakteristik des Verkehrsablaufs auf einem Autobahnabschnitt; 1970.
- Nr. 7: Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit verschiedener Ausbauvarianten einer Straßenkreuzung; Seminarbericht WS 1969/70
- Nr. 8: Untersuchungen der Verkehrssicherheit einer Straßenkreuzung; Seminarbericht SS 1970.
- Nr. 9: Möglichkeiten des Einsatzes eines Kabinen-Taxi-Systems (CAT) für den Bereich der Universität Karlsruhe; Seminarbericht SS 1971.
- Nr. 10: Wirtschaftlichkeitsrechnung im Straßenbau - ein Optimierungsbeispiel; Seminarbericht WS 1971/72.
- Nr. 11: Möglichkeiten der Steuerung von Lichtsignalanlagen in städtischen Netzen; Seminarbericht SS 1972.
- Nr. 12: Exkursionsbericht SS 1973
- Nr. 13: Unfalluntersuchung und Stauberechnung auf einem Abschnitt der Bundesautobahn; Seminarbericht SS 1973. +)
- Nr. 14: Wochenendverkehr im nördlichen Schwarzwald; Seminarbericht WS 1973/74. +)
- Nr. 15: Geschwindigkeitsbeschränkungen, Seminarbericht SS 1974.
- Nr. 16: Autohöfe - ihre Bedeutung für den Güterverkehr; Seminarbericht WS 74/75.

- Nr. 17: Die Karlsruher Häfen; Seminarbericht SS 1975.
- Nr. 18: Lärmschutz an Straßen; Seminarbericht WS 75/76. +)
- Nr. 19: Einfluß des Fluglärms auf Planung und Betrieb von Flughäfen und Landeplätzen; Seminarbericht SS 1976.
- Nr. 20: Kombinierter Verkehr; Seminarbericht WS 1976/77
- Nr. 21: Koordinierung der Lichtsignalanlagen eines Straßenzuges unter Berücksichtigung des öffentlichen Personennahverkehrs; Seminarbericht SS 1977.
- Nr. 22: Die Sicherheit von Verkehrssystemen
Seminarbericht WS 77/78
- Nr. 23: Verkehrsablauf als Warteschlangenproblem
Seminarbericht SS 1978
- Nr. 24: Bordsteinparken; Seminarbericht WS 78/79.

Anderweitig publizierte Forschungsberichte

Leutzbach, W., Bexelius, S.: Probleme der Kolonnenfahrt; Heft 44 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1966.

Lenz, K.-H.: Ein Beitrag zur Anwendung der Theorie der Warteschlangen; Heft 66 der Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg, 1966.

Ernst, R.: Verkehrsablauf an Straßenknoten; Heft 60 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1967.

Wiedemann, R.: Verkehrsablauf hinter Lichtsignalanlagen - Untersuchungen über die Ausbreitung von Fahrzeugpulks; Heft 74 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1968.

Ziegler, M.: Wegewahl als Regelkreis - Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Wegewahl, Reisezeiten und Verkehrsmengen; Heft 99 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1970.

Hoefs, D. H.: Untersuchung des Fahrverhaltens in Fahrzeugkolonnen; Heft 140 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1972.

Dilling, J.: Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen auf kurvigen Strecken; Heft 151 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1973.

Leutzbach, W., Wetterling, K.: Kurzfassungen ausgewählter Arbeiten aus der Bundesrepublik Deutschland, Techn. Untersuchungen; Heft 3 der Schriftenreihe "Forschung Stadtverkehr - Sonderreihe", Bundesminister für Verkehr, Bonn 1974.

Findeisen, H.-G.: Das Verhalten verkehrsrechtlich untergeordneter Fahrzeuge an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen; Heft 178 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1975.

Brilon, W.: a) Unfallgeschehen und Verkehrsablauf.
b) Warteschlangenmodell des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Landstraßen; Heft 201 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1976.

Brilon, W., Brannolte, U.: Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf zweispurigen Straßen mit Gegenverkehr; Heft 239 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn 1977.

Handschmann, W., Voss, M.: Der Mensch als Fahrzeugführer; Informationsaufnahme und -verarbeitung durch den Menschen; Heft 8 der FAT (Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V.)-Schriftenreihe, Frankfurt 1978.

Leutzbach, W. et al.: Güterfernverkehr auf Bundesautobahnen - Ein Systemmodell; Heft 9 der FAT (Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V.)-Schriftenreihe, Frankfurt 1978.

Sparmann, U.: Spurwechselvorgänge auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen; Heft 263 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn 1978.

Mohamed Ibrahim, M. Y.: Modell zur Anpassung eines städtischen Erschließungsnetzes an die wachsende Motorisierung in Entwicklungsländern unter besonderer Berücksichtigung des Radverkehrs. Dissertation Universität Karlsruhe, 1979

Im Buchhandel erhältlich:

Lenz, K.-H., Garsky, J.: Anwendung mathematisch-statistischer Verfahren in der Straßenverkehrstechnik;
Kirschbaum-Verlag 1968

Leutzbach, W.: Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses; Springer-Verlag 1972.

Beckmann, H., Jacobs, F., Lenz, K.-H., Wiedemann, R.,
Zackor, H.: Das Fundamentaldiagramm; Kirschbaum-Verlag
1973.

Die mit +) versehenen Veröffentlichungen sind vergriffen!