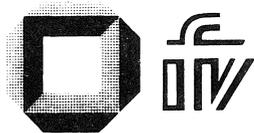


**Kay W. Axhausen**  
**Eine ereignisorientierte Simulation**  
**von Aktivitätenketten**  
**zur Parkstandswahl**

**INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN**  
**UNIVERSITÄT (TH) KARLSRUHE**  
PROFESSOR DR.-ING. W. LEUTZBACH



**Schriftenreihe Heft 40/89 ISSN 0341-5503**

Dissertation,  
genehmigt von der  
Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen  
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH).

Tag der mündlichen Prüfung : 14. November 1988  
Hauptreferent : Prof. Dr.-Ing. W. Leutzbach  
Koreferent : Prof. Dr.-Ing. M. Wermuth

# **Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur Parkstandwahl**

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTOR-INGENIEURS  
von der Fakultät für  
Bauingenieur- und Vermessungswesen  
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

genehmigte

DISSERTATION

von  
Kay W. Axhausen, M.S.  
aus Heidelberg

Tag der mündlichen Prüfung : 14. November 1988  
Hauptreferent : Prof. Dr.-Ing. W. Leutzbach  
Koreferent : Prof. Dr.-Ing. M. Wermuth

Karlsruhe  
Februar 1989

## Zusammenfassung

Axhausen, Kay W.:

Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur Parkstandwahl

139 Seiten, 45 Abbildungen und 56 Tabellen

Die Beschreibung des ruhenden Verkehrs wirft für die vorhandenen Modelle der Verkehrsplanung eine Reihe von grundsätzlichen Fragen auf. Die Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Ungleichgewichte, die zu Überlastungen im ruhenden Verkehr führen, erfordern, daß ein geeignetes Modell zumindest zwei Anforderungen erfüllen muß: a) Abbildung der Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer unter Berücksichtigung ihrer innern Logik; und b) Abbildung der Wechselwirkungen zwischen den Verkehrsteilnehmern im Straßenraum unter Einschluß der Konkurrenz um den Parkraum.

Die Arbeit beschreibt einen Modellansatz der diese Anforderungen erfüllt. Der Ansatz vereint ein Aktivitätenkettenmodell mit einer Verkehrsflußsimulation zu einer ereignisorientierten Simulation des täglichen Verkehrsverhalten.

Die Verwendbarkeit des Ansatzes wird durch eine erste ausführlich beschriebene Implementierung nachgewiesen und an Hand eines Beispielnetzes getestet.

Empirische Ergebnisse zum Parkstandwahlverhalten werden vorgestellt. Die Ergebnisse einer Suchzeitbefragung, als auch einer mathematischen Modellierung des Entscheidungsverhalten ergeben, daß im ruhenden Verkehr verschiedene Marktsegmente unterschieden werden müssen. Die Vernachlässigung der Unterschiede im Verhalten zwischen den Marktsegmenten ist nicht zulässig.

## Abstract

Axhausen, Kay W.:

A discrete-event simulation of activity-chains considering the choice of parking

139 pages, 45 figures and 56 tables

The description of parking raises a number of basic questions for the existing transportation planning methodology. The modelling of the spatial and temporal imbalances, which result in oversaturated conditions for parking, require, that an appropriate model fulfills the two following requirements: a) the description of the decisions taken by the travellers respecting the internal logic of the decision sequence; and b) description of the interactions between the the travellers on the road including the competition for parking space.

The dissertation describes a modelling approach satisfying these requirements. The approach brings together an activity-chain-model of travel behaviour with a traffic flow simulation. The approach organizes its task as an event-oriented simulation of daily travel behaviour.

The feasibility of the approach is demonstrated with a first computer implementation, which is described in detail. The implementation is tested for a number of conditions on example network.

Empirical results on the parking behaviour are presented. The results of a search time survey and a decision modelling exercise indicate the need to segment the market for parking. It is not permissible to neglect the differences between the market segment in the discussion of parking schemes.

## Resumé

Axhausen, Kay W.:

Une simulation des chain d'activités  
avec une description du trafic en stationnement

139 pages, 45 figures et 56 tableaux

La description du trafic en stationnement soulève toute une série de questions fondamentales pour les différents modèles de planification du trafic déjà existants. Pour la description des déséquilibres spaciaux et temporels conduisant à des surcharges du trafic en stationnement, il faut qu'un modèle adéquat remplisse au moins ces deux conditions: il doit refléter les décisions des participants au trafic en tenant compte de leur logique propre, de même qu'il doit refléter les interactions entre usagers de la route, en tenant compte de la concurrence pour les places de stationnement.

Cette thèse a pour objet l'ébauche d'un modèle remplissant ces conditions. Cette ébauche fait d'un modèle des chains d'activités des participants au trafic et de la simulation de la circulation, une simulation du comportement quotidien de la circulation.

L'utilité de cette ébauche est démontrée par le programme d'ordinateur détaillée établi à cette effet, lequel a été testé sur un exemple de réseau de circulation.

Des résultats empiriques quant au choix d'une place de stationnement sont présentés. Il ressort d'une enquête sur les temps nécessaire pour trouver une place ainsi de la traduction mathématique des décisions, que plusieurs segments du marché des places doivent être différenciés. On ne peut pas négliger les différences qu'il existe au niveau des places de stationnement.

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit wäre ohne vielfältige Unterstützung nicht denkbar gewesen. Professor Leutzbach und Professor Wermuth danke ich für die Übernahme von Referat und Koreferat und wertvolle Kritik und Anregungen. Bei der Erstellung des Rechnerprogramms haben mich die Herren cand.-inform. Lothar Stahl und cand.-wi.-ing. Markus Eberhardt, bei der Durchführung der Befragungen die Herren cand.-wi.-ing. Achim Beyerle und cand.-wi.-ing. Holger Schumacher und bei der Erstellung des Endausdrucks Frau Ele Fritz tatkräftig unterstützt. Allen fünf gilt mein Dank.

Dem Stipendium der Gottfried Daimler und Karl Benz-Stiftung verdanke ich die Ruhe des Aufenthalts an der Transport Studies Unit in Oxford, in der der endgültige Entwurf dieser Arbeit entstanden ist.

Aber auch die schöpferische Unruhe der letzten vier Jahre am Institut für Verkehrswesen, die mannigfaltigen Anregungen der Kollegen haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Karlsruhe, im Februar 1989

Kay W. Axhausen

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Vorbemerkung . . . . .	1
1.2	Aufgabe . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Stand der Technik: Aktivitätenforschung</b>	<b>3</b>
2.1	Vorbemerkung . . . . .	3
2.2	Zur Bestimmung verhaltensähnlicher Personenkreise . . . . .	3
2.3	Aspekte von Aktivitätenketten . . . . .	10
2.3.1	Abfolge der Aktivitäten . . . . .	10
2.3.2	Bewegung in der Zeit . . . . .	16
2.3.3	Bewegung im Raum . . . . .	16
2.4	Prognoseansätze für Aktivitätenketten . . . . .	21
2.4.1	Vorhersage der Reihenfolge der Aktivitäten . . . . .	21
2.4.2	Vorhersage der Teilnahme an Aktivitäten . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Stand der Technik: Aktivitätenorientierte Verkehrsmodelle</b>	<b>25</b>
3.1	Vorbemerkung . . . . .	25
3.2	Mikroskopische Simulation der Aktivitätenketten . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Stand der Technik: Modelle für den ruhenden Verkehr</b>	<b>31</b>
4.1	Vorbemerkung . . . . .	31
4.2	Beschreibung der Modelle . . . . .	31
4.3	Anmerkungen zu den Modellen . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Bausteine des Programmsystems</b>	<b>39</b>
5.1	Vorbemerkung . . . . .	39
5.2	Grobstruktur des Programmsystems . . . . .	39

5.3	Bausteine: ORIENT/RV . . . . .	41
5.3.1	Anforderungen und Modellansatz . . . . .	41
5.3.2	Struktur von ORIENT/RV . . . . .	41
5.3.3	Ereignisse der Simulation . . . . .	45
5.4	Bausteine: SAS/ORIENT . . . . .	45
<b>6</b>	<b>ORIENT/RV: Aspekte der Aktivitätenketten</b>	<b>49</b>
6.1	Vorbemerkung . . . . .	49
6.2	Abfolge der Entscheidungen . . . . .	49
6.3	Verhaltenshomogene Personenkreise . . . . .	49
6.4	Erzeugung der Aktivitätenketten . . . . .	49
6.5	Bestimmung der Hauptaktivitäten . . . . .	51
6.6	Verkehrsmittelwahl . . . . .	52
6.6.1	Verkehrsmittelwahl der Hauptaktivitäten . . . . .	52
6.6.2	Verkehrsmittelwahl der Nebenaktivitäten . . . . .	54
6.7	Zielwahl . . . . .	55
<b>7</b>	<b>ORIENT/RV: Parkplatzwahl</b>	<b>59</b>
7.1	Vorbemerkung . . . . .	59
7.2	Literaturübersicht . . . . .	59
7.3	Beschreibung des Ansatzes . . . . .	60
7.4	Entwicklung des Fragebogens . . . . .	61
7.5	Gestaltung des Fragebogens . . . . .	63
7.6	Stichprobe und Rücklauf . . . . .	71
7.6.1	Stichprobe . . . . .	71
7.6.2	Rücklauf . . . . .	71
7.6.3	Beschreibung der Befragten . . . . .	73
7.7	Kalibrierung . . . . .	77

7.7.1	Kalibrierung getrennt nach Entscheidungssituationen . . . . .	78
7.7.2	Kalibrierung getrennt nach Geschlecht . . . . .	78
7.7.3	Kalibrierung getrennt nach Altersgruppen . . . . .	78
7.7.4	Kalibrierung getrennt nach Entscheidungsgruppen . . . . .	78
7.8	Vergleich mit den Suchzeiten . . . . .	87
<b>8</b>	<b>ORIENT/RV: Bewegung im Netz</b>	<b>93</b>
8.1	Vorbemerkung . . . . .	93
8.2	Zu- und Abgang . . . . .	93
8.3	Bewegung im Netz . . . . .	94
8.3.1	Bewegung der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer . . . . .	94
8.3.2	Bewegung der Autofahrer/Mitfahrer . . . . .	94
8.3.3	Parkplatzsuche . . . . .	96
<b>9</b>	<b>Beispielanwendungen</b>	<b>101</b>
9.1	Vorbemerkung . . . . .	101
9.2	Nullfall . . . . .	101
9.3	Parkraumverlagerung . . . . .	102
9.4	Parkraumrestriktion . . . . .	103
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>111</b>
<b>11</b>	<b>Literatur</b>	<b>113</b>
<b>A</b>	<b>Implementierung SAS/ORIENT</b>	<b>121</b>
A.1	Einleitung . . . . .	121
A.2	ORIENT . . . . .	122
A.3	ANALYSE . . . . .	123
<b>B</b>	<b>Implementierung ORIENT/RV</b>	<b>135</b>

B.1 Übersicht . . . . .	135
B.2 Prozeduren der ersten und zweiten Ebene . . . . .	135

# Tabellenverzeichnis

1	Zeitvergleich 1976-1982 der Mobilitätskenngrößen von Personen mit Pkw-Verfügbarkeit . . . . .	11
2	Vergleich 1976-1982 der Tagesprogramme (%) von Personen mit Pkw-Verfügbarkeit . . . . .	12
3	Zeitvergleich 1976-1982 der Mobilitätskenngrößen von Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit . . . . .	13
4	Vergleich 1976-1982 der Tagesprogramme (%) von Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit . . . . .	14
5	Vergleich der Wegehäufigkeiten der mobilen Personen für alle und für ausgewählte Aktivitätenketten . . . . .	15
6	Übersicht über die Modelle für den ruhenden Verkehr . . . . .	32
7	Übersicht über die Modelle für den ruhenden Verkehr (2) . . . . .	33
8	Berücksichtigte Personenkreise . . . . .	51
9	Übersicht über die Pflichtaktivitäten . . . . .	57
10	Verfügbare Verkehrsmittel für Fall 2/Fall 3 . . . . .	57
11	Attraktivitätsmerkmale der Aktivitäten . . . . .	58
12	Ausprägungen der Einflußgrößen . . . . .	63
13	Versuchsplan . . . . .	64
14	Rücklaufquoten . . . . .	71
15	Vergleich der Befragten der beiden Stichprobe . . . . .	73
16	Gruppenbildung bei den Parkplatzentscheidungen . . . . .	74
17	Anteile der Gruppen . . . . .	74
18	Antwortkombinationen der Befragten . . . . .	75
19	Verteilung der Geschlechter . . . . .	75
20	Alterverteilung . . . . .	76
21	Verteilung der Berufe . . . . .	76

22	Verteilung der Berufstätigkeit . . . . .	77
23	Verteilung der Pkw-Verfügbarkeit . . . . .	77
24	Ergebnisse der Befragung Modelle getrennt nach Entscheidungssituationen . . . . .	80
25	Ergebnisse der Befragung Modelle getrennt nach Geschlecht . . . . .	81
26	Ergebnisse der Befragung Modelle getrennt nach Altersgruppen . . . . .	82
27	Ergebnisse der Befragung Modelle getrennt nach Entscheidungsgruppen . . . . .	83
28	Mittlere Parkplatzsuchzeiten . . . . .	87
29	Suchzeitverteilung . . . . .	88
30	Mittlere Parkdauer und Parkdauerverteilung (Standardabweichung in Klammern) . . . . .	88
31	Mittlere Suchzeiten für die Fahrtzwecke Arbeit, Einkauf und Be- sorgung (Standardabweichungen in Klammern) . . . . .	89
32	Mittlere Suchzeiten nach Anfahrzeit (Standardabweichung in Klammern) . . . . .	90
33	Suchzeit nach Zugangszeit (Standardabweichung in Klammern) . . . . .	91
34	Berechnungsansätze für Zu- und Abgangszeiten . . . . .	93
35	Berechnungsansätze für die Fahrt/Wegezeiten der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer . . . . .	94
36	Verkehrsmittelwahl - Nullfall . . . . .	102
37	Verteilung der Fahrtzwecke . . . . .	102
38	Anzahl der Suchfahrten und Parkversuche: Nullfall . . . . .	103
39	Anzahl der Suchfahrten und der Parkversuche: Parkraumverlagerung	103
40	Verkehrsmittelwahl; Fall: Parkraumrestriktion . . . . .	104
41	Makros des Elements ORIENT . . . . .	124
42	Beschreibung der Datei pd.faele . . . . .	125

43	Beschreibung der Datei pd.d.a-<>-	125
44	Beschreibung der Datei pd.d.k-<>-	126
45	Beschreibung der Datei d.m-<>-	126
46	Beschreibung der Datei pd.d.n-<>-	127
47	Beschreibung der Datei pd.d.f-<>-	127
48	Beschreibung der Datei pd.d.p-<>-	128
49	Beschreibung der Datei pd.d.s-<>-	128
50	Beschreibung der Datei pd.d.z-<>-	128
51	Beschreibung der Datei work.fahrt	129
52	Beschreibung der Datei work.t.fahrt	130
53	Beschreibung der Datei work.g.fahrt	130
54	Makros des Elements ANALYSE	131
55	Inhalte der Dateielemente	135
56	Rechenzeiterfahrungen	136

# Abbildungsverzeichnis

1	Verhaltensähnliche Personenkreise nach SCHMIEDEL . . . . .	5
2	Aktivitätenmuster nach RECKER et al. . . . .	6
3	Homogene Gruppen nach KUTTER . . . . .	7
4	Lebenszyklus nach STAPLETON . . . . .	9
5	Entscheidungsräume . . . . .	17
6	Prozentuale Verteilung der Aktivität Freizeit auf die Verkehrszellen: Ehemann älter als 44 Jahre in Arbeiterfamilie mit 1 Erwerbstätigen . . . . .	18
7	Prozentuale Verteilung der Aktivität Freizeit auf die Verkehrszellen: Ehemann älter als 44 Jahre in Beamtenfamilie mit 1 Erwerbstätigen . . . . .	19
8	Relative Lage der Standorte nachgeordneter Aktivitäten, die auf dem Rückweg von der Haupttätigkeit zur Wohnung aufgesucht werden (Nichterwerbstätige) . . . . .	20
9	Relative Lage nachgeordneter Aktivitäten, die während der Arbeit aufgesucht werden . . . . .	20
10	Grobstruktur des Modells von ROOT und RECKER . . . . .	23
11	Ablaufdiagramm des Modells ORIENT . . . . .	26
12	Ablaufdiagramm des Modells von SCHMIEDEL . . . . .	28
13	Ablaufdiagramm des Modells von KÜCHLER . . . . .	29
14	Rechenschema aus LEUTZBACH und WILLMANN . . . . .	34
15	Struktur des Modells *CLAMP* . . . . .	37
16	Übersicht über das Programmsystem . . . . .	40
17	Mobile Zeiten im Tagesverlauf . . . . .	43
18	Ereignisabfolge für eine Person . . . . .	44
19	Übersicht über SAS/ORIENT . . . . .	47
20	Abfolge der Entscheidungen . . . . .	50

21	Fallunterscheidung bei der Verkehrsmittelwahl . . . . .	54
22	Logik der Zielwahl . . . . .	56
23	Anschreiben . . . . .	65
24	Erläuterungen zum Ausfüllen des Fragebogens . . . . .	66
25	Beispiel . . . . .	67
26	Erläuterung des Beispiels . . . . .	68
27	Beispiel einer Frage . . . . .	69
28	Sozio-ökonomische Fragen . . . . .	70
29	Untersuchungsgebiet in der Karlsruher Innenstadt . . . . .	72
30	Residuen für Gruppe "4 - Nie im Parkverbot" . . . . .	84
31	Residuen für Gruppe "7 - Alle Parkstandstypen" . . . . .	85
32	Beispiel einer Wechselwirkung . . . . .	86
33	Ablauf der Wahl des Parkziels und des Parkstandstypes . . . . .	91
34	Logik der Simulation des Ereignisses Fahrt . . . . .	95
35	Logik der Parkplatzsuche . . . . .	97
36	Abhängigkeit der Suchzeit von der Belegung . . . . .	98
37	Abhängigkeit der Suchzeit von der Belegung und der Tageszeitzeit . . . . .	99
38	Ganglinie der Parknachfrage - Nullfall Zelle 6 . . . . .	105
39	Ganglinie der Parknachfrage - Nullfall Zelle 15 . . . . .	106
40	Belegungsganglinien in Zelle 6 - Nullfall . . . . .	107
41	Ganglinie der Parkraumnachfrage Zelle 4 Vergleich: Nullfall - Parkraumverlagerung - . . . . .	108
42	Parksuchzeiten von Zelle 6 aus - Vergleich: Nullfall - Parkraumverlagerung - . . . . .	109
43	Ganglinie der Parkraumnachfrage Zelle 6 Vergleich: Nullfall - Parkraumrestriktion - . . . . .	110
44	Hauptmenue . . . . .	132

45 Eingabemaske von d.a.<> . . . . . 133

# Inhalt der Diskette

Die Diskette ist auf Anforderung vom Autor erhältlich.

Subdirectory ORIENT (Programmtext von ORIENT/RV):

1. RV0
2. RV1
3. RV2
4. RV3
5. RV4
6. RV5
7. RV6
8. RV7
9. RV8
10. RV9
11. RV

Subdirectory DB (Programmtext von SAS/ORIENT):

1. PDB0
2. PDB1
3. RV0B

Subdirectory DATEN (Beispieldaten):

1. ADAT
2. FDAT
3. MDAT
4. NDAT
5. PDAT

6. SDAT
7. ZDAT.1
8. ZDAT.2
9. ZDAT.3

# 1 Einleitung

## 1.1 Vorbemerkung

Auf der Grundlage des Vier-Stufen-Verkehrsplanungsalgorithmuses und der mikroskopischen Simulation des Verkehrsflusses sind in den letzten zwei Jahrzehnten eine Vielzahl von Modellen entwickelt worden, die viele der speziellen Probleme der Verkehrsplanung und Verkehrstechnik ansprechen.

Die aktivitätenorientierten Verkehrsmodelle in der Nachfolge von HÄGER-STRAND (1970), zum Beispiel, verbessern die Abbildung der inneren Logik des Verkehrsverhalten, indem sie die Wegeketten und ihre inneren Zwänge berücksichtigen. Die Umlegungs- und mikroskopischen Simulationsprogramme fließen zusammen in den Modellen der dynamischen Umlegung, wie zum Beispiel in DYNEMO (SCHWERDTFEGER in LEUTZBACH, HAAS, PAPAVALIOU und SCHWERDTFEGER (1987)). In den Vier-Stufen-Modellen verbessern Rückkopplungen und Modelle, die mehrere Stufen gleichzeitig abbilden, die Modellierung der Verkehrsentscheidungen.

Die verstärkte Bedeutung und Beachtung, die die Probleme des ruhenden Verkehrs in den letzten Jahren gefunden haben, machte deutlich, daß die Abbildung des ruhenden Verkehrs bisher noch nicht befriedigend gelöst ist. Insbesondere die Abbildung der Wechselwirkungen des ruhenden Verkehrs mit dem Verkehrsaufkommen ist schwierig, da eine explizite Zeitachse in den bisherigen Verkehrsplanungsmodellen fehlt. Die fehlende Zeitachse machte die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Entscheidungen, die zum gleichen Zeitpunkt getroffen werden, und deren Einfluß auf spätere Entscheidungen unmöglich. In den Vier-Stufen-Modellen wird über die Berechnung eines Angebots- und Nachfragegleichgewichts die Wechselwirkung zwischen gleichzeitigen Ereignissen abgebildet. Der Zusammenhang dieser Entscheidungen mit den Entscheidungen des nächsten Zeitintervalls wird aber nicht mehr vollständig hergestellt. Aktivitätenorientierte Modelle erlauben zwar die Berücksichtigung früherer Entscheidungen, vernachlässigen aber die Wechselwirkungen mit gleichzeitigen Ereignissen.

Die Möglichkeit, sowohl die Wechselwirkung gleichzeitiger Entscheidungen als auch die Auswirkungen früherer Entscheidungen zu untersuchen, ist wesentlich für die Analyse der Probleme des ruhenden Verkehrs, in der sowohl die gleichzeitige als auch die tageszeitliche Konkurrenz um den Parkraum - Stichworte: Pendler, Einkäufer - interessiert. Diese Probleme bilden immer mehr den Mittelpunkt der Diskussion städtischer Verkehrsprobleme, ob im Verkehrssystemmanagement oder in der Wohnumfeldverbesserung. Der Stand der Diskussion, wie ihn BAIER, MORITZ und SCHÄFER (1984) zusammenfassen, zeigt das Fehlen geeigneter Analyse- und Bewertungsmethoden. Die Probleme des ruhenden Verkehrs und seine Wechselwirkungen mit allen anderen Verkehrsproblemen erfordern die Entwicklung des hier vorzustellenden Modells, das die Möglichkeit bietet, sowohl die Wechselwirkung zwischen gleichzeitigen Ereignissen als auch die Auswirkungen

früherer Entscheidungen abzubilden.

Vor der genaueren Beschreibung der vorliegenden Aufgabe, die im nächsten Unterabschnitt erfolgt, folgt eine kurze Übersicht über den weiteren Text. Die drei folgenden Abschnitte stellen den Stand der Technik in den drei Teilbereichen der Forschung dar, auf denen das vorzustellende Modell aufbaut: Aktivitätenforschung, aktivitätsorientierte Verkehrsmodelle und Modelle des ruhenden Verkehrs. Der fünfte Abschnitt erläutert die Bausteine des Programmsystems und die Struktur des vorgeschlagenen Modells. Die drei darauf folgenden Abschnitte stellen die Modellansätze in Einzelheiten dar. Der vorletzte Abschnitt zeigt Anwendungsbeispiele des Modells aus dem Bereich der Parkraumbewirtschaftung. Die Zusammenfassung ordnet die gefundene Lösung ein und diskutiert weitere Fragen und Perspektiven.

## 1.2 Aufgabe

Es soll ein Modell entwickelt werden, um die Wechselwirkungen zwischen gleichzeitigen Entscheidungen mehrerer Verkehrsteilnehmer und den Einfluß früherer Entscheidungen auf die momentanen Entscheidungen einzelner Verkehrsteilnehmer abzubilden. Die Konkurrenz um den Parkraum in einem Teil des Verkehrsnetzes ist ein Beispiel für die Rolle der ersten Teilaufgabe. Der Einfluß der Verkehrsmittelwahl für die erste Aktivität auf die Verkehrsmittelwahl der weiteren Aktivitäten ist ein Beispiel für die Rolle der zweiten Teilaufgabe.

Es fehlen allgemein formulierte Entscheidungsmodelle der Wahl zwischen verschiedenen Parkstandstypen und den möglichen Parkstandsorten. Diese beiden Entscheidungsmodelle müssen als Teil der Gesamtaufgabe entwickelt werden, da die Probleme des ruhenden Verkehrs Anlaß der Modellentwicklung sind.

Die Möglichkeit, daß ein Parkplatzwunsch nicht an der ausgewählten Stelle und nicht mit dem ausgewählten Parkstandstyp befriedigt werden kann, führt zu zusätzlichen Suchfahrten und neuen Entscheidungen. Um die Fahrten im Netz und die Suche in bestimmten Teilen des Netzes abbilden zu können, muß für das vorgeschlagene Modell eine einfache Beschreibung der Bewegung im Netz formuliert werden.

Zusammenfassend, das Ziel dieser Arbeit ist die Formulierung eines Modells, das bei Berücksichtigung gleichzeitiger und früherer Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer den Verkehrsablauf im Netz in Grundzügen abbildet.

## 2 Stand der Technik: Aktivitätenforschung

### 2.1 Vorbemerkung

Die Unzufriedenheit mit den Regressionsansätzen in dem traditionellen "Vier-Stufen"-Verkehrsmodell führte ab Anfang der 70iger Jahre zu einer intensiven Suche nach den zugrunde liegenden Verhaltensstrukturen - nicht nur bei der Verkehrserzeugung (siehe MÄCKE, 1981). Die Forschung konzentrierte sich auf zwei Fragenkomplexe:

- Mathematische Modellierung von Entscheidungen unter Verwendung von Ansätzen aus der Ökonometrie
- Erforschung der Wechselwirkungen zwischen Personen, Haushalten, Zeitbudgets und Aktivitätenketten.

Die Literatur zu beiden Fragenkomplexen ist heute unübersehbar. Da die aktivitätsorientierten Modelle schon eine implizite Zeitachse enthalten, soll in den nächsten beiden Abschnitten die Literatur über die Aktivitätenforschung und über aktivitätsorientierte Verkehrsmodelle ausschnittsweise vorgestellt werden (Umfassendere Übersichten bieten zum Beispiel: DAMM (1983) und HOROWITZ (1985)). Die Ergebnisse der ökonometrischen Forschungen sind an anderer Stelle zusammengefaßt worden (siehe DAGANZO, 1979) und werden deshalb nur bei den entsprechenden Unterabschnitten herangezogen. Im folgenden werden Ergebnisse zu der Bestimmung verhaltenshomogener Personenkreise (Unterabschnitt 2.2) und zu den räumlichen, zeitlichen und strukturellen Aspekten von Aktivitätenketten (Unterabschnitt 2.3) vorgestellt.

### 2.2 Zur Bestimmung verhaltensähnlicher Personenkreise

Die allgemein vorgetragene Kritik der räumlich-aggregierenden Vorgehensweise des traditionellen "Vier-Stufen"-Verkehrsmodells bemängelte vor allem den Verlust an Information über die unterschiedlichen Personen, die innerhalb einer räumlichen Einheit wohnen oder arbeiten. Es ist jedoch unmöglich, jede einzelne Person zu berücksichtigen, wie diese Kritik im Extremfall nahelegen würde. Die Personen müssen in größeren Einheiten beschrieben werden, die hier in Anlehnung an SCHMIEDEL (1984) verhaltensähnliche Personenkreise genannt werden sollen.

In der Verkehrserzeugung haben Modelle Anwendung gefunden, die Personen durch ihre individuellen Merkmale klassifizieren (siehe z.B. WERMUTH, 1978). Die Klassifikation nach Merkmalen wie Alter, Geschlecht, Ehestand, Pkw-Besitz, Beruf oder Einkommen hat wesentliche Nachteile bei der Gruppenbildung. Einige dieser Größen sind stark korreliert, so daß viele Zellen in der sich ergebenden Kontingenztafel nicht ausreichend gefüllt werden können. Diese Modelle sollen deshalb hier für die Gruppenbildung nicht weiter verfolgt werden. Zur Bestimmung des Einflusses dieser Faktoren auf die Verkehrserzeugung sind diese Ansätze natürlich geeignet.

Bei der Bestimmung von Personenkreisen, die hinsichtlich ihres Aktivitätenverhaltens homogen sind, sind zwei Vorgehensweisen denkbar:

- Bestimmung von verhaltenshomogenen Personenkreisen aufgrund ihrer Verhaltensmuster und
- Überprüfung der Ähnlichkeit des mittleren Verhaltens von vorabdefinierten Personenkreisen.

RECKER, McNALLY und ROOT (1983) verfolgen den ersten Weg. Mit Hilfe eines komplexen Verfahrens zur Extraktion von vereinfachten aus komplexeren Mustern werden für jede Person der Stichprobe drei Muster bestimmt: ein räumliches, ein zeitliches und ein Aktivitätenmuster. Die Personen wurden durch Clusteranalyse zu fünf Personenkreisen und die Aktivitätenmuster zu neun repräsentativen Mustern zusammengefaßt. In Abbildung 2 ist zu erkennen, daß den einzelnen Aktivitätenmustern in der vorliegenden Form nicht immer eindeutig ein Personenkreis zugeordnet werden kann. Diese Ergebnisse sind deshalb schwierig in einem Verkehrsmodell zu verwenden. Zudem geben die vereinfachten Aktivitätenmuster keine Auskunft über die Anzahl der Fahrten.

Ein erstes Beispiel für den zweiten Weg stellt die Arbeit von KUTTER (1972) dar. Er arbeitet auf der Grundlage von Daten aus Norddeutschland mit vorab definierten Personenkreisen. Der Autor stellt für diese Personenkreise Ortsveränderungsmuster und Mobilitäten zusammen. Diese Muster werden durch eine Faktorenanalyse auf einen dreidimensionalen Raum abgebildet, in dem sich die Unterschiede zwischen den Personenkreisen herauskristallisieren. KUTTER unterscheidet 38 Gruppen nach Alter, Geschlecht, Schicht, Pkw-Besitz, Beruf und Kinderzahl (siehe Abbildung 3). Für diese Vielzahl von Gruppen liegen in der praktischen Anwendung oft keine empirischen Daten vor. KUTTER schlägt deshalb ein vereinfachtes Modell mit neun Personenkreisen vor:

1. Kinder unter 5 Jahre
2. Kinder zwischen 5 und 15 Jahren
3. erwerbstätige Männer mit Pkw

4. erwerbstätige Männer ohne Pkw
5. erwerbstätige Frauen mit Pkw
6. erwerbstätige Frauen ohne Pkw
7. Hausfrauen mit Pkw
8. Hausfrauen ohne Pkw
9. Rentner

SCHMIEDEL (1984) kommt in seiner Untersuchung zu einem ähnlichen Ergebnis wie KUTTER. Er verwendet die Daten der KONTIV 76, um für vorgegebene Personenkreise die Zeitbudgets der verschiedenen Aktivitäten zu berechnen, die dann in eine Clusteranalyse eingehen. Der Autor schlägt eine Lösung mit sieben Personenkreisen vor (siehe Abbildung 1).

Diese Gliederungen nehmen keinen Bezug auf die Randbedingungen, die durch kleinere Kinder und andere Familienangehörige gebildet werden. Sie sind aber ausreichend, wenn Familienzusammenhang vernachlässigt wird.

Abbildung 1:  
Verhaltensähnliche Personenkreise nach SCHMIEDEL

Gesamtbevölkerung						
Erwerbstätige			Nicht Erwerbstätige			
mit Pkw	ohne Pkw		Schüler Lehrlinge Studenten		Hausfrauen Rentner Sonst.	
	männlich	weiblich	Stud.	Schüler Lehrlinge	mit Pkw	ohne Pkw
28.1	16.5	11.0	2.1	19.9	4.4	28.0

Quelle: nach SCHMIEDEL, 1984, S. 85

Abbildung 2:  
Aktivitätenmuster nach RECKER

Code Share	Travel/Activity Characteristics	Socio-Economic Characteristics
A 5%	Single work trip about 25 miles, No evening travel	Predominantly employed, male household heads Age (25-34) 97% Drivers
B 8%	Single work trip of about 7 miles, Evening shopping trip	Predominantly employed, male household heads Age (35-44) 93% Drivers
C 13%	Work/school activity within 3 miles of home, evening social/recreation activity	Non-employed spouses and children, even sex and age distributions 57% Drivers
D 9%	Multiple non-work sojourns within 5 miles of home, no evening travel	Predominantly female non-employed Age (>25) 71% Drivers
E 7%	Single work trip about 15 miles, Evening work/school activity within 2 miles	Predominantly employed, male household heads Age (25-54) 96% Drivers
F 1%	Single work trip of about 2 miles Multiple non-work evening sojourns, no return trip home before 12 A.M.	NA
G 46%	single school/work trip 1 mile, no evening travel	Predominantly female 50% employed adults 50 % school aged children 47 % Drivers
H 10%	Single work trip about 7 miles, No evening travel	Predominantly employed, even sex distribution Age (25-54) 76% Drivers
I 1%	Extremely long travel (not identified)	NA

Quelle: nach RECKER et. al., 1983, S. 447



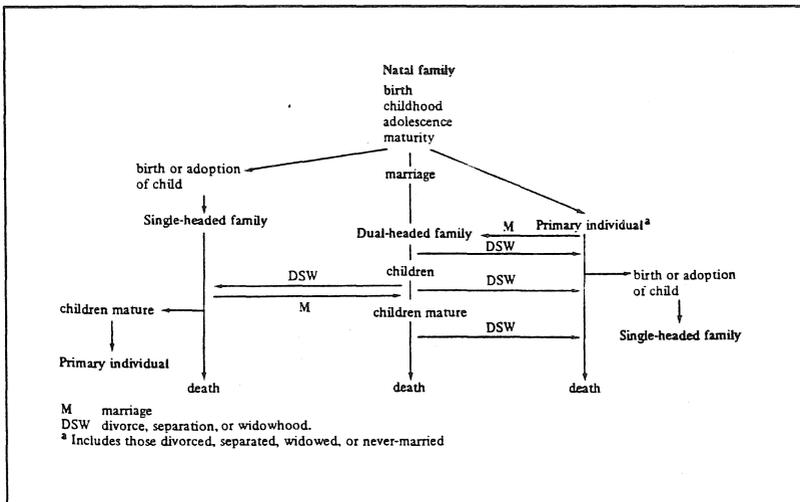
Diese Randbedingungen werden von JONES, DIX, CLARKE und HEGGIE (1980) in der Nachfolge von HÄGERSTRAND (1970) in den Vordergrund gerückt. Sie wählen als Grundeinheit ihrer Überlegungen nicht die Einzelperson, sondern den Haushalt und bauen damit auf dem Konzept des "Lebenszyklus" auf. Sie entwickeln für acht Typen von Haushalten exemplarische Tagesabläufe, die sich in der Folge empirisch bestätigen lassen. Die Clusteranalyse der Zeitbudgets bestätigt die Verschiedenheit der acht Gruppen, zeigt aber auch, daß sich die Gruppen D bis G ohne großen Informationsverlust zusammenfassen lassen:

- A Junge Erwachsene ohne Kinder
- B Familien mit Kleinkindern (unter 4 Jahren)
- C Familien mit Kleinkind (unter 4 Jahren) und anderen Kindern (über 5 Jahre)
- D Familien mit grundschulpflichtigen Kindern (zwischen 5 und 15 Jahren)
- E Familien mit Kindern in der Sekundarstufe
- F Familien mit erwachsenen Kindern
- G Familien ohne Kinder
- H Rentnerhaushalte

Die Zeitbudgets der Einzelpersonen dieser Haushaltstypen wurden nicht mehr weiter untersucht. Es wurde nicht geklärt, ob sich die Muster der Einzelpersonen zwischen den verschiedenen Haushaltstypen unterscheiden (zum Beispiel für den Haushaltsvorstand, die Hausfrau oder die Kinder der verschiedenen Altersstufen).

Beispielhaft für eine Reihe von Autoren sei hier das Schema von STAPLETON (1980) für den Lebenszyklus vorgestellt, das auch nicht-traditionelle Lebensarrangements zu berücksichtigen versucht (siehe Abbildung 4). Vor allem merkt die Autorin an, daß sich die traditionelle Familie in den USA auf dem Rückzug befindet und daß sich der Anteil von Alleinlebenden und von alleinerziehenden Eltern immer weiter erhöht. Untersuchungen, die versuchen, Aktivitätsmuster unter Berücksichtigung dieses Schemas zu analysieren, sind nicht bekannt.

Abbildung 4:  
Lebenszyklus nach STAPLETON



Quelle: STAPLETON, 1980, S. 1109

## 2.3 Aspekte von Aktivitätenketten

Die Vielschichtigkeit des Aktivitätenverhaltens in Raum, Zeit und Gesellschaft verbietet bisher eine simultane Betrachtung aller Aspekte der Aktivitätenketten. Es sollen deshalb in diesem Unterabschnitt die folgenden Aspekte der Aktivitätenketten einzeln behandelt werden:

- Abfolge der Aktivitäten
- Bewegung in der Zeit
- Bewegung im Raum

### 2.3.1 Abfolge der Aktivitäten

Es ist sinnvoll die einzelnen Glieder einer Aktivitätenkette nach ihrer Bedeutung für die Gestaltung der Kette zu unterscheiden. Die zentrale Bedeutung der "Pflicht"-Aktivitäten für die Gestalt der gesamten Aktivitätenkette ist offensichtlich: Arbeit für den Erwerbstätigen, Schule für den Schüler, usw.. Dieses zentrale Glied der Kette übt einen bestimmenden Einfluß auf Ort, Dauer und das gewählte Verkehrsmittel für die weiteren Aktivitäten aus. Die Identifikation der nächstwichtigsten Aktivitäten nach diesen Hauptaktivitäten ist nicht trivial. In einer ausführlichen holländischen Studie haben ANTONISSE, DALY und GUNN (1986) dieses Problem untersucht. Trotz Versuchen mit komplexen mathematischen Modellen liefert die folgende heuristische Regel die besten Ergebnisse:

Die Wichtigkeit einer Aktivität nimmt in folgender Reihenfolge ab:

1. Pflichtaktivität (Arbeit, Schule)
2. Andere mit der Pflichtaktivität verbundene Aktivitäten
3. Andere Aktivität mit der längsten Dauer

Im folgenden wird zwischen Haupt/Pflicht- und Nebenaktivitäten unterschieden.

Ein erster Schritt zur Analyse von Aktivitätenketten ist die Identifizierung der Arten von Aktivitätenketten und ihrer Verteilung auf die verschiedenen verhaltensähnlichen Personenkreise. Auf der Basis der KONTIV 76 und 82 hat HERZ diese Frage umfassend untersucht. In HERZ (1984, 1986) finden sich die Ergebnisse, die in den Tabellen 1 bis 4 wiedergegeben sind.

Tabelle 1:  
Zeitvergleich 1976-1982 der Mobilitätskenngrößen  
von Personen mit Pkw-Verfügbarkeit

Personenkreis Mobilitäts- kenngröße		Personen mit Pkw-Verfügbarkeit											
		erwerbstätige Frauen			erwerbstätige Männer			Hausfrauen			Rentner		
		'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ
Häuslichkeitsquote		0,11	0,11	.	0,07	0,08	+	0,21	0,19	.	0,21	0,24	.
Wegehäufigkeit [Anzahl/mobile Person u.Tag]	FuRaMo	1,01	0,96	.	0,55	0,62	++	1,45	1,57	.	1,08	1,12	.
	IV	2,32	2,43	.	3,07	2,86	--	2,04	1,79	--	2,33	2,03	--
	DV	0,31	0,27	.	0,15	0,21	.	0,14	0,17	.	0,14	0,23	++
	Σ	3,64	3,66	.	3,77	3,69	.	3,63	3,53	.	3,55	3,38	.
Reisezeitbudget [Min/mobile Person u.Tag]	FuRaMo	13,8	14,8	.	8,4	9,9	+	23,8	26,5	.	30,1	38,3	.
	IV	42,0	47,2	++	72,4	71,7	-	34,4	35,5	.	55,0	59,3	.
	DV	13,0	13,2	.	8,8	10,9	+	5,5	6,2	.	7,5	13,9	+
	Σ	68,8	75,2	++	89,6	92,6	.	63,7	68,2	.	92,6	111,5	++
Tagesdistanz [km/mobile Person u.Tag]	FuRaMo	1,1	1,3	.	0,7	1,1	++	1,6	2,0	.	1,5	1,8	.
	IV	22,4	25,0	.	43,3	44,5	.	19,3	16,0	.	29,4	30,3	.
	DV	4,7	4,0	.	5,4	5,4	.	2,4	2,3	.	3,3	4,4	.
	Σ	28,2	30,3	.	49,4	51,0	.	23,3	20,3	.	34,2	36,5	.
Wegdauer [Min/Weg]	FuRaMo	13,7	15,4	++	15,1	15,9	.	16,3	16,9	.	27,7	34,2	.
	IV	18,0	19,4	.	23,6	25,0	++	16,8	19,8	++	23,6	29,1	++
	DV	42,2	47,8	.	56,2	52,5	.	38,1	45,7	.	50,4	58,6	.
	φ	19,0	20,5	.	23,9	25,0	++	14,4	19,3	+	26,0	32,9	++
Weglänge [km/Weg]	FuRaMo	1,1	1,3	++	1,3	1,7	++	1,1	1,8	++	1,4	1,7	.
	IV	9,6	10,3	.	14,1	15,5	++	9,4	8,9	.	12,6	14,9	.
	DV	15,1	14,5	.	34,6	26,2	-	16,1	13,5	.	21,6	18,4	.
	φ	7,7	8,7	.	13,1	13,8	+	6,4	5,8	.	9,6	10,8	.
Geschwindigkeit [km/Std]	FuRaMo	5,6	6,3	++	5,9	7,3	++	5,9	6,5	.	4,6	4,9	.
	IV	26,7	30,1	+	30,3	33,0	++	25,8	26,7	.	26,2	26,6	.
	DV	18,6	18,5	.	31,4	26,8	-	18,7	18,2	.	18,5	18,7	.
	φ	20,2	23,0	++	26,8	29,0	++	17,6	17,4	.	19,3	18,9	.

Quelle: HERZ, 1984, S. 55

Tabelle 2:  
Vergleich 1976-1982 der Tagesprogramme (%)  
von Personen mit Pkw-Verfügbarkeit

Personenkreis Aktivitätenfolge	Personen mit Pkw-Verfügbarkeit												
	erwerbstätige Frauen			erwerbstätige Männer			Hausfrauen			Rentner			
	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	
1	10,6	10,7	-	7,0	8,2	+	20,7	19,1	-	21,2	24,4	-	
1 2		1,0	-		1,6	-							
1 2 1	23,6	25,5	-	28,6	31,3	++	1,9	2,2	-	8,7	1,8	--	
1 2 1 2 1		1,9	4,1	++	1,8	4,8	++						
1 2 1 5 1		5,9	5,4	-	3,7	3,2	-						
1 2 1 5 1 7 1			1,7	++									
1 2 1 7 1	3,6	6,0	++	5,5	7,5	++				1,4			
1 2 3 2 1				2,2	1,4	--							
1 2 5 1		2,9	3,7	-	1,1	1,2	-						
1 2 5 2 1		1,2	1,7	-									
1 2 7 1		1,1	1,6	-		1,0	-						
1 2 7 2 1		3,4	--	3,8		--					2,2		
1 5 1		5,3	4,4	-		1,3	+	21,6	21,8	-	14,7	14,2	-
1 5 1 2 1		1,4											
1 5 1 5 1							5,0	3,8	-	2,5	2,1	-	
1 5 1 5 1 7 1							1,2						
1 5 1 7 1	1,4						6,5	8,0	-	3,9	6,5	+	
1 5 1 7 1 7 1								1,8	++				
1 5 1 7 7 1											1,2		
1 5 5 1		1,2	-				3,4	2,7	-	2,3	1,4	--	
1 7										1,4	1,2	-	
1 7 1		2,2	1,7	-		1,6	+	5,7	7,8	++	6,4	12,2	++
1 7 1 5 1								1,6	2,4	-	1,1	2,0	-
1 7 1 7 1							1,8	1,9	-	2,7	4,1	-	
1 7 5 1								1,5	-		1,4	-	
sonstige	33,3	33,5	-	44,7	38,5	-	30,6	27,0	-	31,5	27,5	-	
Aktivitätenschlüssel	1 zu Hause 2 Arbeit			3 Dienstgeschäft 5 Einkauf			7 Freizeit						

Quelle: HERZ, 1984, S. 57

**Tabelle 3:**  
**Zeitvergleich 1976-1982 der Mobilitätskenngrößen**  
**von Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit**

Personenkreis Mobilitäts- kenngröße		Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit												
		erwerbstätige Frauen			erwerbstätige Männer			Hausfrauen			Rentner			
		'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	
Häuslichkeitsquote [...]		0,09	0,11	-	0,11	0,11	-	0,29	0,30	-	0,36	0,33	-	
Wegehäufigkeit		FuRaMo	1,74	1,73	-	1,52	1,41	-	2,29	2,14	-	2,07	1,98	-
[Anzahl/mobile]		IV	0,18	0,16	-	0,35	0,25	-	0,13	0,16	-	0,12	0,06	-
[Person u. Tag]		ØV	1,09	1,23	-	0,93	1,15	-	0,50	0,70	++	0,63	0,96	++
		Σ	3,01	3,12	-	2,80	2,81	-	2,92	3,00	-	2,82	3,00	-
Reisezeitbudget		FuRaMo	30,0	21,9	-	26,9	28,7	-	44,3	45,7	-	58,9	48,3	-
[Min/mobile]		IV	3,9	3,4	-	7,6	8,4	-	2,8	2,8	-	2,9	1,9	-
[Person u. Tag]		ØV	43,1	47,1	-	41,2	46,2	-	19,1	26,3	-	28,4	42,4	++
		Σ	77,0	72,4	-	75,7	83,3	-	66,2	74,8	-	82,1	92,5	-
Tagesdistanz		FuRaMo	2,0	2,0	-	3,0	3,5	-	2,5	2,7	-	2,6	3,0	-
[km/mobile]		IV	2,1	2,4	-	3,6	4,7	-	1,6	1,3	-	1,3	0,5	-
[Person u. Tag]		ØV	12,6	18,1	-	14,4	16,0	-	5,5	7,1	-	7,6	9,9	-
		Σ	16,7	22,5	-	21,0	24,2	-	9,6	11,1	-	11,5	13,4	-
Wegdauer		FuRaMo	17,2	12,5	-	17,6	20,4	-	19,3	21,3	-	26,0	24,3	-
[Min/Weg]		IV	21,0	20,9	-	21,5	32,6	++	21,3	17,3	-	23,9	27,2	-
		ØV	39,4	38,1	-	44,1	40,0	-	37,9	37,6	-	40,3	44,0	+
		Ø	25,4	23,0	-	26,9	29,5	-	22,6	24,9	-	29,1	30,6	-
Weglänge		FuRaMo	1,6	1,1	-	1,9	2,5	+	1,1	1,3	-	1,2	1,5	++
[km/Weg]		IV	11,1	15,0	-	10,2	18,5	++	12,0	8,1	-	10,9	6,6	-
		ØV	11,6	14,6	-	15,5	13,8	-	11,0	10,1	-	12,1	10,3	-
		Ø	5,5	7,2	-	7,5	8,5	-	3,3	3,7	-	4,1	4,4	-
Geschwindigkeit		FuRaMo	5,5	5,5	-	6,9	8,1	+	4,4	5,5	-	4,0	4,7	-
[km/Std]		IV	23,8	37,6	++	26,2	31,0	-	27,0	27,0	-	23,6	20,0	-
		ØV	15,4	19,6	++	19,6	20,8	-	14,5	15,6	-	14,5	13,1	-
		Ø	10,2	12,7	+	13,5	15,4	+	7,2	9,0	++	9,6	7,8	-

Quelle: HERZ, 1984, S. 60

**Tabelle 4:**  
**Vergleich 1976-1982 der Tagesprogramme (%)**  
**von Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit**

Personenkreis Aktivitätenfolge	Personen ohne Pkw-Verfügbarkeit											
	erwerbstätige Frauen			erwerbstätige Männer			Hausfrauen			Rentner		
	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ	'76	'82	Δ
1	9,1	10,9	-	10,7	11,1	-	29,5	30,4	-	35,7	33,3	-
1 2	2,0			2,9								
1 2 1	35,8	35,2	-	47,1	54,6	-	2,2	1,4		3,7		
1 2 1 2 1	1,4	4,4		1,6	1,3							
1 2 1 5 1	6,3	6,5		3,5	5,6							
1 2 1 5 1 7 1		1,5										
1 2 1 7 1	3,3	3,6		4,1	3,3							
1 2 3 2 1				1,0								
1 2 5 1	5,3	5,0		1,4	1,3							
1 2 5 2 1	1,6	1,5										
1 2 7 1		1,5										
1 2 7 2 1	2,0			3,2								
1 5 1	5,2	3,9		2,7			28,2	23,5	-	21,3	19,8	-
1 5 1 2 1	2,6	2,9										
1 5 1 5 1	1,0						4,7	3,7	-	3,4	1,9	
1 5 1 5 1 7 1								1,4				
1 5 1 7 1							5,2	4,4	-	6,0	6,1	-
1 5 1 7 7 1											2,2	
1 5 5 1	1,6						4,0	2,3		2,9		
1 7										1,5		
1 7 1	1,9	2,1		1,4	2,0		5,7	12,5	++	7,5	12,2	++
1 7 1 5 1								1,4			1,4	
1 7 1 7 1		1,5						1,7		1,4		
sonstige	20,9	19,5	-	20,4	20,8	-	20,5	17,3	-	16,6	23,1	++
Aktivitätenschlüssel	1 zu Hause			3 Dienstgeschäft			7 Freizeit					
	2 Arbeit			5 Einkauf								

Quelle: HERZ, 1984, S.63

Frühere Aktivitätenkettenmodelle (siehe Abschnitt 3) haben Aktivitätenketten, die in weniger als 1% aller Fälle auftreten, in ihren Betrachtungen vernachlässigt. Die Vernachlässigung, wie in Tabelle 2 und 4 geschehen, wirft Problem auf, die in Tabelle 5 deutlich werden.

Tabelle 5:  
Vergleich der Wegehäufigkeiten der mobilen Personen für alle und für ausgewählte Aktivitätenketten

Personenkreis [Fahrten/d]	Wegehäufigkeit Alle Ketten	Wegehäufigkeit Ausg. Ketten (Differenz)
<b>Mit Pkw</b>		
- erwerbstätige Frauen	3.66	2.83 (.83)
- erwerbstätige Männer	3.69	2.71 (.98)
- Hausfrauen	3.53	2.81 (.72)
- Rentner	3.38	2.74 (.64)
<b>Ohne Pkw</b>		
- erwerbstätige Frauen	3.12	2.77 (.35)
- erwerbstätige Männer	2.81	2.31 (.50)
- Hausfrauen	3.00	2.58 (.42)
- Rentner	3.00	2.58 (.42)

Sollte man die ausgewählten Aktivitätenketten als Grundlage für eine Stichprobe nehmen, unterschätzt man die Wegehäufigkeit im schlechtesten Fall - erwerbstätige Männer mit Pkw - um 27%. Da es sich bei diesen oft um Wege mit dienstlichen/geschäftlichen, also innerstädtischen Zielen handelt, ist diese Unterlassung für ein Modell, das besonders Parkraumprobleme ansprechen soll, gravierend.

HERZ (1986) zeigt mit den Daten der KONTIV 76, daß die Verteilungen der Aktivitätenketten räumlich stabil sind und daß es insbesondere keine signifikanten Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Räumen gibt. In der Verkehrsmittelwahl und in den Wegedauern unterscheiden sich die Räume natürlicherweise.

Über die Möglichkeiten, die Reihenfolge der Aktivitäten zu erklären oder die Teilnahme an Aktivitäten vorherzusagen, wird in Unterabschnitt 2.4 berichtet.

### 2.3.2 Bewegung in der Zeit

Der zweite Analyseschritt, die Untersuchung der Verteilung der Aktivitäten in der Zeit, ihrer Dauern und Abfolge fand sehr früh Interesse. DAMM (1983) legt eine

umfassende Dokumentation der Literatur vor. Die Ergebnisse werden deshalb hier nur zusammengefaßt dargestellt.

Versuche, Aktivitätenketten mit stationären Markowprozessen abzubilden, bleiben unbefriedigend, da sich die Wahrscheinlichkeiten für die Abfolge bestimmter Aktivitäten im Tagesverlauf verändern.

KITAMURA und LAM (1981) und KITAMURA (1984) präsentieren nicht-stationäre Modelle für die Abfolge von Aktivitäten. Diese Modelle benötigen eine sehr große Anzahl von Parametern, so daß eine Auflistung der Aktivitätenketten mit Angabe der Aktivitätendauern unter Umständen weniger umfangreich ist.

Die in diesem Bereich unbefriedigenden Ergebnisse legen für viele Zwecke die Verwendung der Urdaten nahe.

### 2.3.3 Bewegung im Raum

Es besteht hier nicht die Aufgabe, die Literatur zum Thema der aggregierten Methoden der Verkehrsverteilung zu präsentieren. Es sollen hier nur die Arbeiten vorgestellt werden, die im Rahmen der Aktivitätenforschung versuchen, die Entscheidungsräume zu beschreiben, über die eine Person verfügt. In Anlehnung an REICHENBACH (1979) und vor dem Hintergrund der Theorie der kognitiven Landkarten kann man folgende Entscheidungsräume unterscheiden (Abbildung 5):

Der Individualraum umfaßt die täglich aufgesuchten Orte, wie Wohnung und Arbeitsplatz. Das Aktivitätenfeld umschließt die Ziele, die zumindestens einmal in der Woche aufgesucht werden, und geht über in das Kenntnisfeld, für das eigene Erfahrungen vorliegen. Durch Erzählungen anderer und durch die Medien erlangt der Einzelne Informationen über einen weiteren Bereich, dem Informationsfeld, die dem Einzelnen auch bei der Formulierung seiner Erwartungen über die ganz unbekanntes Räume des Erwartungsfeldes helfen.

HOLZAPFEL (1980) zeigte am Beispiel West-Berlins, daß sich die räumlichen Ziele von Personen aus denselben verhaltensähnlichen Personenkreisen nach ihrer sozialen Schicht deutlich unterscheiden. Die Mechanismen des Wohnungs- und Arbeitsmarkts schaffen diese räumliche Trennung, die in einem aktivitätenorientierten Modell berücksichtigt werden sollte. Auf Grund der Ergebnisse von HOLZAPFEL sollten die Haushalte des sekundären und des tertiären Sektors in den Modellbetrachtungen unterschieden werden (siehe Abbildungen 6 und 7).

Aufbauend auf die Beobachtungen von HOLZAPFEL entwickeln HAUPT (1986) und KÜCHLER (1986) getrennt Modelle für die Zielwahl von Nebenaktivitäten. Beide Autoren nutzen aus, daß Nebenaktivitäten im Sinne von ANTONISSE et al. überwiegend in einer Ellipse lokalisiert werden, deren Brennpunkte die vorhergehende und die folgende Hauptaktivität sind (siehe Abbildung 8). Bei der Rückkehr zur selben Aktivität wird die Ellipse zum Kreis (siehe Abbildung 9).

Mit einem anderen Ansatz kommen O'KELLY und MILLER (1984) zu einem ähnlichen Ergebnis. Die ersten und letzten Ziele einer Aktivitätenkette sind in der Regel die Ziele, die am nächsten zu Hause sind. Der zeitliche und räumliche Gesamtaufwand, um alle Ziele zu erreichen, wird in der Regel minimiert.

Abbildung 5:  
Entscheidungsräume

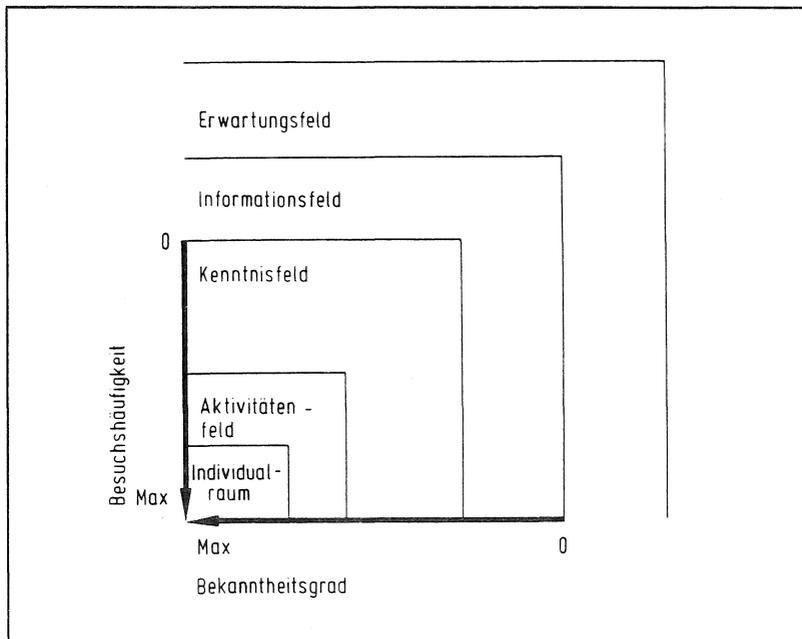
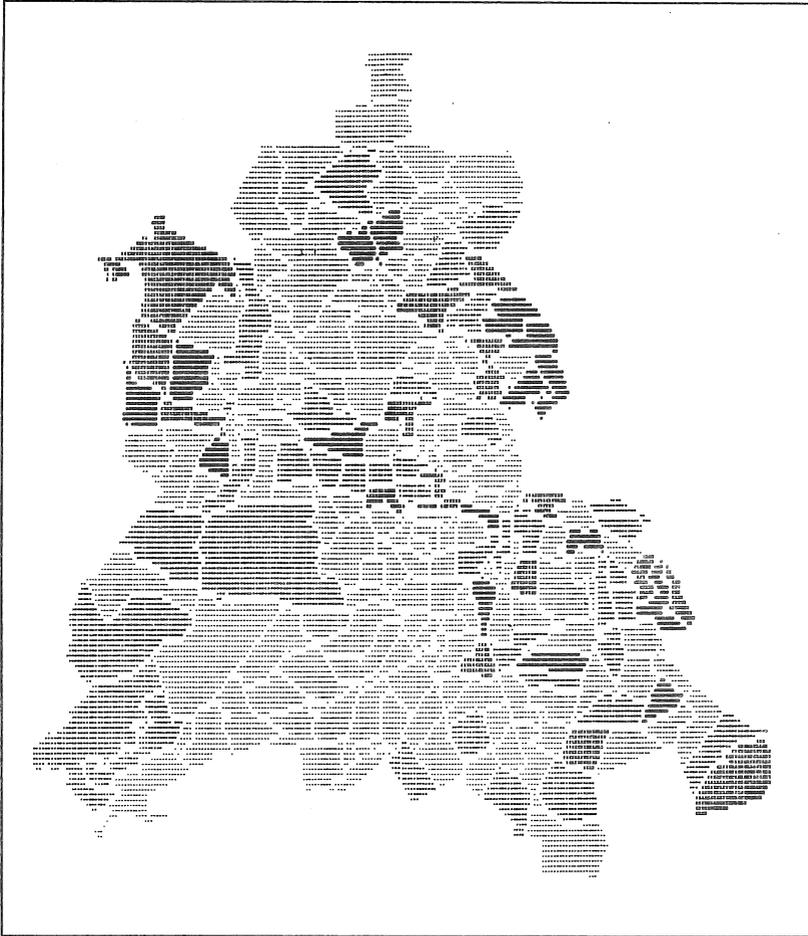
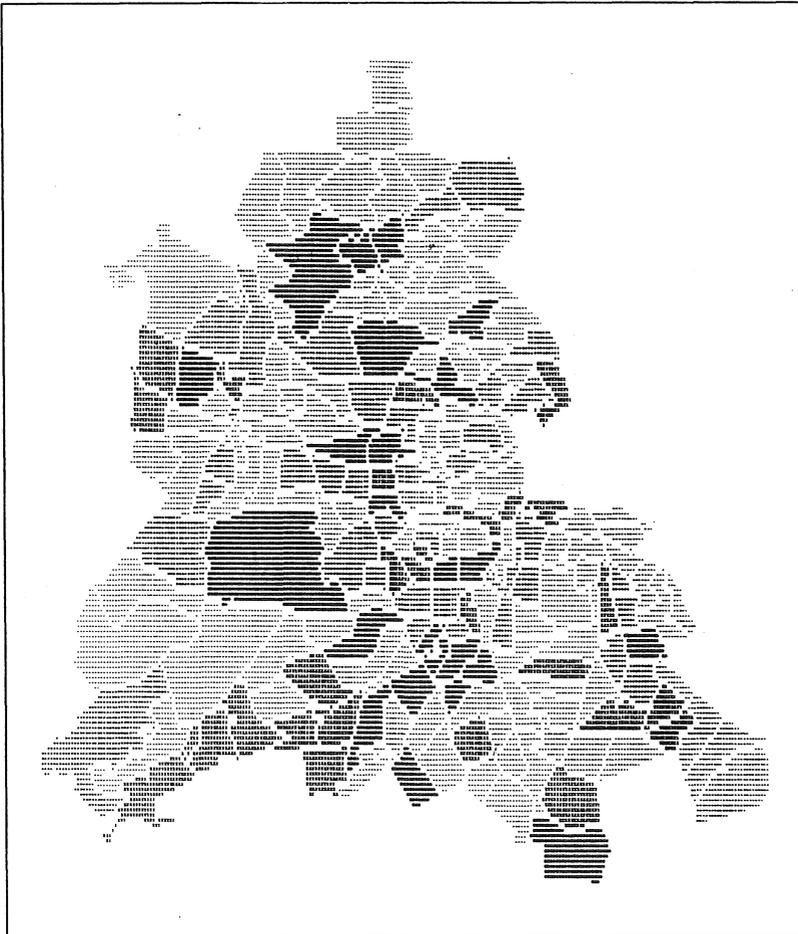


Abbildung 6:  
Prozentuale Verteilung der Aktivität Freizeit auf die Verkehrszellen: Ehemann  
älter als 44 Jahre in Arbeiterfamilie mit 1 Erwerbstätigen



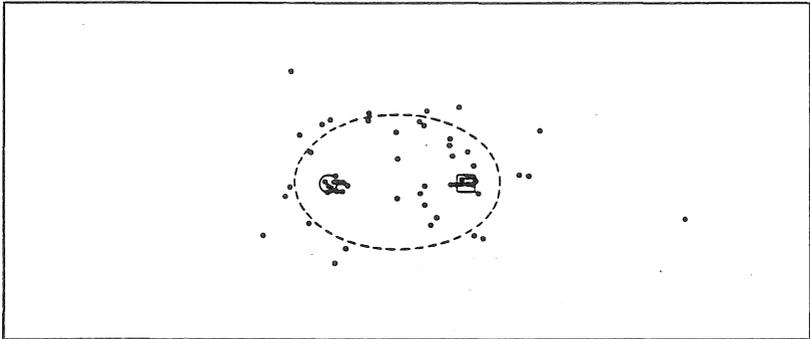
Quelle: Holzapfel, 1980, S. 140

Abbildung 7:  
Prozentuale Verteilung der Aktivität Freizeit auf die Verkehrszellen: Ehemann  
älter als 44 Jahre in Beamtenfamilie mit 1 Erwerbstätigen



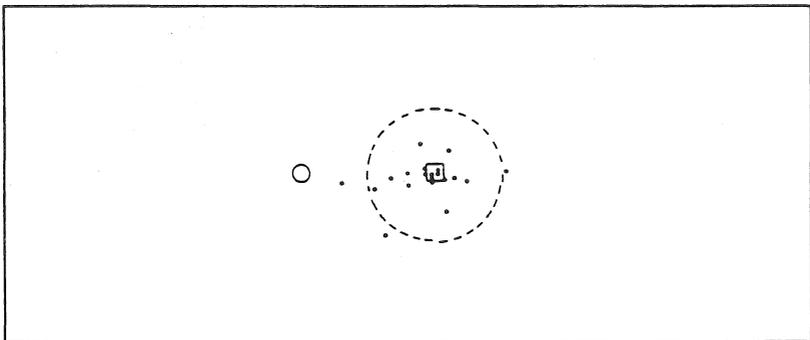
Quelle: Holzapfel, 1980, S. 141

Abbildung 8:  
Relative Lage der Standorte nachgeordneter Aktivitäten, die auf dem Rückweg von der Haupttätigkeit zur Wohnung aufgesucht werden (Nichterwerbstätige)



Quelle: KÜCHLER, 1986, S. 180

Abbildung 9:  
Relative Lage nachgeordneter Aktivitäten, die während der Arbeit aufgesucht werden



Quelle: KÜCHLER, 1986, S. 182

## 2.4 Prognoseansätze für Aktivitätenketten

An dieser Stelle soll die Literatur zu zwei Fragenkomplexen vorgestellt werden:

- Vorhersage der Reihenfolge der Aktivitäten bei gegebenen Aktivitäten
- Vorhersage der Teilnahme an Aktivitäten

### 2.4.1 Vorhersage der Reihenfolge der Aktivitäten

Die Modelle CARLA, beschrieben in JONES, DIX, CLARKE und HEGGIE (1980) und PESASP von LEENTORP, ebenfalls in JONES et al. (1980) generieren für Änderungen im Raum-Zeit-Gefüge neue Stundenpläne und Reihenfolgen für die gegebene Aktivitätenkette. Diese Ansätze berücksichtigen zwar die Erreichbarkeiten, prognostizieren aber nicht, welcher der möglichen Pfade durch das Raum-Zeit-Gefüge von den Personen gewählt wird. Sie sind also Werkzeuge, um die Variabilität und die Stabilität von Aktivitätenketten zu untersuchen. Als Prognoseinstrumente sind sie bisher nicht einsatzfähig.

### 2.4.2 Vorhersage der Teilnahme an Aktivitäten

Auf der Grundlage der Nutzenmaximierung wird von DAMM und LERMAN (1981) für die arbeitende Bevölkerung ein Modell hergeleitet, daß die Teilnahme an Aktivitäten außer Haus in fünf definierten Zeiträumen vorhersagt:

- Vor dem Weg zur Arbeit
- Auf dem Weg zur Arbeit
- Während der Arbeit
- Auf dem Heimweg
- Nach dem Heimweg

Mit Hilfe von 5 Nutzengleichungen wird die optimale Kombination der Entscheidungsvariablen, die angeben, ob sich die Person in diesem Zeitraum außer Haus betätigt, bestimmt. In die Nutzenfunktion gehen ein der Nutzen des gewählten Verkehrsmittels, des gewählten Ziels und der Nutzen der Aktivität, der durch eine große Anzahl hauptsächlich personenbezogener Variablen beschrieben wird.

Dieses Modell läßt sich aufgrund seiner mathematischen Struktur (Logit-Ansatz) nur schwer auf mehr als diese fünf Perioden oder auf aktivitätenspezifische Aussagen erweitern. Da eine Rückkopplung zum Verkehrssystem fehlt, können Aussagen nur über personenbezogene Maßnahmen der Verkehrsplanung getroffen werden.

ROOT und RECKER (1983) stellen einen anderen theoretischen Rahmen für die Prognose von Aktivitätenketten vor. Im ersten Schritt wird für jede Person die Aktivitätenkette mit Aktivitätenart, Dauer, Ort und Verkehrsmittel mit einem mehrdimensionalen nicht-linearen Programm bestimmt, das dann mit Hilfe einer dynamischen Optimierung aktualisiert wird, um zum Beispiel Verzögerungen im Straßennetz oder bei der Durchführung von Aktivitäten zu berücksichtigen. Das Programm berücksichtigt die Nutzen, die dem Nutzer durch die Aktivitäten und die Flexibilität der Aktivitätenkette zuwachsen, und die Kosten, die durch Reisezeiten und den Planungsaufwand komplexer Ketten entstehen.

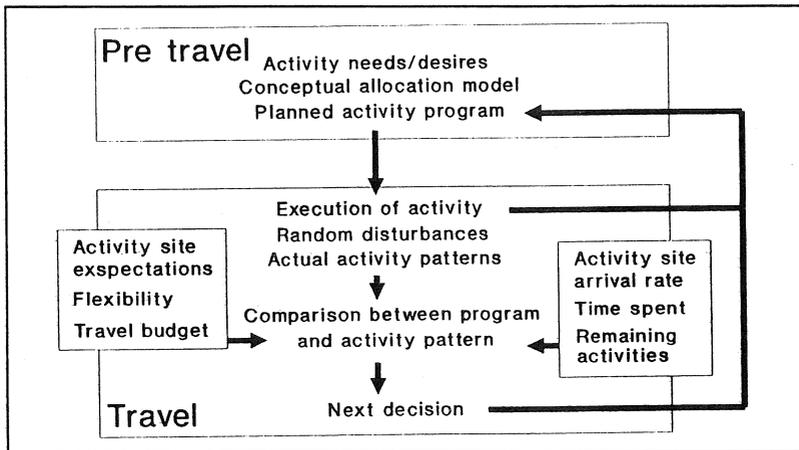
Die Stärke dieses Modells liegt in seiner umfassenden Formulierung des Entscheidungsprozesses bei der Entstehung von Aktivitätenketten. Dieser umfassende Anspruch ist aber noch nicht in ein operationalisierbares Modell umgesetzt worden. Auch ist die Annahme, daß die Aktivitätenkette am Beginn des Tages schon vollständig vorliegt, sehr restriktiv. Zwar erlaubt das dynamische Programm eine Änderung der Kette, setzt aber immer noch das ursprüngliche Programm voraus. Für einen solchen Ansatz fehlen noch immer Längsschnittuntersuchungen, die über die längerfristige Planung von Aktivitäten Auskunft geben, die über den Einfluß anderer Personen Aussagen machen, zum Beispiel über den Einfluß des überraschenden Anrufs oder Besuchs.

Ein ähnlich umfassendes Modell für die Verteilung der Aktivitäten über eine ganze Woche schlagen HIRSH, PRASKER und BEN-AKIVA (1984) auf der Basis eines Logit-Modells vor. Ähnlich wie bei ROOT und RECKER geht der Ansatz davon aus, daß zu Beginn des Zeitraums das gesamte Aktivitätenprogramm für diesen Zeitraum geplant wird. Dieses Programm wird dann durch die Erfahrungen an den einzelnen Tagen aktualisiert. Der Ansatz ist in der vorliegenden Form noch zu grob, um praktische Anwendung zu finden.

Ähnlich wie DAMM und LERMAN schlagen KITAMURA und KERMANS SHAH (1983) ein Modell auf der Basis der Nutzenmaximierung vor. Das Modell geht aber sequentiell vor und berücksichtigt, getrennt für "home-based" und "non-home-based"-Aktivitäten, die vorhergegangenen Aktivitäten und die Tageszeit. Das Modell bildet die Teilnahme an den verschiedenen Aktivitäten qualitativ ab. Die Bestimmtheitsmaße des Modells sind unbefriedigend, wenn sie mit dem Maßstab von HENSHER und JOHNSON (1980) verglichen werden.

MENTZ (1984) stellt in seiner Arbeit einen Ansatz vor, der versucht, den Einfluß des restlichen Haushalts auf die Entscheidungen des Einzelnen abzubilden. Er schätzt für jede Entscheidung, eine weitere Aktivität auszuüben, eine Logitfunktion, in die neben anderen Größen explizit die bisher verbrauchte Zeit und der Kostenverbrauch der anderen Haushaltsmitglieder eingehen. Bei diesem Ansatz

Abbildung 10:  
Grobstruktur des Modells von ROOT und RECKER



Quelle: ROOT und RECKER, 1983, S. 381

ist der Erklärungswert vieler Teilmodelle so unbefriedigend, daß eine praktische Anwendung noch nicht in Frage kommt.

Auf der Grundlage einer stark vereinfachenden Klassifizierung von Aktivitätenketten schlägt KÜCHLER (1985) ein "Rand-Ausgleichs"-Verfahren vor, das für Veränderungen in der mittleren Wege- oder Reisezahl die neue Verteilung der Aktivitätenketten eines Personenkreises vorhersagt. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit eine Übersicht über die zukünftige Verteilung der Aktivitätenketten zu erhalten, aber die Umsetzung in detailgenaue Ketten steht noch aus.

## 3 Stand der Technik: Aktivitätenorientierte Verkehrsmodelle

### 3.1 Vorbemerkung

Der Schritt von der Erkenntnis, daß Aktivitätenketten und ihre Verteilung unter den verhaltensähnlichen Personenkreisen räumlich fast konstant sind, zu der Formulierung eines Verkehrsmodells, daß diese Aktivitätenketten als Grundlage für die Abschätzung von Verkehrserzeugung, -verteilung und Verkehrsmittelwahl benutzt, ist klein <sup>1</sup>. Im folgenden Unterabschnitt sollen Modelle vorgestellt werden, die diesen Sprung vollzogen haben.

### 3.2 Mikroskopische Simulation der Aktivitätenketten

Dieser Ansatz, der vor allem in Deutschland verfolgt worden ist, soll hier durch die Arbeiten von SPARMANN (1980), SCHMIEDEL (1984), KUTTER (1984), und KÜCHLER (1985) beispielhaft vorgestellt werden.

Aufbauend auf KREIBICH (1972), POECK und ZUMKELLER (1976) umfaßt das Modell ORIENT (SPARMANN, 1980) die Verkehrserzeugung, -verteilung und Verkehrsmittelwahl. Die zeitliche Verteilung der Wege wird am Schluß der Berechnungen durch Überlagerung der bekannten Tagesganglinie berücksichtigt. Abbildung 11 zeigt das Ablaufdiagramm des Modells.

Für die Wahl unter den verschiedenen Zielzellen wird mit Hilfe eines personenkreis- und aktivitätsspezifischen Gravitationsansatzes die Attraktivität jeder Zelle berechnet. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode wird aus dieser diskreten Verteilung eine Zelle als Ziel gezogen. Unter der Berücksichtigung der Austauschbarkeit von Verkehrsmitteln wird aus einer vorgegebenen empirischen Verteilung das Verkehrsmittel ausgewählt. Diese empirische Verteilung berücksichtigt Personenkreis, Erschließungsgrad, Aktivität und Entfernungsklasse.

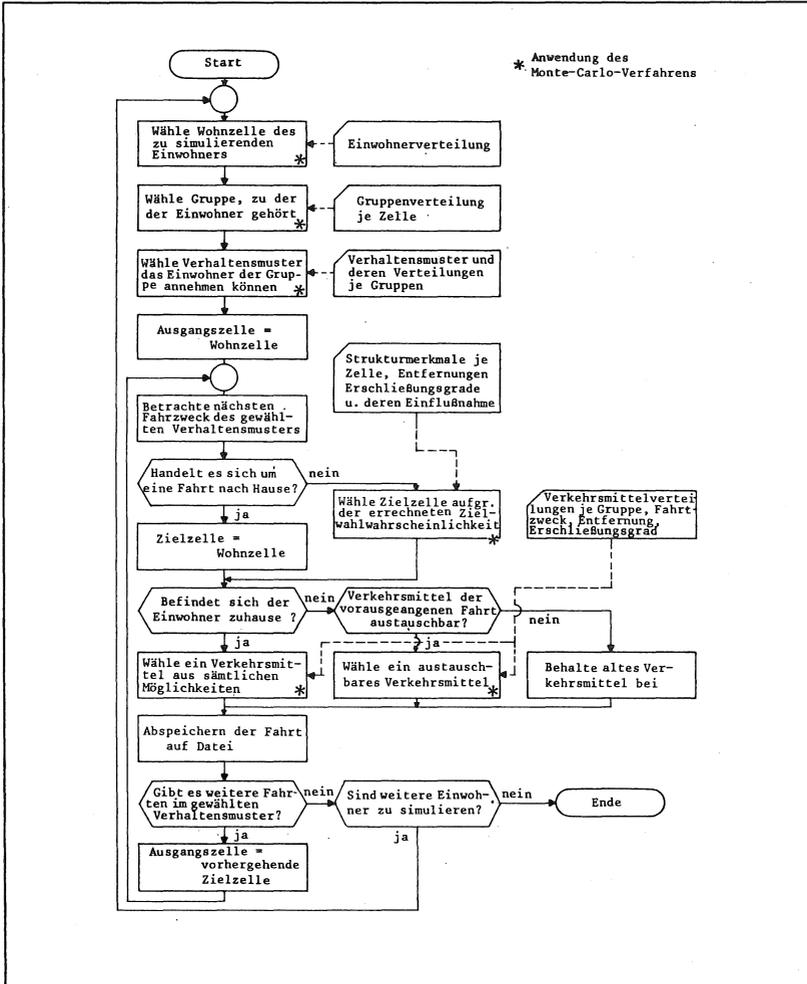
Da für alle verwendeten Verteilungen und Parameter vom Modell Standardwerte angeboten werden, ist es sehr benutzerfreundlich, verleitet aber zum unreflektierten Einsatz. Es besteht die Gefahr, daß die Entscheidungsmodelle für die Zielwahl und die Verkehrsmittelwahl iterativ innerhalb des Modells, anstatt extern über empirische Untersuchungen kalibriert werden.

Im Rahmen einer Arbeit, die hauptsächlich der Bestimmung von verhaltensähnlichen Personenkreisen gewidmet war, stellt SCHMIEDEL (1984) eine Erweiterung

---

<sup>1</sup>Im "Vier-Stufen-Ansatz" wurden diese Ergebnisse durch die Aufteilung der Quelle-Ziel-Matrizen nach Personenkreisen und Fahrtzwecken berücksichtigt (siehe zum Beispiel WEICH-BRODT (1977) oder BUDELMANN (1981)).

Abbildung 11:  
Ablaufdiagramm des Modells ORIENT



Quelle: SPARMANN, 1980, S. 107

des Modells ORIENT vor, die den zeitlichen Ablauf der Aktivitäten berücksichtigt (siehe Abbildung 12).

Problematisch bleibt bei der Bestimmung der Zeitdauern der Aktivitäten innerhalb der Simulation die Möglichkeit, unverhältnismäßig kurze oder lange Zeitbudgets zu erzeugen. Diese Möglichkeit ist zwar durch die Berücksichtigung der Position der betrachteten Aktivität in der Aktivitätenkette verringert, aber nicht ausgeschlossen. Die Berechnung der Fahrzeiten aus einer statischen Fahrzeitenmatrix ist eine Vereinfachung, die keine Einschränkung des Ansatzes darstellt.

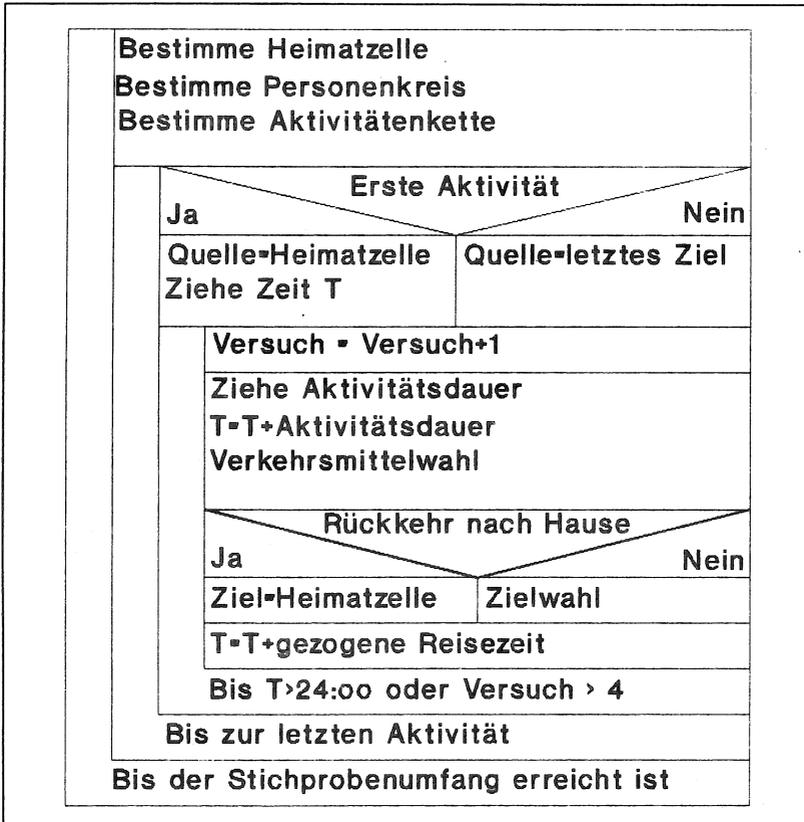
Aufbauend auf eigenen Ansätzen stellt KUTTER (1984) ein Modell vor, in dem er Haupt- und Nebenaktivitäten unterscheidet. Das Modell berechnet zuerst die zeitliche und dann die räumliche Verkehrsverteilung, um so die unter verschiedenen Erreichbarkeiten zu berücksichtigen, die die verschiedenen Verkehrsmittel gewähren. Die Nebenaktivitäten werden in Abhängigkeit von den Hauptaktivitäten lokalisiert und einem Verkehrsmittel zugeordnet. Aus dem Ablaufdiagramm geht nicht hervor, ob die Dauern der Aktivitäten und die sich damit ergebenden Anfangszeitpunkte bei der Berechnung der Erreichbarkeiten/der Verkehrsmittel- und der Zielwahl einbezogen werden. Die Trennung der Berechnungen für die Haupt- und Nebenaktivitäten verkürzt die Rechenzeiten für eine grobe Abschätzung des Verkehrsbildes erheblich.

Wie KUTTER (1984) verzichtet auch KÜCHLER (1985) auf die getrennte Simulation von Individuen, und ersetzt sie durch die Berechnung von komplexen Wahlwahrscheinlichkeiten für Gruppen, die die gleiche Heimatzeile und die gleiche Aktivitätenkette besitzen und die zum gleichen Personenkreis gehören.

Die Standorte der Nebenaktivitäten werden über bedingte Wahrscheinlichkeiten berechnet, die auf empirisch ermittelten Umwegwahrscheinlichkeiten beruhen (siehe Abbildung 13).

ZUMKELLER (1983) schlägt ein Modell vor, daß den familiären Zusammenhang miteinbezieht.

Abbildung 12:  
Ablaufdiagramm des Modells von SCHMIEDEL



Quelle: vereinfacht nach SCHMIEDEL, 1984, S.134-135



## 4 Stand der Technik: Modelle für den ruhenden Verkehr

### 4.1 Vorbemerkung

Es sind eine Vielzahl von Modellen für die Beschreibung des ruhenden Verkehrs und des durch ihn verursachten Verkehrsaufkommens bekannt<sup>2</sup>. Dieser Abschnitt stellt einige ältere Ansätze und die Ergebnisse einer Literatursuche in den deutsch- und englischsprachigen Fachzeitschriften seit 1980 vor<sup>3</sup>. FEENEY (1986) gibt eine Übersicht über die englischsprachige Literatur mit dem Schwerpunkt auf dem Zusammenhang zwischen Verkehrsmittelwahl und Parkraumbewirtschaftung. Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die Modelle, die im folgenden nach Jahren geordnet beschrieben werden. Eine Würdigung der Ansätze erfolgt im Anschluß.

### 4.2 Beschreibung der Modelle

Im Rahmen einer größeren Untersuchung über die Verkehrsmittelwahl als Funktion der Infrastruktur des Individualverkehrs, des öffentlichen Verkehrs und des Parkraumbangebots geben SCHILLER und HEINZE (1970) ein Verfahren an, in welchem aus der Flächennutzung die Anzahl der möglichen und der notwendigen Parkstände berechnet werden kann. Die Anzahl der notwendigen Parkplätze wird berechnet als die zeitlich nicht differenzierte Differenz zwischen vorhandener Wirtschaftsbevölkerung und der durch die vorhandenen Parkplätze zu deckende Nachfrage. STÖSSEL (1971) schätzt aus dem Zielverkehr der Spitzenstunde und dem mittleren Besetzungsgrad für Arbeits-, sowie Besucherverkehr die Anzahl der notwendigen Parkstände. Durch den Vergleich mit den vorhandenen Parkständen ermittelt der Autor die Anzahl der fehlenden Parkplätze.

Ohne Berücksichtigung des aus der Zelle stammenden Quellverkehrs berechnen mit Hilfe der Parkdauerverteilung LEUTZBACH und WILLMANN (1972) aus der Ganglinie des in die Zelle fließenden Verkehrs die Ganglinien der Parkstandsbelegung und des abfließenden Verkehrs.

Bei KIRCHHOFF (1974) steht das Problem der Parkstandswahl im Bezug zu innerstädtischen Zielen im Vordergrund. Er entwickelt auf der Grundlage einer Befragung, in der Parkplätze und Ziele erfaßt wurden, einen speziellen Gravitationsansatz, der die stark asymmetrische Matrix (5 Quellen, 132 Ziele) bewältigen kann. Mit Hilfe dieses Teilmodells wird für alle Parkplätze in der Braunschweiger Innenstadt ein Gesamtmodell geschätzt, das zur Bewertung geplanter Parkplätze herangezogen wird.

Für die Abschätzung der Parkstandsnachfrage im Hochschulbereich der TU

<sup>2</sup>Modelle für die Parkplatzsuche von Einzelpersonen werden in Unterabschnitt 7.2 vorgestellt

<sup>3</sup>Weitere ältere Ansätze sind zu finden in RADERMACHER (1975) und WIGAN (1975)

Tabelle 6:  
Übersicht über die Modelle für den ruhenden Verkehr

Autor (Jahr)	Berechnete Größen	Methodik
Schiller, Heinze (1970)	Notwendige Parkstände	Berechnung aus Nettostadtflächen, die dem Parken zur Verfügung stehen und der vorha Nachfrage
Stössel (1971)	Notwendige Parkstände	Berechnung aus dem Zielverkehr
Leutzbach, Willmann (1972)	Ganglinie der Parkstandsbelegung	Berechnung aus Ganglinie des Zielverkehrs und der Parkdauerverteilung
Kirchhoff (1974)	Zuordnung von Parkplätzen und innerstädtischen Zielen	Spezielles Gravitationsmodell
Weichbrodt (1975)	Parkstandsnachfrage	Berechnung mit Personenkreis spezifischen Kennziffern
FGSV (1975)	Parkstandsnachfrage	Berechnung aus Flächennutzung un Umschlagziffern
Radermacher (1975)	Ganglinie der Parkstandsbelegung	Berechnung aus der Differenz von Ziel- und Quellverkehr
Monigl(1977)	Ganglinie der Parkstandsbelegung Modal Split unter Parkraumrestriktionen	Berechnung aus der Differenz von Ziel- und Quellverkehr
Lessmann (1978)	Verkehrsaufkommen	Berechnung aus Typ, Kennziffern und Anzahl der Parkstände
Knoflacher (1980)	Anzahl von Parkständen nach Typ	Regressionsansatz
Bullen (1982)	Zuordnung von Parkplätzen zu innerstädtischen Zielen	Berechnung über Typ der Parker, Attraktivität des Parkplatzes und de
Levinson, Pratt (1984)	Parkstandsnachfrage	Berechnung aus der Flächen-nutzung
Gur, Beimborn (1984)	Zuordnung von Parkplätzen zu innerstädtischen Zielen	Erweiterung der Umlegung

Tabelle 7:  
Übersicht über die Modelle für den ruhenden Verkehr (2)

Autor (Jahr)	Berechnete Größen	Methodik
Heydecker (1986)	Zuordnung von Parkplätzen zu innerstädtischen Zielen	Erweiterung der Umlegung
McCroory (1986)	Zuordnung von Parkplätzen zu innerstädtischen Zielen	Erweiterung der Umlegung
Bradley et al. (1986)	Ganglinie der Parkstandsbelegung nach Parkstandstyp	Erweiterung der Umlegung, Logit-Modell

Braunschweig entwickelt WEICHBRODT (1975) ein Modell, das für jeden Teilbereich der Hochschule die Parkraumnachfrage der dort tätigen Personenkreise auffaddiert. Die Nachfrage der Personenkreise - Studenten, Lehrkörper, etc. - wird durch einen multiplikativen Ansatz berechnet, in den die Verkehrsmittelwahl in Abhängigkeit von der Entfernung zur Wohnung, von der Motorisierung, von Anwesenheitsfaktoren und von der Nutzungsintensität des Hochschulbereichs eingeht.

Die Richtlinien für die Anlagen des ruhenden Verkehrs (RAR) (FGSV, 1975) geben ein Verfahren an, bei dem auf der Grundlage der Flächennutzung und nutzungsspezifischen Umschlagziffern die notwendige Anzahl von Parkplätzen überschlägig bestimmt wird.

In Anlehnung an das Differenzenverfahren zur Bestimmung von Wasserstandsganglinien in Wasserrückhaltebecken entwickelt RADERMACHER (1975) sein Modell zur Bestimmung der Ganglinie der Parkstandsbelegung, die aus der Differenz von Quell- und Zielverkehr berechnet wird. Diese Vorgehensweise ist eingebunden in ein vollständiges "Vier-Stufen"-Modell, so daß Rückkoppelungen möglich sind. Der Autor gibt zusätzlich eine Reihe von Parkdauerverteilungen an, die er für räumlich übertragbar hält.

Ebenfalls in den "Vier-Stufen"-Algorithmus ist das Verfahren von MONIGL (1977) eingebettet, das über das Differenzenverfahren berechnete Nachfrageüberhänge sofort auf andere Verkehrsmittel umverteilt. Die Ganglinie der Parkstandsbelegung ist ein Teilergebnis, das nicht im Mittelpunkt des Interesses des Autors steht. Die Umverteilung erfolgt unter Berücksichtigung der Fahrtenketten.

LESSMANN (1978) dreht die Blickrichtung um und berechnet auf Grundlage der vorhandenen Parkplätze, nach Typen differenziert, das stündliche Verkehrsauf-

Abbildung 14:  
Rechenschema aus LEUTZBACH und WILLMANN

Inter- vall	Zuflud- menge	Teilabflüßmengen						Abflud- menge	Belegung am Ende des Intervalls
		$\frac{1}{2} z_1^F$	$\frac{1}{2} z_2^F$	$\frac{1}{2} z_3^F$	$\frac{1}{2} z_1^F$	$\frac{1}{2} z_2^F$	$\frac{1}{2} z_3^F$		
1	$z_1$	$\frac{1}{2} z_1^F$	-	-	-	-	-	$q_1$	$B_1 = z_1 - q_1$
2	$z_2$	$\frac{1}{2} z_1^F$ $\frac{1}{2} z_1^F$	-	-	-	-	-	$q_2$	$B_2 = B_1 + z_2 - q_2$
3	$z_3$	$\frac{1}{2} z_1^F$ $\frac{1}{2} z_1^F$	$\frac{1}{2} z_2^F$	-	-	-	-	$q_3$	$B_3 = B_2 + z_3 - q_3$
1	$z_1$	$\frac{1}{2} z_1^F$	$\frac{1}{2} z_2^F$	$\frac{1}{2} z_3^F$	-	-	-	$q_1$	$B_1 = B_{1-1} + z_1 - q_1$
		$\frac{1}{2} z_1^F$	$\frac{1}{2} z_2^F$	$\frac{1}{2} z_3^F$	$\frac{1}{2} z_1^F$	-	-		
j	$z_j$	$\frac{1}{2} z_1^F$ $\frac{1}{2} z_1^F$	$\frac{1}{2} z_2^F$	$\frac{1}{2} z_3^F$	$\frac{1}{2} z_1^F$	-	-	$q_j$	$B_j = B_{j-1} + z_j - q_j$

Quelle: LEUTZBACH und WILLMANN, 1972, S. 159

kommen getrennt für die verschiedenen Parkzwecke. Mit Hilfe dieser Zielverkehre wird eine Umlegung möglich, die nachprüft, ob das Straßennetz ausreichend dimensioniert ist.

Mit Daten aus Wien von 1961 und 1971 versucht KNOFLACHER (1980) mit einem Regressionsansatz einen Zusammenhang zwischen Einwohner- und Arbeitsplatzentwicklung und dem Parkstandsangebot abzuleiten.

Mit Hilfe von drei "Gravitations"-Modellen für Kurz-, Mittel- und Langzeitparker berechnet BULLEN (1982) die Belegung von Parkplätzen in einem Teilgebiet von Pittsburgh. Die Modelle werden sequentiell angewandt und Überhängte umverteilt. Die Widerstandsfunktion des Gravitationsansatzes berücksichtigt nach Parkplatzttyp getrennt die Entfernung zwischen Ziel und Parkplatz.

LEVINSON und PRATT (1984) berechnen die Parkstandsnachfrage auf Grundlage der Beschäftigung und der tertiären Flächen einer Zelle.

Die Wahl des Parkstandes wird von GUR und BEIMBORN (1984) als Teil der Wegewahl verstanden. Sie erweitern die Netzbeschreibung um Strecken, die Parkplätze und Fußwege abbilden. Folgende Kostenelemente werden einbezogen: subjektiver Wert des Fußweges, subjektiver Wert der Suchzeit, subjektiver Wert der

Parkgebühr, subjektiver Wert der möglichen Strafe. Die Suchzeit ist abhängig von den Verkehrsbelastungen auf der jeweiligen "Parkstrecke". Eine Wechselwirkung mit dem Verkehrsfluß auf den anderen Strecken wird nicht berücksichtigt. Die Umlegung erfolgt als Gleichgewichtsumlegung in einem Zeitintervall.

Auch HEYDECKER (1986) erweitert die Umlegung um die Beschreibung des Parkraums in einem Gesamtmodell, das auch die Wahl des Verkehrsmittels und des Reisebeginns als "nested-logit"-Modell umfaßt. Das Netzmodell eines Parkplatzes umfaßt Strecken, die die verschiedenen Preise und Kostenelemente repräsentieren, z.B. Benutzung eines Kurzparkstandes für Langzeitparken. Die Umlegung erfolgt als Gleichgewichtsumlegung für jedes Zeitintervall. Da das Modell einzelne Fahrzeuge nicht verfolgt, kann es nicht angewandt werden, um den Abfluß aus den Parkständen zu analysieren.

McCRORY (1986) bezieht die Preise und Kapazitäten der Parkhäuser und Parkplätze einer englischen Mittelstadt in eine "capacity-restraint"-Umlegung für die Spitzenstunde ein.

Das Modell \*CLAMP\* von BRADLEY, GOODWIN, LAYZELL and BATES (1986) ist bei der Abbildung der Entscheidungsprozesse und der über die Zeit entstehenden Rückkopplungen am weitesten vorgedrungen. Dafür wird auf eine detaillierte Abbildung des Netzes verzichtet. Der Untersuchungsraum wird durch eine Zelle abgebildet. Abbildung 15 zeigt die Zusammenhänge des Modells, das unter besonderer Berücksichtigung des Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) entwickelt worden ist.

Das Modell benötigt als personenbezogene Eingaben die bestehenden Ankunfts-ganglinien und die Verteilung der Parkdauern und Fahrtzwecke für jeden zu berücksichtigenden Personenkreis. Die Beschreibung des Verkehrsnetzes erfolgt über die Anzahl der vorhandenen Parkplätze und die Leistungsfähigkeiten des Straßen- und des ÖV-Netzes.

Die bestehende Nachfrage wird auf Grund der "Erwarteten Gesamtkosten" für jedes Zeitintervall überprüft und, wenn nötig, in ein benachbartes Intervall verschoben (Ansatz: Nachfrageelastizitäten). Mit Hilfe aktivitätsspezifischer Logit-Modelle wird entschieden, welches Verkehrsmittel gewählt wird, wobei die verschiedenen Parkstandstypen als getrennte Verkehrsmittel betrachtet werden. Nach der Entscheidung werden die Belastungen und die Gesamtkosten neu berechnet, die dann im nächsten Intervall oder am nächsten "Tag" in die Entscheidungen eingehen.

Bei der Berechnung der Netzgeschwindigkeiten gehen außer der Streckenbelastung auch das legale und illegale Parken mit ein. Die Gesamtkosten eines Parkvorgangs umfassen die Reisezeit, die Suchzeit, die Abgangszeit, den Preis, das zu erwartende Ordnungsgeld und eine subjektive Abneigung/Zuneigung zu einem Parkstandstyp.

### 4.3 Anmerkungen zu den Modellen

Die vorgestellten Modelle unterscheiden sich in ihrer Komplexität sehr stark. Sie reichen von sehr einfachen Modellen, wie die von STÖSSEL oder LEVINSON und PRATT, bis zu sehr komplexen Modellen, wie \*CLAMP\*.

Die Modelle, die nur mit den Kenngrößen der Flächennutzung arbeiten, sind nicht in der Lage, Verhaltensänderungen abzubilden und sollten nur zur Beschreibung des status-quo und nicht für die Prognose eingesetzt werden. KNOFLACHER's Ansatz ist in diesem Zusammenhang besonders problematisch, da er versäumt, die Kausalzusammenhänge zwischen Parkraumangebot und Einwohner/Arbeitsplatzentwicklung zu klären.

Die Erweiterungen des "Vier-Stufen"-Ansatzes sind in der Lage, im Rahmen ihrer Annahmen auch komplexere Wirkungszusammenhänge abzubilden. Sie sind aber durch ihre Annahmen auch in ihrer Aussagefähigkeit eingeschränkt <sup>4</sup>. Sie sind vor allem nicht in der Lage, Fahrtenketten zu berücksichtigen. Dies ist problematisch, da der Parkstandssuchverkehr Element einer Fahrtenkette ist.

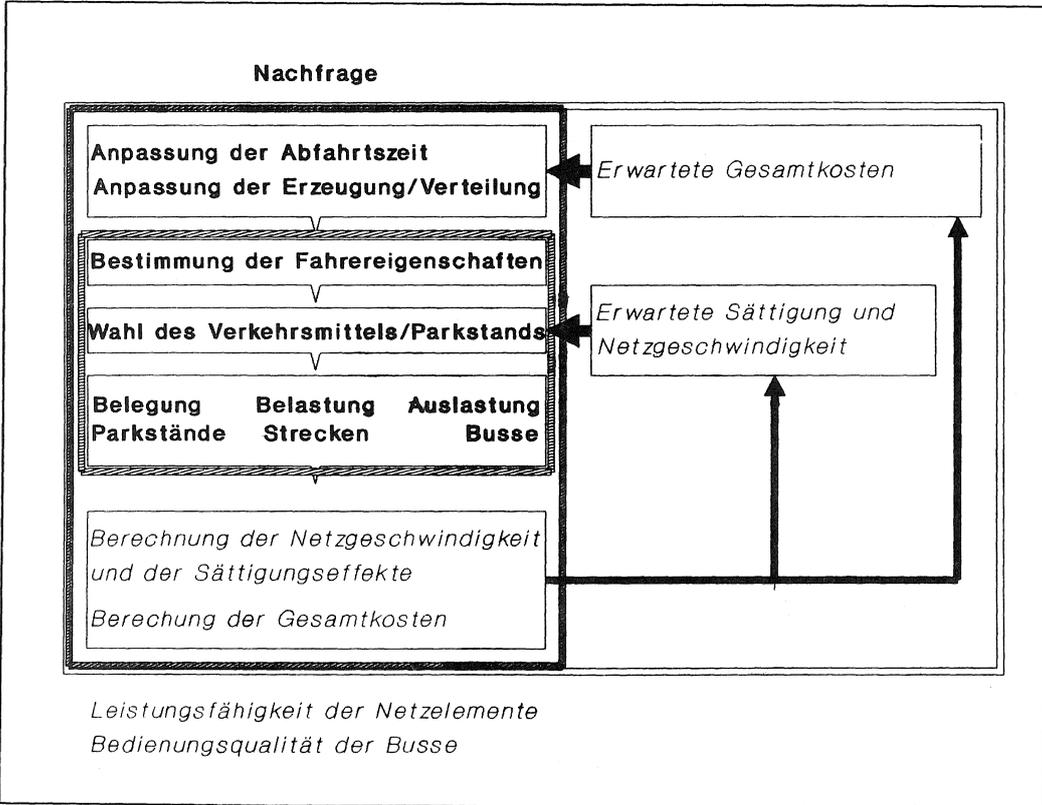
Umlegungen zur Berechnung der Parkstandswahl zu verwenden ist der vielversprechendste Ansatz, da hier die Zusammenhänge des gesamten Weges - Anfahrt, Parkgebühren und Abgang - erhalten bleiben, die bei den Gravitationsansätzen zum Teil verlorengehen. Nur ist dieser Fortschritt mit einer Vielzahl neuer Probleme verbunden: zum Beispiel der Beschreibung der Kapazitäten von Parkplätzen und Parkspuren, der Erfassung des Falschparkens und seiner realen und subjektiven Kosten. Darüber hinaus können auch diese Umlegungsalgorithmen keine Vorhersagen über zusätzliche Suchfahrten machen.

Der Ansatz von \*CLAMP\*, wie auch der von HEYDECKER (1986) die Verkehrsmittelwahl in das Modell einzubeziehen, ist realitätsnah, da ab einem gewissen Aufwandsniveau das Verkehrsmittel gewechselt wird. Der Ansatz führt aber zu einer weiteren Erhöhung der Modellkomplexität. \*CLAMP\* hat bei der Beschreibung des Parkens die selben Probleme wie die Umlegungsalgorithmen. Es wird jedoch gestützt durch eine empirische Basis aus Befragungsergebnissen, die in einem Unterzentrum von London gewonnen wurden. Durch die Rückkopplung mit den "erwarteten" Kosten ist \*CLAMP\* in der Lage, die Wirkung einer Maßnahme über die Zeit nachzuvollziehen. Die Validität des Modells ist in diesem Punkt noch nicht überprüft worden. Die Verwendung von Netzgeschwindigkeiten in Erweiterung des Konzepts der Streckengeschwindigkeiten ist zwar einsichtig, aber ebenfalls noch nicht empirisch überprüft. Theoretische Ergebnisse zu netzweiten Geschwindigkeitsfunktionen finden sich in WILLIAMS, MAHMASSANI und HERMAN (1987).

---

<sup>4</sup>Siehe MÄCKE (1981).

Abbildung 15:  
 Struktur des Modells \*CLAMP\*



Quelle: nach BRADLEY et al., 1986

## 5 Bausteine des Programmsystems

### 5.1 Vorbemerkung

Die Notwendigkeit, ein Modell der hier notwendigen Komplexität als Computerprogramm zu formulieren, bedarf keiner Diskussion. In diesem Abschnitt wird vor der Beschreibung des eigentlichen Modellansatzes das Gesamtsystem umrissen. Die Implementierung der beiden Bausteine des Programmsystems wird in den Anhängen A und B beschrieben. Die Beschreibung der Konzeption der Teilm-odelle erfolgt in den Abschnitten 6 bis 8.

### 5.2 Grobstruktur des Programmsystems

Es erscheint sinnvoll, ein solch komplexes Modell in Bausteine zu zerlegen, die eindeutige Teilaufgaben erfüllen. Drei große Teilaufgaben lassen sich unterscheiden:

- Eingabe und Pflege der Datenbasis
- Durchführung der Simulation
- Auswertung der Ergebnisse

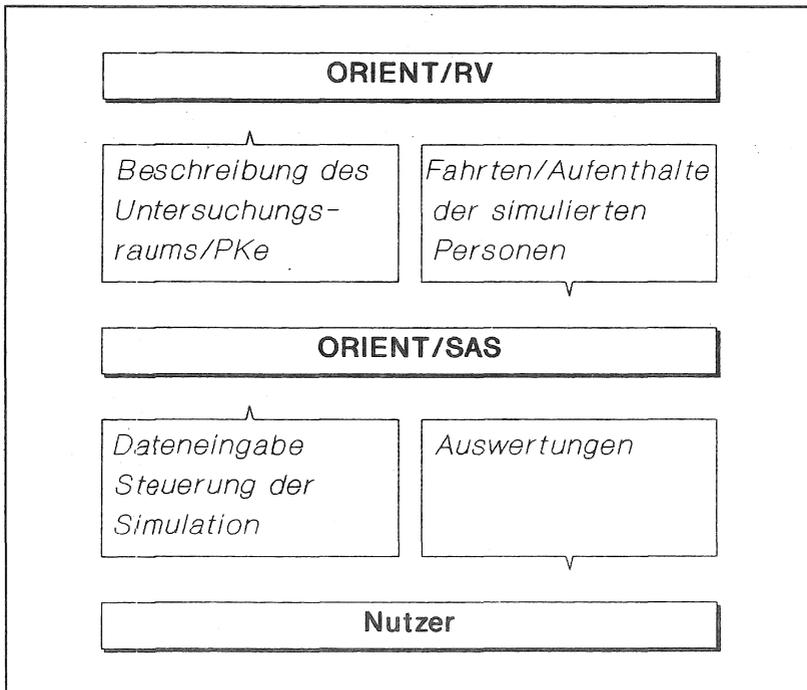
Mit dieser Unterscheidung ergibt sich die Grobstruktur, die in Abbildung 16 gezeigt wird.

Der Baustein SAS/ORIENT dient unter Zuhilfenahme des SAS-Systems (SAS Inc., 1985) der Dateneingabe, -pflege und -auswertung. Von der ursprünglichen Absicht, mit SAS ein Datenbanksystem nachzubilden, wurde abgegangen, um die Rechenzeiten in einem angemessenen Rahmen zu halten. SAS/ORIENT bietet die Möglichkeit, den Datenbestand einzugeben und zu pflegen. Die Erstellung neuer Varianten ist problemlos. Für die Analyse stellt das Programm eine Anzahl von numerischen und graphischen Auswertungen zur Verfügung, die im Batch-Betrieb durchgeführt werden.

Dieser Baustein ist als interaktives Programm gestaltet, um dem Benutzer die Anwendung des Gesamtsystems so einfach wie möglich zu machen. Durch den Baustein SAS/ORIENT ist auch der Aufruf des eigentlichen Modellbausteins ORIENT/RV möglich.

Der Modellbaustein ORIENT/RV baut auf den Daten auf, die ihm SAS/ORIENT zur Verfügung stellt und gibt seine Ergebnisse an SAS/ORIENT zurück. Der Modellbaustein wird in der Programmiersprache PASCAL (WIRTH, 1975) implementiert, die mit Hinsicht auf Klarheit und Modularität des Programmierstils entwickelt worden ist.

Abbildung 16:  
Übersicht über das Programmsystem



## 5.3 Bausteine: ORIENT/RV

### 5.3.1 Anforderungen und Modellansatz

Die Anforderungen an das Modell ergeben sich aus der gestellten Aufgabe und aus dem Stand der Technik als:

- Modellierung der Aktivitätenkette
- Abbildung der Gleichzeitigkeit von Ereignissen
- Abbildung des Einflusses vorangegangener Entscheidungen
- Abbildung der Wahl des Parkstandstyps
- Abbildung der Wahl der Parkzelle
- Abbildung der Wahl des neuen Parkstandstyps und der neuen Parkzelle, wenn das Angebot nicht ausreicht
- Berücksichtigung der Unterscheidung von Haupt- und Nebenaktivitäten bei der Ziel und Verkehrsmittelwahl
- Abbildung der Bewegung im Netz.

Die Modelle von KUTTER und KÜCHLER zeigen, daß eine Annäherung von aktivitätsorientierten Modellen und dem traditionellen Vier-Stufen-Modell möglich ist. Die Anforderung einen neuen Parkplatz zu wählen, wenn der vorgesehene nicht verfügbar ist, schließt alle Modelle aus, die auf der Gleichgewichtsidee aufbauen. Die Kombination eines Ansatzes, der vergleichbar zu KUTTER oder KÜCHLER ist, mit einem Umlegungsmodell, das die Parkplatzsuche umfaßt, ist also nicht möglich. Der Modellansatz baut deshalb auf einer personenfeinen Simulation auf, wie sie von POECK und ZUMKELLER oder SPARMANN formuliert worden ist.

### 5.3.2 Struktur von ORIENT/RV

Simulationsmodelle werden an Hand von zwei Kriterien unterschieden werden: 1) der Organisation der Ereignisse und 2) der Betrachtungsebene.

Drei Betrachtungsebenen sind zu unterscheiden:

- mikroskopisch

Die Entscheidungen der einzelnen Person oder des einzelnen Fahrzeugs werden mit allen Wechselwirkungen auf die anderen simulierten Personen/Fahrzeuge abgebildet, einschließlich des detaillierten Verkehrsablaufs im Netz (Abstandsverhalten, Beschleunigungen, Wahl eines speziellen Parkplatzes).

- mesoskopisch

Die Entscheidungen der einzelnen Person/Gruppe von Personen werden mit den Wechselwirkungen auf die anderen simulierten Personen in aggregierter Form (Strecke, Angebot von Parkplätzen in einer Zelle) abgebildet.

- makroskopisch

Die Entscheidungen von Personengruppen werden mit den Wechselwirkungen auf die anderen Personengruppen in globaler Weise abgebildet.

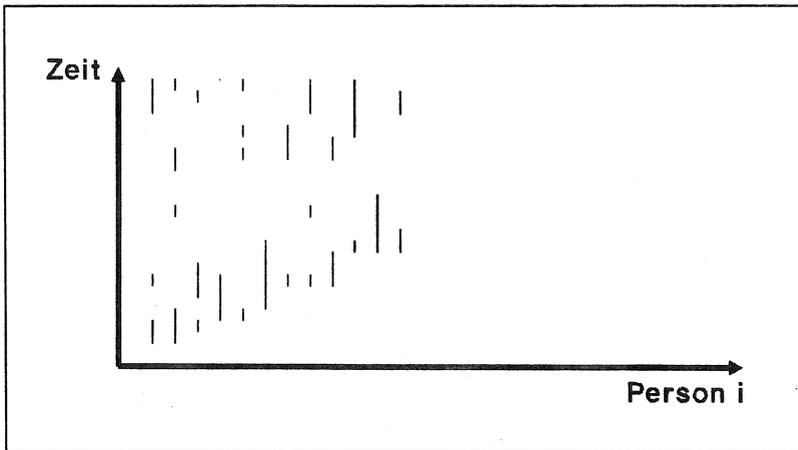
Die mikroskopische Ebene erfordert einen Modell- und Rechenaufwand, der unter Bezug auf die gestellte Aufgabe nicht zu rechtfertigen ist. In der makroskopischen Betrachtung geht Bezug zu den einzelnen Entscheidungen, die das Verkehrsgeschehen ausmachen, verloren. In ORIENT/RV werden also einzelne Personen simuliert. Die Betrachtungsebene ist mesoskopisch. Diese "Personen" werden, da auch in der Simulation nur Stichproben gezogen werden können, in angemessener Weise gewichtet.

Ein Simulationsmodell kann entweder ereignis- oder intervall-orientiert ablaufen, wobei die Intervalle zeitlich oder räumlich definiert sein können. Bei einer ereignis-orientierten Betrachtung wird das simulierte System nur dann betrachtet, wenn für ein Systemelement Entscheidungen über den weiteren Ablauf getroffen werden müssen. Bei der intervall-orientierten Betrachtung wird der Zustand aller Systemelemente zu festen Zeitpunkten oder in festen Abständen fortgeschrieben.

Abbildung 17 zeigt die Zeiten, in denen sich eine Person im Netz bewegt. Bei einer rein zeit-intervall-orientierten Betrachtung entsteht sinnloser Rechenaufwand, da viele Personen untersucht werden, die sich zu dem gegebenen Zeitpunkt nicht im Netz bewegen. Bei einer Betrachtung, die die simulierten Personen sequentiell berücksichtigt, ist es nicht möglich, die gleichzeitigen Wechselwirkungen abzubilden. Die hier gewählte Lösung löst deshalb die Aktivitätenkette jeder simulierten Person in einzelne Ereignisse auf. Diese werden erst dann bearbeitet, wenn alle zeitlich davorliegenden Ereignisse der anderen simulierten Personen abgearbeitet sind. Insbesondere wird die Bewegung im Netz als eine Folge von Ereignissen betrachtet, so daß das Modell über den momentanen Zustand des Netzes informiert ist. Gleichzeitige Ereignisse, wie die Parkplatzsuche in einem Netzelement, werden damit gleichzeitig abgearbeitet, soweit das in einer sequentiell arbeitenden Computerarchitektur möglich ist. Die Lösung kann als eine simultane Simulation von Aktivitätenketten bezeichnet werden.

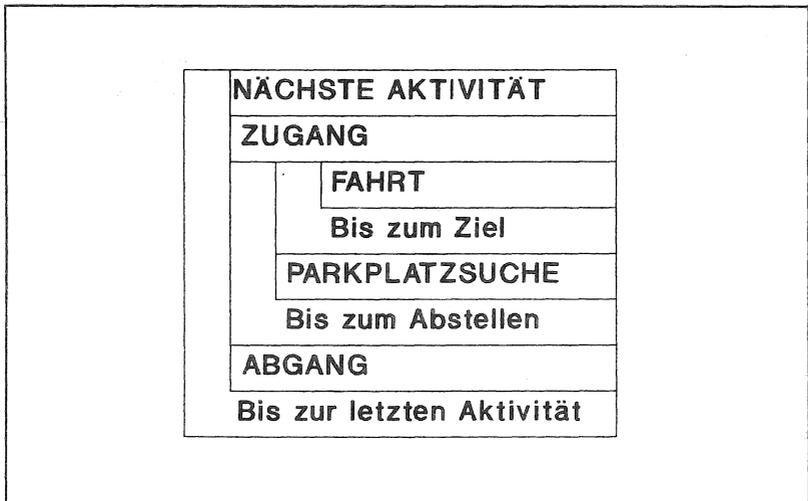
In Anlehnung an das erste im Institut für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe entwickelte Aktivitätenkettenmodell ORIENT (SPARMANN, 1980)

Abbildung 17:  
Mobile Zeiten im Tagesverlauf



heißt die hier vorgeschlagene Lösung ORIENT/RV.

Abbildung 18:  
Ereignisabfolge für eine Person



### 5.3.3 Ereignisse der Simulation

Dieser Unterabschnitt dient der Beschreibung der Ereignisse, die in der Simulation möglich sind und die die Wegekette abbilden, die aus der Aktivitätenkette entsteht. Eine in die Einzelheiten gehende Beschreibung erfolgt in den Abschnitten 6 bis 8. Abbildung 18 zeigt die Abfolge der Ereignisse, die sich an der zeitlichen Abfolge der Ereignisse bei der Durchführung einer Fahrt orientiert:

**Nächste Aktivität** Das Ereignis "Nächste Aktivität" bestimmt das Ziel, das Verkehrsmittel und Parkzelle der nächsten Aktivität unter Berücksichtigung des Status der Aktivität als Haupt- oder Nebenaktivität. Falls die letzte Aktivität eine Hauptaktivität war und die betrachtete Aktivität eine Nebenaktivität ist, werden zuerst das Ziel, das Verkehrsmittel und die Parkzelle für die nächste Hauptaktivität in der Aktivitätenkette bestimmt, da diese Angaben für die Berechnungen für die Nebenaktivität benötigt werden.

**Zugang** Das Ereignis "Zugang" berechnet die Länge des Fußweges zum Parkplatz oder der nächsten Haltestelle auf Grund der baulichen Struktur und der Größe betrachteten Zelle. Der zurückgelegte Fußweg wird in einer Fahrt abgespeichert.

**Fahrt** Das Ereignis "Fahrt" bewegt ein Kfz/eine Person durch das Netz und berechnet die Ankunftszeit am Ziel/Parkziel der betrachteten Person. Die Fahrt wird nach Abschluß abgespeichert.

**Parkplatzsuche** Das Ereignis "Parkplatzsuche" berechnet die Suchdauer, die Verfügbarkeit eines Parkplatzes eines bestimmten Types und den gewählten Parkplatz. Bei erfolgloser Suche wird eine neue Zielzelle oder ein neuer Parkstandstyp bestimmt. Notwendige Suchfahrten werden als Fahrten abgespeichert.

**Abgang** Das Ereignis "Abgang" ist das Gegenstück zu dem Ereignis "Zugang". Es ruft, solange weitere Aktivitäten in der Kette vorhanden sind, das Ereignis "Nächste Aktivität" auf.

## 5.4 Bausteine: SAS/ORIENT

Die Datenbasis in SAS/ORIENT soll dem Modellbaustein ORIENT/RV alle notwendigen Daten zur Verfügung stellen. Da das Simulationprogramm ORI-

ENT/RV alle vier Stufen des traditionellen Verkehrsplanungsalgorithmuses umfaßt, werden Daten über folgende Bereiche benötigt:

- Beschreibung des Verkehrsnetzes
- Sozio-ökonomische und verkehrliche Beschreibung des Untersuchungsraums
- Geographische Beschreibung des Untersuchungsraums

Der Öffentliche Personennahverkehr ist nur in dem für Planungszwecke notwendigen Umfang abgebildet, d.h. es fehlen Informationen über betriebliche Aspekte des öffentlichen Verkehrs.

Neben anderen sind die folgenden Auswertungen in einer Reihe von Unterprogrammen realisiert, die der Nutzer im Rahmen von SAS/ORIENT aufrufen kann:

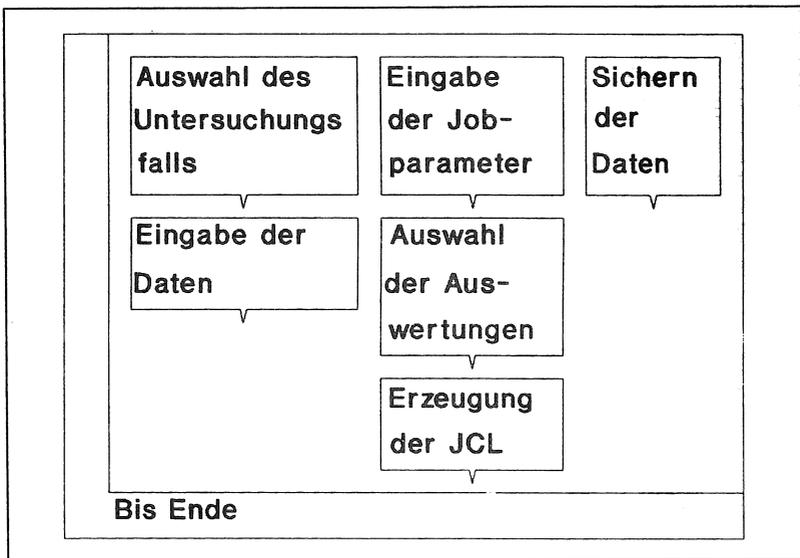
- Ganglinie der Fahrten
- Fij - Matrix
- Ganglinie der Belastung der Netzelemente
- Ganglinie der Belastung der Parkanlagen
- Belastungsprofil des Netzes
- Belastungsprofil der Parkanlagen
- Auswertungen zu Anzahl, Dauer und Art der Parkvorgänge
- Auswertung der Suchfahrten

Die Auswertungen können, in der Regel, nach Ort, Zweck der Aktivität und Personenkreis getrennt durchgeführt werden (siehe auch Anhang B).

Das Programm SAS/ORIENT hat die in Abbildung 19 gezeigte Struktur.

Aus einem Hauptmenü heraus kann der Nutzer eine von vier Aktionen wählen. Als erstes muß der Nutzer den Untersuchungsfall bestimmen, für den dann automatisch die entsprechenden Dateien bereitgestellt werden. Die Eingabe der jeweiligen Daten erfolgt dann im zweiten Schritt. Für den jeweiligen Untersuchungsfall wird als zweites ein Simulationslauf erzeugt, der auch die gewünschten Auswertungen umfaßt. Als Teil dieser Aktion werden die Betriebssystembefehle erzeugt, die die Simulation starten. Als dritte Aktion kann der Untersuchungsfall permanent gesichert werden.

Abbildung 19:  
Übersicht über SAS/ORIENT



## 6 ORIENT/RV: Aspekte der Aktivitätenketten

### 6.1 Vorbemerkung

In diesem Abschnitt werden die Entscheidungsmodelle vorgestellt, die für die Bestimmung der Orte und Verkehrsmittel verwendet werden, die bei der Abarbeitung der gegebenen Aktivitätenkette angesteuert und benutzt werden. Bei diesen Entscheidungsmodellen handelt es sich nicht um Neuentwicklungen, sondern um die Erweiterungen bekannter Ansätze.

Im nächsten Unterabschnitt wird die Abfolge erläutert, in der die Orte und Verkehrsmittel bestimmt werden. Es folgen drei Unterabschnitte über die Eingabedaten und zwei Unterabschnitte über die Entscheidungsmodelle.

### 6.2 Abfolge der Entscheidungen

Die Abfolge der Entscheidungen baut auf dem Modell ORIENT von SPARMANN (1980) auf, die vor dem Hintergrund der neueren Erkenntnisse weiter differenziert wird (siehe Abbildung 20). Diese Abfolge ist in dem Ereignis "Nächste Aktivität" implementiert. Die interne Logik der Ziel-, Verkehrsmittel- und Parkplatzwahl wird in den Unterabschnitten 6.7, 6.6 und 7.3 beschrieben.

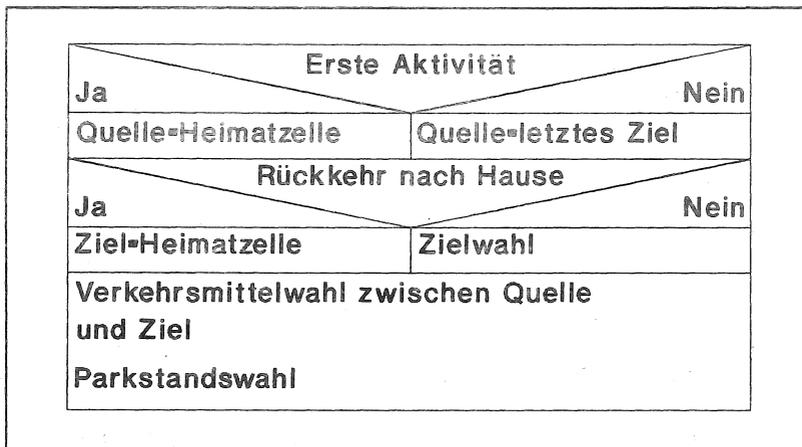
### 6.3 Verhaltenshomogene Personenkreise

Für ORIENT/RV wird die Gliederung der Bevölkerung in verhaltenshomogene Personenkreise nach SCHMIEDEL in einer leicht erweiterten Form verwendet. Die berufstätigen Personen werden nach Beschäftigung im sekundären und tertiären Sektor weiter unterteilt, da diese Sektoren weitgehend verschiedene räumliche Standorte haben und verschiedene zeitliche Restriktionen ausüben (Schichtarbeit, Arbeitszeitbeginn) (siehe Tabelle 8). Es ergeben sich folgende 13 Personenkreise:

### 6.4 Erzeugung der Aktivitätenketten

Bei der Diskussion der bekannten Erklärungsansätze für die Aktivitätenketten in Abschnitt 2.4 wurde deutlich, daß bisher Modelle fehlen, die in "sparsamer" Form zur Erzeugung von Aktivitätenketten herangezogen werden könnten. Die Markow-Ansätze scheitern entweder an ihrer fehlenden Zeitachse oder an der Vielzahl von Parametern, die für sie notwendig sind. Gegen Ansätze, wie den von MENTZ (1984) die die Übergangswahrscheinlichkeiten von Teilketten zu ihrem nächsten

Abbildung 20:  
Abfolge der Entscheidungen



Glied berechnen, spricht ebenfalls die Vielzahl der notwendigen Parameter. Die Aktivitätsketten aus der Verteilung der bekannten Aktivitätsketten mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode zu ziehen erscheint als das sinnvollste Verfahren. Aber die Aktivitätsketten nur aus den Ketten zu ziehen, die in der gegebenen Grundgesamtheit, zum Beispiel dem KONTIV-Datenmaterial, in mehr als einem Prozent der Fälle auftreten, wie in ORIENT, ist eine unnötige Beschränkung, die, wie oben gezeigt, auch zu schwerwiegenden Fehlern führen kann.

In ORIENT/RV wird deshalb aus der gegebenen Grundgesamtheit der Aktivitätsketten eine systematische Stichprobe für jeden Personenkreis gezogen. Dieses Vorgehen erlaubt es, verschiedene Stichprobensätze zu verwenden und so eine der gestellten Aufgabe angepaßte Stichprobe zu definieren. Die Verwendung realisierter Aktivitätsketten hat darüber hinaus den Vorteil, daß die Dauern aller Aktivitäten bekannt sind. Die Randbedingungen, die die zeitliche Verfügbarkeiten von Infrastruktur formen, sind in der Bundesrepublik größtenteils einheitlich geregelt: Ladenschlußzeiten, Schulbeginn, Schichtbeginn. Es entsteht deshalb durch die Verwendung und Übertragung von Aktivitätsketten kein zu berücksichtigender Fehler.

Für die realisierten Aktivitätsketten sind die Anfangszeitpunkte jeder Aktivität bekannt. Von diesen wird nur der Zeitpunkt des Aufbruch zur ersten Aktivität verwendet, da alle weiteren Zeitpunkte von dem örtlichen Verkehrssystem abhängen. Es wird darauf verzichtet, die Wechselwirkungen zwischen den zeitlichen Restrik-

Tabelle 8:  
Berücksichtigte Personenkreise

Nr.	Beschreibung
1.	Schüler unter 14 Jahren
2.	Schüler über 14 Jahre
3.	Lehrlinge
4.	Studenten mit Pkw
5.	Studenten ohne Pkw
6.	Erwerbstätige im sekundären Bereich mit Pkw
7.	Erwerbstätige im tertiären Bereich mit Pkw
8.	Weibliche Erwerbstätige im sekundären Sektor ohne Pkw
9.	Weibliche Erwerbstätige im tertiären Sektor ohne Pkw
10.	Männliche Erwerbstätige im sekundären Sektor ohne Pkw
11.	Männliche Erwerbstätige im tertiären Sektor ohne Pkw
12.	Hausfrauen, Rentner und sonstige Nichterwerbstätige mit Pkw
13.	Hausfrauen, Rentner und sonstige Nichterwerbstätige ohne Pkw

tionen und den Aktivitätsketten zu modellieren, da hierfür schon sehr komplexe Modelle entwickelt wurden (siehe Abschnitt 2.4), deren Berücksichtigung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Es wird für ORIENT/RV angenommen, daß die Dauer und die Abfolge der Aktivitäten und der Beginn der ersten Aktivität von den zu testenden Maßnahmen nicht beeinflußt werden.

Das letzte vorab benötigte Element der Aktivitätskette, die Heimatzone, in der die Kette beginnt und endet, wird mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode aufgrund der gegebenen Verteilung der Personenkreise auf die Verkehrszellen des Untersuchungsraums bestimmt.

## 6.5 Bestimmung der Hauptaktivitäten

Die Bedeutung der Hauptaktivitäten, insbesondere der Pflichtaktivitäten, wie Arbeit, Besuch der Schule, auf die anderen Aktivitäten ist in Abschnitt 2.3 dargestellt worden. Nach ANTONISSE et al. (1986) wird für die Bestimmung der Hauptaktivitäten folgende Rangfolge zugrunde gelegt:

1. Rückkehr nach Hause
2. Pflichtaktivitäten
3. Den Pflichtaktivitäten verbundene Aktivitäten

#### 4. Sonstige Aktivitäten in der Reihenfolge ihrer Dauer

In ORIENT/RV erhalten die Aktivitäten der Klassen 1 bis 3 den Status einer Hauptaktivität, während alle anderen Aktivitäten als Nebenaktivität betrachtet werden.

Für die 13 Personenkreise gibt die Tabelle 9 eine Übersicht über die Pflichtaktivitäten und die den Pflichtaktivitäten verbundenen Aktivitäten.

## 6.6 Verkehrsmittelwahl

### 6.6.1 Verkehrsmittelwahl der Hauptaktivitäten

Die Entwicklung und Kalibrierung eines Modells der Verkehrsmittelwahl mit neu erhobenen Daten würde den Rahmen dieser Untersuchung sprengen. Insbesondere die Ergebnisse, die FEENEY in seiner Literaturübersicht über Modelle der Verkehrsmittelwahl vorstellt, legen aber eine Modell mit einem Variablensatz nahe, für das keine empirischen Ergebnisse vorliegen. Die Parameter des Entscheidungsmodells müssen deshalb aufgrund von Plausibilitätsannahmen bestimmt werden.

Das Entscheidungsmodell wird mit dem Logit-Ansatz formuliert, der auf dem Prinzip der Nutzenmaximierung aufbaut. Da die betrachteten Alternativen - zu Fuß, Fahrrad, Pkw, Pkw als Mitfahrer und ÖPNV - klar voneinander getrennt sind, tauchten keine Probleme mit der "IIA"-Eigenschaft (Independence of irrelevant alternatives) des Logit-Ansatzes auf.

Die Nutzenfunktionen  $u_i$  für die Verkehrsmittel:

- Zu Fuß
- Fahrrad/Mofa
- Pkw/Motorrad als Fahrer
- Pkw/Motorrad als Mitfahrer
- ÖPNV

setzen sich aus fünf Elementen zusammen:

- Konstante:  $c_i$
- Fahrzeit:  $t_{f_i}$
- Zu- und Abgangszeiten:  $t_{z_i}$

- Such- und Wartezeiten:  $t_{si}$
- unmittelbare Fahrtkosten:  $k_i$

$$u_i = \alpha t_{fi} + \beta t_{si} + \gamma t_{si} + \delta k_i$$

In ORIENT/RV werden für die Zeitelemente der Nutzenfunktion die langfristigen Erwartungswerte der Verkehrsteilnehmer verwendet, die als Eingabedaten bereitgestellt werden müssen. Diese Annahme entspricht der Realität besser als zum Beispiel das Einsetzen eines Umlegungswertes, da diese Art der vollständigen, aktuellen Information für den Einzelnen nicht verfügbar ist.

Die unmittelbaren Fahrtkosten umfassen nur die Kosten, die während der Fahrt anfallen, z.B. Parkgebühren, Einzelfahrscheine. Mittel- und langfristige Kosten, wie Monatskarten, Benzinkosten, Abschreibungen, werden nicht berücksichtigt, da nur die kurzfristige Entscheidung für oder gegen ein Verkehrsmittel abgebildet werden soll.

Die Suchzeiten der Pkw-Fahrer, die über einen Dienst- oder reservierten Parkplatz verfügen, sind gleich null. Die Verfügung über einen solchen Parkplatz wird mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode bestimmt.

Die Auswahlwahrscheinlichkeiten unter austauschbaren Verkehrsmitteln werden mit dem Logit-Ansatz berechnet:

$$p(\text{Verkehrsmittel} = i) = \frac{e^{u_i}}{\sum_{k=1}^5 e^{u_k}}$$

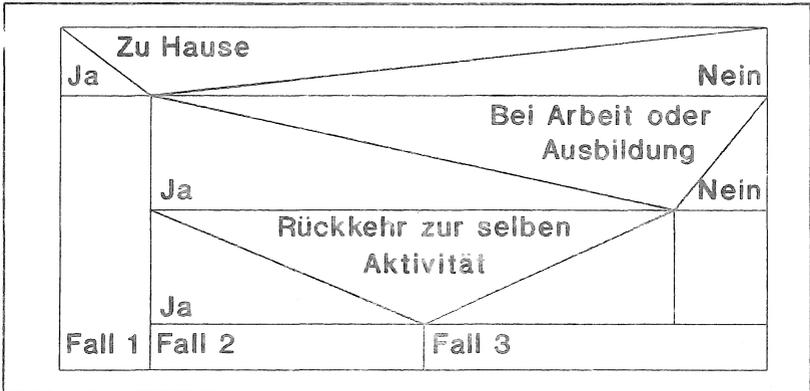
Das gewählte Verkehrsmittel wird dann mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode bestimmt.

Die Austauschbarkeit eines Verkehrsmittels hängt davon ab, ob es an seinen Ursprungsort zurückgebracht werden muß, wie ein Pkw oder Fahrrad und ob das Verkehrsmittel zwischenzeitlich abgestellt werden kann. Abbildung 21 zeigt die drei möglichen Fälle:

Im Fall 1 besteht die Auswahl aus allen verfügbaren Verkehrsmitteln. Für Fall 2 und für Fall 3 ist die Verfügbarkeit eingeschränkt, wie in Tabelle 10 dargestellt.

Die Annahme, daß Radfahrer und Pkw-Fahrer nur am Arbeitsplatz und am Ausbildungsort ihr Verkehrsmittel wechseln können, ist restriktiv. Sie schließt Fälle aus, in denen ein Verkehrsteilnehmer sein Verkehrsmittel zu anderen Gelegenheiten wechselt. Ein typisches Beispiel ist die Verwendung des ÖPNV, um am Ende eines Einkaufsummels zum Fahrzeug zurück zu gelangen. Es wird zu einer Unterschätzung der Fußwege und ÖPNV-Fahrten kommen, da, zum Beispiel im Einkaufsverkehr, solche Fahrten entstehen, nachdem das Fahrzeug abgestellt

Abbildung 21:  
Fallunterscheidung bei der Verkehrsmittelwahl



- Fall 1: Unbeschränkte Auswahl unter den verfügbaren Alternativen  
 Fall 2: Eingeschränkte Auswahl (inklusive mitgeführtem Fahrzeug)  
 Fall 3: Auswahl unter den austauschbaren Verkehrsmitteln oder Weiterfahrt im mitgeführten Fahrzeug

worden ist. Über die Größe dieses Fehlers liegt aber kein Material vor, da diese Wege und Fahrten in der Regel nicht erfaßt werden. Die Auswahlwahrscheinlichkeiten werden mit der selben Nutzenfunktion für die verfügbaren Verkehrsmittel berechnet. Diese Vereinfachung ist notwendig, da Informationen über situationspezifische Logit-Ansätze fehlen.

### 6.6.2 Verkehrsmittelwahl der Nebenaktivitäten

Die Ergebnisse von HOLZAPFEL und KÜCHLER verbieten es, das Verfahren zur Bestimmung des Verkehrsmittels einer Hauptaktivität für die Nebenaktivitäten zu übernehmen. Die notwendige Reduzierung des Entscheidungsraumes auf eine Ellipse um die beiden Hauptziele kann auf zwei Arten erreicht werden: a) die möglichen Ziele werden explizit angegeben oder b) die Nutzenfunktion wird so verändert, daß nicht nur der Weg zum Ziel, sondern auch der Weg vom Ziel zum nächsten Hauptziel berücksichtigt wird. Die erste Möglichkeit wirft Schwierigkeiten auf, die gegen ihre Verwendung sprechen: die Parameter der Ellipse sind unbekannt; selbst wenn sie bekannt sind, muß für jede Zelle die Zugehörigkeit zur Ellipse überprüft werden. Es wird deshalb der zweite Weg, selbst wenn er längere Rechenzeiten verursacht, vorgezogen.

Die in 6.6.1 vorgestellte verwendete Nutzenfunktion wird in folgender Weise erweitert:

$$u_i = c_i + (\alpha_i t_{f_i} + \beta_i t_{z_i} + \gamma_i t_{s_i} + \delta_i k_i)_{r,t} \\ + (\alpha_i t_{f_i} + \beta_i t_{z_i} + \gamma_i t_{s_i} + \delta_i k_i)_{t,s}$$

r : Gegenwärtiger Standort

t : Ziel der Nebenaktivität

s : Ziel der nächsten Hauptaktivität

In dieser Art wird die Einschränkung des Entscheidungsraums schon bei der Verkehrsmittelwahl berücksichtigt, was die Konsistenz der Verkehrsmittelwahl erhöht. Das weitere Verfahren ist unverändert.

## 6.7 Zielwahl

Die Bestimmung des Zieles einer Hauptaktivität setzt die Kenntnis des Entscheidungsraums des Einzelnen voraus. Diese Entscheidungsräume sind für einen Außenstehenden nicht erfaßbar. Als erste Näherung sollen deshalb bei der Zielwahl nur die Zellen berücksichtigt werden, die innerhalb eines festzulegenden Grenzwertes erreicht werden können und in denen die geplante Aktivität durchgeführt werden kann.

Der Nutzen einer Zelle wird analog zum Gravitationsmodell als Quotient aus aktivitätsspezifischer Attraktivität und gewichteter Entfernung berechnet:

$$u_z = \frac{\text{Attraktivität}}{\text{gewichtete subjektive Entfernung}}$$

Tabelle 11 zeigt, welche Merkmale den Aktivitäten als Attraktivitäten zugeordnet sind.

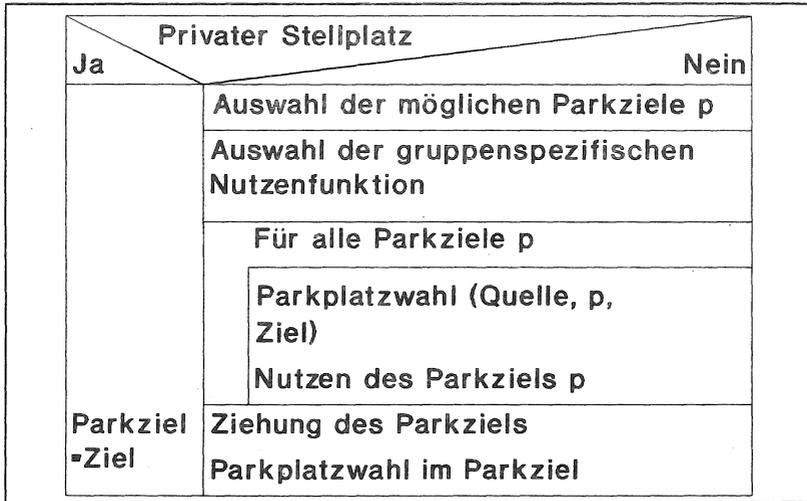
Für die Berechnung der gewichteten subjektiven Entfernung wird die jeweilige Nutzenfunktion der Verkehrsmittelwahl (Haupt- oder Nebenaktivität) ausgewertet, deren Ergebnis eine Schätzung für die mittlere subjektive Entfernung zum betrachteten Ziel sein soll:

$$\text{gewichtete subjektive Entfernung} = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 P_i \cdot e^{u_i}}$$

$P_i$ : Verkehrsmittelwahlanteil von Verkehrsmittel i

Die subjektiven Entfernungen für die verschiedenen Verkehrsmittel gehen in dem Umfang ein, in dem die Verkehrsmittel für diese Quelle-Ziel-Beziehung gewählt werden.

Abbildung 22:  
Logik der Zielwahl



Aus den so berechneten Nutzen der Zellen wird mit der Monte-Carlo-Methode die Zielzelle bestimmt.

Auf eine personenkreis- oder aktivitätenspezifische Gewichtung der gewichteten subjektiven Entfernung soll hier verzichtet werden, da die Restriktion der Entscheidungsräume die durch die Gewichtungsfaktoren abgebildeten Effekte berücksichtigen sollte.

Abbildung 22 faßt die Logik der Zielwahl in einem Diagramm zusammen.

Tabelle 9:  
Übersicht über die Pflichtaktivitäten

Personenkreis	Aktivität	Verbundene Aktivität
1. Schüler unter 14 Jahren	Schule <sup>a</sup>	-
2. Schüler über 14 Jahre	Schule <sup>a</sup>	-
3. Lehrlinge	Ausbildung <sup>a</sup>	-
4. Studenten mit Pkw	Ausbildung <sup>a</sup>	-
5. Studenten ohne Pkw	Ausbildung <sup>a</sup>	-
6. Erwerbstätige im sekundären Sektor mit Pkw	Arbeit <sup>a</sup>	Dienst. Erledigung
7. Erwerbstätige im tertiären Sektor mit Pkw	Arbeit <sup>a</sup>	Dienst. Erledigung
8. Weibliche Erwerbstätige im sekundären Sektor ohne Pkw	Arbeit <sup>a</sup>	Dienst. Erledigung
9. Weibliche Erwerbstätige im tertiären Sektor ohne Pkw	Arbeit <sup>a</sup>	Dienst. Erledigung
10. Männlicher Erwerbstätiger im sekundären Sektor ohne Pkw	Arbeit <sup>a</sup>	Dienst. Erledigung
11. Männlicher Erwerbstätiger im tertiären Sektor ohne Pkw	Arbeit <sup>a</sup>	Dienst. Erledigung
12. Hausfrauen, Rentner und sonstige Nichterwerbstätige mit Pkw	Einkauf/private Erledigung mit längster Dauer	-
13. Hausfrauen, Rentner und sonstige Nichterwerbstätige ohne Pkw	Einkauf/private Erledigung mit längster Dauer	-

<sup>a</sup> In Ketten ohne Pflichtaktivität: Aktivität mit längster Dauer

Tabelle 10:  
Verfügbare Verkehrsmittel für Fall 2/Fall 3

Zuletzt verwendetes Verkehrsmittel	Zu Fuß	Fahrrad	Pkw-Fahrer	Pkw-Mitfahrer	ÖPNV
Zu Fuß	j/j	n/n	n/n	j/j	j/j
Fahrrad	j/n	j/j	n/n	j/n	j/n
Pkw-Fahrer	j/n	n/n	j/j	j/n	j/n
Pkw-Mitfahrer	j/j	n/n	n/n	j/j	j/j
ÖPNV	j/j	n/n	n/n	j/j	j/j

Tabelle 11:  
Attraktivitätsmerkmale der Aktivitäten

Merkmal	Aktivität (Verhaltenshomogene Personenkreise)
Arbeitsplätze – Sekundärer Sektor – Tertiärer Sektor – Beide Sektoren Schulplätze bis 9. Klasse Schulplätze in der Oberstufe Lehrstellen Kapazität im tertiären Bildungsbe- reich Anzahl der Einwohner Verkaufsflächen	Arbeit (6,8,10) Arbeit (7,9,11) Dienstliche Erledigungen (6-11) Ausbildung (1) Ausbildung (2) Ausbildung (3) Ausbildung (4,5) Privat (1-13) Einkauf (1-13)

## 7 ORIENT/RV: Parkplatzwahl

### 7.1 Vorbemerkung

Zur Beschreibung der Wahl des Parkstandes nach Typ und Ort sind zwei Entscheidungsmodelle notwendig, deren Ansatz nach einer Literaturübersicht beschrieben werden soll. Die Schätzung des verwendeten Modells für die Wahl des Parkstandstyps wird im Anschluß beschrieben.

Der hier gewählte Ansatz geht davon aus, daß die Wahl des Parkstandes nach Ort und Typ in seiner Struktur der Bestimmung von Ziel und Verkehrsmittel einer Fahrt verwandt ist. Der Zielwahl entspricht die Wahl des Ortes (des Parkziels) und der Verkehrsmittelwahl die Wahl des Parkstandstyps.

Für die Kalibrierung eines Entscheidungsmodells können prinzipiell zwei Arten von Daten herangezogen werden:

- Daten über getroffene, reale Entscheidungen
- Daten über hypothetische, simulierte Entscheidungen

Es zeigt sich, daß Modelle, die mit hypothetischen Daten geschätzt worden sind, nach einer Validierungsstufe räumlich gut übertragbar und Modellen, die auf der Grundlage realer Entscheidungen geschätzt wurden vergleichbar sind (AXHAUSEN, 1988). Aus diesen Gründen wurde eine Befragung mit einem Fragebogen über hypothetische Parkplatzentscheidungen in Karlsruhe durchgeführt (Detaillierte Darstellung der Ergebnisse in den Unterabschnitten 7.4 bis 7.7)

### 7.2 Literaturübersicht

Die Literatur zum Entscheidungsverhalten bei der Parkplatzwahl ist spärlich. Es fehlen vor allem Berichte über Auswirkungen von Angebotsveränderungen auf das Wahlverhalten oder die Suchzeiten.

ERGÜN (1971) benutzt ein Logit-Modell, das als Parameter die Kosten, die Zugangszeit, die Kostenunterschiede zwischen verschiedenen Parkplätzen, die Dauer des Parkvorgangs und Einkommen, Alter und Geschlecht des Parkenden umfaßt. Der Autor schätzt mehrere Logitmodelle für verschiedene Entfernungen vom Ziel. Aufgrund der Datenlage und fehlender Signifikanz der anderen Faktoren wurden nur die Kosten und die Kostenunterschiede in die Analyse einbezogen, die beide signifikant waren. Es zeigte sich eine große Bereitschaft der Untersuchten, längere

Zugangszeiten für Kostenersparnisse in Kauf zu nehmen. Das Modell ist aber in seiner Definition auf die Verhältnisse in der Innenstadt Chicagos abgestimmt.

AUSTIN (1973) berechnet die Wahl eines Parkstands in Abhängigkeit von Preis, Zugangszeit und Wert der Zugangszeit. Unter einer Verteilungsannahme für den Wert der Zugangszeit bestimmt er dann den Anteil einer Parkierungsanlage an dem Markt für ein Ziel.

Das komplexeste Modell stammt von VAN DER GOOT (1982) der ein Logit-Modell für 22, respektive 6 alternative Parkplätze in Haarlem, Niederlande schätzt. Das Modell umfaßt sowohl die Zugangszeit, den Preis im Verhältnis zur geplanten Aufenthaltsdauer, die Überschreitung der Zeitbeschränkungen und die Verfügbarkeit und Attraktivität der anderen Parkplätze. Das Modell hat eine gute Vorhersagekraft, ist aber zu ortsspezifisch, um übertragbar zu sein.

### 7.3 Beschreibung des Ansatzes

Es soll davon ausgegangen werden, daß die Wahl des Parkplatzes nach Ort und Typ in ihrer Struktur der Wahl von Ziel und Verkehrsmittel einer Aktivität entspricht. Nach der Entscheidung für das Ziel, in die die Verfügbarkeit eines Verkehrsmittels/Parkstandstyps eingeht, fällt die Entscheidung für ein Verkehrsmittel/Parkstand.

Die Literaturübersicht legt folgende Nutzenkomponenten eines Parkstandes nahe:

- Konstante:  $c_p$
- Typ (z.B. Parkhaus, Straßenrand, etc.)
- Zugangszeit zum eigentlichen Ziel:  $t_{zp}$
- Fahrzeit bis zum Parkstand:  $t_{fp}$
- eventuelle Suchzeiten:  $t_{sp}$
- Kosten als Funktion der Aufenthaltsdauer:  $k_p(T)$

Statt Suchzeit könnte auch die Verfügbarkeit verwendet werden, aber Suchzeit wird vorgezogen, da sie einfacher erfaßbar ist.

Die Nutzenfunktion  $u_p$  für die drei Parkstandstypen:

- Parken am Straßenrand
- Parkhaus/Parkgarage/Parkplatz
- Illegales Parken

soll die folgende Form annehmen:

$$u_p = c_p + \alpha_p t_{zp} + \beta_p t_{zp} + \gamma_p t_{rp} + \delta_p k_p(T)$$

Die Auswahlwahrscheinlichkeiten der einzelnen Parkstandstypen werden mit einem Logit-Modell berechnet, dessen Parameter mit dem Programm BLOGIT (HENSHER, 1985) geschätzt werden (siehe Unterabschnitt 7.7).

Bei der Wahl der Parkzelle vor Beginn der Fahrt werden langfristige Erfahrungswerte der Nutzer zur Berechnung verwendet. Bei der Wahl eines neuen Parkstandstypes, falls der ursprünglich vorgesehene nicht verfügbar ist, werden die aktuellen Werte, die sich aus dem momentanen Netzzustand ergeben, verwendet. Diese Annahme ist offensichtlich nicht vollständig korrekt, da kein Nutzer über ein vollständiges Bild des Netzzustands verfügt, reflektiert aber, daß ein Nutzer ein solches Bild auf Grund seines Hintergrundwissens und seiner Informationen über den momentanen Netzzustand abschätzen kann.

Der gewählte Parkstandstyp wird aufgrund der Auswahlwahrscheinlichkeiten mit der Monte-Carlo-Methode bestimmt.

Die Wahl des Ortes wird wie die Zielwahl über einen Gravitationsansatz abgebildet. Da die Attraktivität einer Zelle und die Anzahl der verfügbaren Parkplätze über die notwendige Suchzeit schon in der Nutzenfunktion eingeschlossen sind, ergibt sich der Nutzen einer Parkzelle als:

$$u_{zp} = \frac{1}{\text{gewichtete subjektive Entfernung}}$$

wobei die gewichtete subjektive Entfernung wie oben berechnet wird:

$$\text{gewichtete subjektive Entfernung} = \frac{1}{\sum_{p=1}^n P_p \cdot e^{u_p}}$$

$P_p$ : Auswahlwahrscheinlichkeit der Alternative p

Es werden für die Bestimmung der Parkzelle nur die Zellen ausgewertet, die in der Beschreibung des Netzes als benachbart angegeben werden. Auf diese Art können zum Beispiel "park+ride"-Plätze in die Betrachtung einbezogen werden.

## 7.4 Entwicklung des Fragebogens

Die Schätzung der Parameter von Entscheidungsmodellen kann entweder mit Daten über beobachtete, reale Entscheidungen oder mit Daten über hypothetische, simulierte Entscheidungen durchgeführt werden. Im Rahmen der Untersuchung

kam aus Kosten- und Zeitgründen nur der zweite Weg in Frage, da es praktisch unmöglich ist, für jeden Befragten den korrekten Entscheidungsraum zu definieren, der für die Schätzung auf der Basis der beobachteten Entscheidungen notwendig ist.

Die Literaturübersicht (siehe 7.2) hatte für die drei Parkstandstypen - Parkverbot, Parken am Straßenrand und Parkhaus als Repräsentant für räumlich getrennte Parkanlagen, wie Parkgarage, Parkplatz - zehn Einflußgrößen nahegelegt:

- Parkverbot - Anfahrzeit
- Parkverbot - Gebühr
- Straßenrand - Anfahrzeit
- Straßenrand - Suchzeit
- Straßenrand - Abgangszeit
- Straßenrand - Preis
- Parkhaus - Anfahrzeit
- Parkhaus - Suchzeit
- Parkhaus - Abgangszeit
- Parkhaus - Preis

Dabei wurde einschränkend angenommen, daß die Suchzeit und Abgangszeit für das Parken im Parkverbot jeweils null ist. Für die zehn Einflußgrößen wurden jeweils drei Ausprägungen festgelegt, die den Wertebereich, dem ein Karlsruher Autofahrer ausgesetzt ist, abdecken (siehe Tabelle 12).

Aus den 3<sup>10</sup> möglichen Kombinationen wurden 27 ausgewählt, die die Schätzung der Haupteffekte der Einflußgrößen erlauben (KOCUR, ADLER, HYMAN und AUNET, 1981); siehe Tabelle 13). Dieser Versuchsplan wurde in drei Blöcke mit neun Fragen aufgeteilt, um die Aufgabe für den einzelnen Befragten in einem angemessenen Rahmen zu halten.

Um den Einfluß des Zwecks der Fahrt, der Aufenthaltsdauer und der Länge der Anfahrzeit zu untersuchen, wurde die Entscheidungssituation der Aufgabe variiert. Drei Situationen wurden verwendet:

- Fahrt zur Arbeit mit längerer Anfahrt (implizit zehn Stunden Aufenthaltsdauer)
- Fahrt zu einem dreistündigen Einkaufsaufenthalt aus dem Nahbereich
- Fahrt zu einem halbstündigen Aufenthalt aus dem Nahbereich

Tabelle 12:  
Ausprägungen der Einflußgrößen

Einflußgröße	Ausprägung		
	0	1	2
Parkverbot-Anfahrzeit	4 min 20 min	8 min 30 min	12 min <sup>a</sup> 40 min <sup>b</sup>
Parkverbot-Preis <sup>c</sup>	0 DM	5 DM	10 DM
Straßenrand-Anfahrzeit	4 min 20 min	8 min 30 min	12 min <sup>a</sup> 40 min <sup>b</sup>
Straßenrand-Suchzeit	0 min	5 min	10 min
Straßenrand-Abgangszeit	0 min	5 min	10 min
Straßenrand-Preis <sup>d</sup>	0 DM	1.25 DM	2.50 DM
Parkhaus-Anfahrzeit	4 min 20 min	8 min 30 min	12 min <sup>a</sup> 40 min <sup>b</sup>
Parkhaus-Suchzeit	0 min	5 min	10 min
Parkhaus-Abgangszeit	0 min	5 min	10 min
Parkhaus-Preis <sup>d</sup>	0 DM	1.25 DM	2.50 DM

<sup>a</sup> Nahbereich

<sup>b</sup> Fernbereich

<sup>c</sup> Für den ganzen Aufenthalt

<sup>d</sup> Für die angebrochene Stunden

## 7.5 Gestaltung des Fragebogens

Bei der Gestaltung des Fragebogens wurde auf Übersichtlichkeit und Verständlichkeit geachtet. Jede Entscheidung wurde auf einer Seite präsentiert. Den 10 Entscheidungen (neun reguläre Fragen und eine Eingewöhnungsfrage) wurde ein Anschreiben von Prof. Leutzbach auf offiziellem Institutspapier, ausführliche Erläuterungen und ein erklärendes Beispiel vorangestellt. Den Fragen folgte Raum für persönliche Kommentare und ein Satz sozio-ökonomischer Fragen. Dieser Fragensatz war angesichts der Diskussion um die Volkszählung sehr knapp, umfaßte aber die wesentlichen sozio-ökonomischen Charakteristika - Geschlecht, Alter, Beruf, Berufstätigkeit und Pkw-Verfügbarkeit (siehe Abbildungen 23 bis 28).

Der Fragebogen wurde als Heft im Format DIN A5 in einem frankierten Rückumschlag verteilt.

Ein Vortest mit 15 Befragten ergab keine größeren Änderungen an der Gestaltung des Fragebogens.

Tabelle 13:  
Versuchsplan

Block- Nummer	Frage- Nummer	Einflußgröße									
		2	1	6	8	10	9	3	4	6	5
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	1	0	0	1	0	1	1	2	2
	7	0	2	0	0	2	0	2	2	1	1
	10	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	13	1	1	0	1	1	1	2	2	0	0
	16	1	2	0	1	2	1	0	0	2	2
	19	2	0	0	2	0	2	2	2	2	2
	22	2	1	0	2	1	2	0	0	1	1
	25	2	2	0	2	2	2	1	1	0	0
2	2	0	0	1	1	1	2	1	2	2	1
	5	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0
	8	0	2	1	1	0	2	0	1	0	2
	11	1	0	1	2	1	0	2	0	0	1
	14	1	1	1	2	2	0	0	1	2	1
	17	1	2	1	2	0	0	1	2	1	0
	20	2	0	1	0	1	1	0	1	1	0
	23	2	1	1	0	2	1	1	2	0	2
26	2	2	1	0	0	1	2	0	2	1	
3	3	0	0	2	2	2	1	2	1	1	2
	6	0	1	2	2	0	1	0	2	0	1
	9	0	2	2	2	1	1	1	0	2	0
	12	1	0	2	0	2	2	0	2	2	0
	15	1	1	2	0	0	2	1	0	1	0
	18	1	2	2	0	1	2	2	1	0	1
	21	2	0	2	1	2	0	1	0	0	1
	24	2	1	2	1	0	0	2	1	2	0
27	2	2	2	1	1	0	0	2	1	2	

Kodierung wie in Tabelle 7.1

Abbildung 23:  
Anschreiben

INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN  
UNIVERSITÄT (TH) KARLSRUHE  
PROFESSOR DR.-ING. W. LEUTZBACH



D-7500 KARLSRUHE 1 POSTFACH 6980 KAISERSTRASSE 12

Mai 1987

Sehr geehrte Damen und Herren,

das Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe führt in Zusammenarbeit mit der Stadt Karlsruhe eine Untersuchung über die Attraktivität einzelner Parkmöglichkeiten (z.B. Parkhaus, Parkuhr, Parkplatz) durch.

Um in Zukunft stärker auf die Bedürfnisse der Autofahrer eingehen zu können und damit die Parkplatzprobleme zu verringern, bitten wir Sie, diesen Fragebogen vollständig auszufüllen und möglichst bald in dem frankierten Rückumschlag an die Universität zu schicken.

Alle Ihre Angaben werden vertraulich behandelt und nicht weitergegeben.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit, mit der Sie selbst zur Verbesserung der Parkplatzsituation beitragen können.

Mit freundlichen Grüßen

(Professor Dr.-Ing. W. Leutzbach)

Abbildung 24:  
Erläuterungen zum Ausfüllen des Fragebogens

Erläuterungen zum Ausfüllen des Fragebogens

Stellen Sie sich bitte folgende Situation vor:

Sie kommen von außerhalb und fahren mit einem Ihnen zur Verfügung stehenden Pkw zum Arbeiten in die Innenstadt. Ihnen stehen drei Parkgelegenheiten zur Auswahl, die sich bzgl. Gebühr, Anfahrtszeit, Suchzeit und Entfernung zu Ihrem Ziel unterscheiden.

-----

Begriffserklärung

Gebühr:

Beim "Parkverbot" (z.B. Halteverbot, Parken auf Geh- und Radwegen, abgelauene Parkuhr) bezieht sich der angegebene Betrag auf die gesamte Dauer des Parkvorgangs. Sie müssen davon ausgehen, daß Sie ein Verwarnungsgeld in der genannten Höhe zu zahlen haben. Beim "Parken am Straßenrand" und beim "Parkhaus" gilt der Betrag (Parktarif) für jeweils eine angefangene Stunde.

Suchzeit:

Zeit, die man nach Eintreffen im Zielgebiet für das Auffinden eines Parkplatzes benötigt.

Anfahrtszeit:

Zeit von der Abfahrt zu Hause bis zur Ankunft im Zielgebiet, jedoch ohne die Suchzeit.

Entfernung:

Zeit, die man benötigt, um zu Fuß vom Parkplatz zum Ziel (Arbeitsplatz) zu gelangen.

Abbildung 25:  
Beispiel

B e i s p i e l

P a r k h a u s	
Gebühr pro angef. Std.	1.25 DM
Anfahrtszeit	30 min.
Suchzeit	5 min.
Entfernung	5 min.

P a r k e n a m S t r a ß e n r a n d	
Gebühr pro angef. Std.	0 DM
Anfahrtszeit	20 min.
Suchzeit	0 min.
Entfernung	0 min.

P a r k v e r b o t	
Gebühr pro Parkvorgang	10 DM
Anfahrtszeit	20 min.
Suchzeit	0 min.
Entfernung	0 min.

Wählen Sie eine Parkgelegenheit:

- Parkverbot
- Parken am Straßenrand
- Parkhaus

Abbildung 26:  
Erläuterung des Beispiels

Von den eben geschilderten drei Parkmöglichkeiten bietet sich das Parken am Straßenrand als günstigste Gelegenheit an, da es die billigste Lösung ist, die kürzeste Anfahrtszeit und die geringste Suchzeit erfordert, sowie am nächsten zu Ihrem Ziel liegt.

---

\*\*\*\*\*  
\*  
\* Im folgenden stellen wir Ihnen \*  
\* weitere 12 Situationen vor, wo- \*  
\* bei nicht alle Situationen so \*  
\* eindeutig sind wie das neben- \*  
\* stehende Beispiel. Entscheiden \*  
\* Sie sich bitte jeweils für eine \*  
\* Parkmöglichkeit mit der genann- \*  
\* ten Gebühr, Anfahrtszeit, Such- \*  
\* zeit und Entfernung zum Ziel, \*  
\* welche für Sie die günstigste \*  
\* Gelegenheit darstellt. \*  
\* Daran anschließend möchten wir \*  
\* Ihnen einige Fragen zur Person \*  
\* stellen. \*  
\*  
\*\*\*\*\*

Abbildung 27:  
Beispiel einer Frage

11.

P a r k h a u s	
Gebühr pro angef. Std.	0 DM
Anfahrtszeit	20 min.
Suchzeit	0 min.
Entfernung	0 min.

P a r k e n a m S t r a ß e n r a n d	
Gebühr pro angef. Std.	2.50 DM
Anfahrtszeit	40 min.
Suchzeit	10 min.
Entfernung	10 min.

P a r k v e r b o t	
Gebühr pro Parkvorgang	5 DM
Anfahrtszeit	30 min.
Suchzeit	0 min.
Entfernung	0 min.

Wählen Sie eine Parkgelegenheit:

- Parkverbot
- Parken am Straßenrand
- Parkhaus

Abbildung 28:  
Sozio-ökonomische Fragen

Bitte kreuzen Sie noch folgende Fragen an.

Diese Angaben dienen nur zur wissenschaftlichen Auswertung.

Geschlecht

- männlich
- weiblich

Altersklasse

- 18 - 30 Jahre
- 31 - 45 Jahre
- über 45 Jahre

Beruf

- Angestellter
- Arbeiter
- Auszubildender, Schüler, Student
- Beamter
- Hausfrau
- Mithelfender Familienangehöriger
- Rentner
- Selbständiger

Sind Sie berufstätig?

- teilzeit beschäftigt
- vollzeit beschäftigt
- zur Zeit arbeitslos

Wie oft steht Ihnen ein Pkw zur Verfügung?

- selten
- oft (bei Bedarf)
- immer

## 7.6 Stichprobe und Rücklauf

### 7.6.1 Stichprobe

Um die Streuverluste zu vermindern, sollten die Fragebögen nur interessierten Befragten ausgehändigt werden. Es bot sich deshalb an, die Befragung mit einer Interviewbefragung zu den Suchzeiten in Karlsruhe zu koppeln (siehe Unterabschnitt 7.8). Es wurde dabei in Kauf genommen, daß dieses Vorgehen eine repräsentative Stichprobe unmöglich macht, da ein "self-selection-bias" wirksam wird, d.h. nur die besonders Interessierten antworten auf die Befragung. Um das Spektrum der Befragten zu erweitern, wurden unter Mitarbeit zweier Kaufhäuser der Karlsruher Innenstadt noch Angestellte befragt.

Am 19. 5. 1987 wurden 209 Fragebögen im Parkhaus Waldstraße verteilt; 334 Fragebögen wurden am 26. 5. 1987 (siehe Abbildung 29) im Befragungsgebiet in der Karlsruher Innenstadt ausgehändigt; am 15. 5. 1987 und am 11. 6. 1987 wurden 90, respektive 80 Bögen in den beiden Kaufhäusern verteilt.

### 7.6.2 Rücklauf

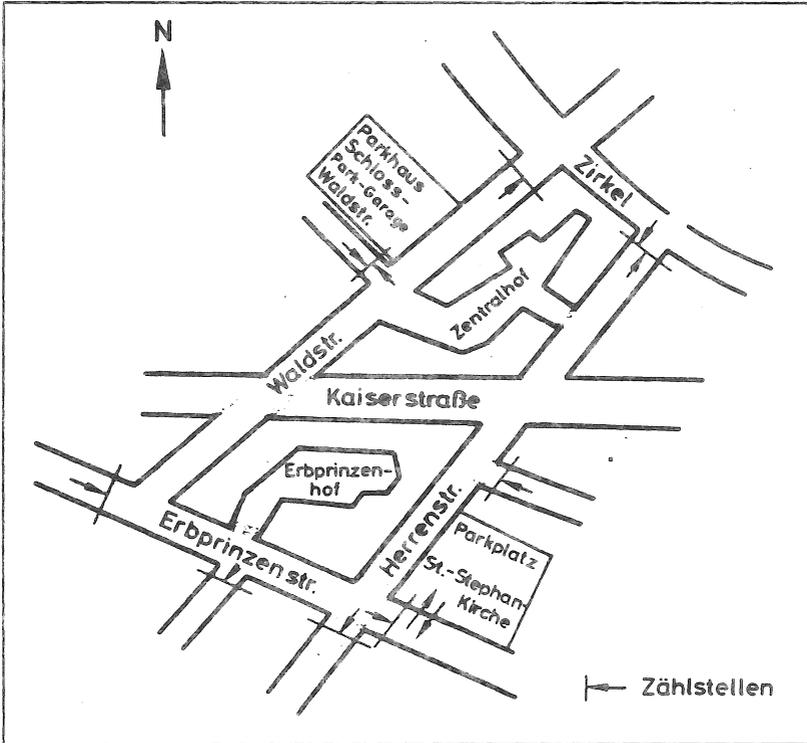
Bis zum 25. 6. 1987, dem letzten berücksichtigten Tag, waren im folgenden Umfang Fragebögen zurückgesandt worden:

Tabelle 14:  
Rücklaufquoten

Ort	Verteilt [Anzahl]	Rücklauf	
		[Anzahl]	[%]
Parkhaus	209	116	56%
Befragungsgebiet	334	149	45%
Kaufhäuser	171	39	23%
Alle	714	304	43%

Für eine Befragung mit einem derart komplexen Instrument ist die durchschnittliche Rücklaufquote von 43% sehr gut und spricht dafür, daß ein interessierter Befragtenkreis angesprochen werden konnte.

Abbildung 29:  
Untersuchungsgebiet in der Karlsruher Innenstadt



### 7.6.3 Beschreibung der Befragten

Tabelle 15 vergleicht die sozio-ökonomischen Eigenschaften der beiden Untersuchungen. Der typische Beantwortende des Fragebogens ist ein männlicher, vollzeitbeschäftigter Angestellter. Frauen und Nicht-Berufstätige scheinen unterrepräsentiert, aber genaue Aussagen sind nicht möglich, da keine Informationen über die Grundgesamtheit der Parkenden vorliegen. Da sich aber die Unterschiede zwischen der Fragebogenaktion und der Befragung zur Suchzeit in engen Grenzen halten, sollten die Ergebnisse verallgemeinerbar sein.

Als Kriterium für eine Segmentierung können auch die Entscheidungen dienen, die dann zu der in Tabelle 16 erläuterten Gruppeneinteilung führt.

Tabelle 18 zeigt die Verteilung der Befragten auf diese Gruppen und Tabelle 17 ihre Anteile an der Stichprobe.

Tabelle 15:  
Vergleich der Befragten der beiden Stichprobe

Merkmal	Befragte zur Suchzeit	Befragte zur Parkplatzwahl
<b>Geschlecht</b>		
Männlich	64%	63%
Weiblich	36%	37%
<b>Alter</b>		
18 - 30 Jahre	43% <sup>a</sup>	49% <sup>b</sup>
31 - 45 Jahre	38%	28%
über 45 Jahre	19%	22%
<b>Berufstätigkeit</b>		
Vollzeit	- <sup>c</sup>	70%
Teilzeit	-	12%
Arbeitslos	-	1%
<b>Kfz-Verfügbarkeit</b>		
Immer	- <sup>c</sup>	85%
Meistens	-	11%
Selten	-	5%

<sup>a</sup> Einschätzung der Interviewer

<sup>b</sup> Angabe der Befragten

<sup>c</sup> Nicht Teil der Straßenbefragung

Tabelle 16:  
Gruppenbildung bei den Parkplatzentscheidungen

Nummer und Bezeichnung	Definition
1	Immer im Parkverbot Acht oder mehr Entscheidungen für Parken im Parkverbot
2	Immer am Straßenrand Acht oder mehr Entscheidungen für Parken am Straßenrand
3	Immer im Parkhaus Acht oder mehr Entscheidungen für Parken im Parkhaus
4	Nie im Parkverbot Keine Entscheidung für Parken im Parkverbot und je zwei oder mehr Entscheidungen für die anderen Typen
5	Nie am Straßenrand Keine Entscheidung für Parken am Straßenrand und je zwei oder mehr Entscheidungen für die anderen Typen
6	Nie im Parkhaus Keine Entscheidung für Parken im Parkhaus und je zwei oder mehr Entscheidungen für die anderen Typen
7	Alle Parkstandstypen Alle verbleibenden Befragten

Tabelle 17:  
Anteile der Gruppen

Gruppe	Anteil	
1	Immer im Parkverbot	1%
2	Immer am Straßenrand	1%
3	Immer im Parkhaus	10%
4	Nie im Parkverbot	32%
5	Nie am Straßenrand	1%
6	Nie im Parkhaus	6%
7	Alle Parkstandstypen	49%

Tabelle 18:  
Antwortkombinationen der Befragten

Anzahl der Entscheidungen									
Für im Park- verbot	Für Parken am Straßenrand								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	19	11	18	29	21	12	7	5	1
1	0	1	7	14	3	3	3	3	1
2	0	1	7	7	14	7	3	2	-
3	0	3	8	7	4	8	1	-	-
4	1	0	3	10	4	3	-	-	-
5	0	3	4	7	5	-	-	-	-
6	2	3	0	4	-	-	-	-	-
7	1	4	2	-	-	-	-	-	-
8	0	3	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 19:  
Verteilung der Geschlechter

Gruppe	Geschlecht	
	Männlich	Weiblich
3 Immer im Parkhaus	53%	47%
4 Nie im Parkverbot	60%	40%
6 Nie im Parkhaus	41%	59%
7 Alle Parkstandstypen	69%	31%
Alle Befragten	63%	37%

In den Tabellen 19 bis 24 sind die Befragten nach ihren Antworten auf die Fragen hinsichtlich des Parkens differenziert <sup>5</sup>.

<sup>5</sup>Die schwach besetzten Gruppen 1, 2 und 5 werden nicht einzeln dargestellt

Tabelle 20:  
Alterverteilung

Gruppe	Alter [%]		
	<30	31-45	>45
3 Immer im Parkhaus	40%	27%	33%
4 Nie im Parkverbot	43%	32%	25%
6 Nie im Parkhaus	53%	12%	35%
7 Alle Parkstandstypen	55%	29%	16%
Alle Befragten	49%	28%	22%

Tabelle 21:  
Verteilung der Berufe

Gruppe	Beruf [%]							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	3 <sup>c</sup>	4 <sup>d</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>f</sup>	7 <sup>g</sup>	8 <sup>h</sup>
3 Immer im Parkhaus	50	27	3	13	3	-	3	-
4 Nie im Parkverbot	42	9	18	13	6	1	1	9
6 Nie im Parkhaus	65	-	18	6	6	-	-	6
7 Alle Parkstandstypen	40	8	28	6	2	-	2	13
Alle Befragten	44	9	21	9	4	0	2	10

<sup>a</sup> Angestellter

<sup>b</sup> Arbeiter

<sup>c</sup> Auszubildener, etc.

<sup>d</sup> Beamter

<sup>e</sup> Hausfrau

<sup>f</sup> Mithelfend

<sup>g</sup> Selbständig

<sup>h</sup> Rentner

Tabelle 22:  
Verteilung der Berufstätigkeit

Gruppe	Berufstätigkeit [%]			
	teil-zeit	voll-zeit	arbeits-los	nicht-berufs-tätig
3 Immer im Parkhaus	10%	83%	–	7%
4 Nie im Parkverbot	12%	68%	1%	18%
6 Nie im Parkhaus	18%	65%	–	18%
7 Alle Parkstandstypen	11%	70%	1%	18%
Alle Befragten	12%	70%	1%	17%

Tabelle 23:  
Verteilung der Pkw-Verfügbarkeit

Gruppe	Pkw-Verfügbarkeit [%]		
	selten	oft	immer
3 Immer im Parkhaus	–	13%	87%
4 Nie im Parkverbot	9%	15%	76%
6 Nie im Parkhaus	–	6%	94%
7 Alle Parkstandstypen	3%	9%	89%
Alle Befragten	5%	11%	85%

Ein  $\chi^2$ -Test, in den die Gruppen 4 und 7 einbezogen waren, zeigte für alle Merkmale, daß kein Zusammenhang zwischen Gruppenzugehörigkeit und einem der Merkmale besteht. Es kann deshalb, trotz gewisser Tendenzen, davon ausgegangen werden, daß die Gruppen in den verhaltensähnlichen Personenkreisen gleichverteilt sind.

## 7.7 Kalibrierung

Die Stichprobe kann für die Kalibrierung des Modells nach einer Reihe von Kriterien aufgeteilt werden. Die folgenden Unterabschnitte präsentieren die Ergebnisse, getrennt nach den Entscheidungssituationen, dem Alter, dem Geschlecht und der Gruppenzugehörigkeit.

Für die Berechnungen wurde das Modell BLOGIT (HENSHER, 1985) verwendet. Die Kosten des Aufenthalts wurden als Gesamtkosten für den Aufenthalt angegeben.

### 7.7.1 Kalibrierung getrennt nach Entscheidungssituationen

Für jede der drei Entscheidungssituation - Fahrt zur Arbeit, Einkauf und kurzer Aufenthalt -, die in Tabelle 24 aufgeführt sind, wird ein Logit-Modell geschätzt.

Die Bestimmtheitsmaße sind für alle drei Modelle am unteren Ende des Bereichs, den HENSHER und JOHNSON als gut bis sehr gut bezeichnet. Die Parameter der Reisezeitelemente bleiben praktisch unverändert, während die Preis-Parameter sich mit der Verkürzung der Aufenthaltszeit stark erhöhen. Beim Kurzaufenthalt wird ein dramatischer Unterschied zwischen dem illegalen und dem legalen Parken deutlich, der die Bereitschaft andeutet, bei kurzen Aufenthalten illegal zu parken. Derselbe Effekt wird auch in der Veränderung der Konstante für das Parken im Parkhaus deutlich. Interessant ist auch der konsistent höhere Wert der Zugangszeit-Parameter im Vergleich zu den Anfahrzeit-Parametern. Die Unannehmlichkeit des Laufens schlägt hier durch.

### 7.7.2 Kalibrierung getrennt nach Geschlecht

Tabelle 25 enthält die Ergebnisse für die männlichen und weiblichen Befragten.

Es fällt auf, daß sich die Ergebnisse im ganzen nicht deutlich unterscheiden. Als einzige Besonderheit schält sich heraus, daß Frauen dem Parkhaus nicht so negativ gegenüberstehen wie die Männer (kleinere Parameterwerte und eine Konstante, die statistisch nicht von Null verschieden ist).

### 7.7.3 Kalibrierung getrennt nach Altersgruppen

Tabelle 26 präsentiert die Ergebnisse für die nach Altersgruppen getrennte Stichprobe.

Die Bestimmtheitsmaße sind noch gut. Für das Parken am Straßenrand und das illegale Parken bleiben die Parameterwerte vergleichbar, während mit wachsendem Alter sich das Parkhaus größerer Beliebtheit erfreut. Die wachsende Konstante für das illegale Parken deutet mit zunehmendem Alter wachsende Abneigung gegen das illegale Parken an.

### 7.7.4 Kalibrierung getrennt nach Entscheidungsgruppen

Die Trennung der Befragten nach ihren Entscheidungen bietet eine vierte Möglichkeit, die Stichprobe zu klassifizieren. Auf Grund des Stichprobenumfangs war es aber nur für die Gruppen "4 - Nie im Parkverbot" und "7 - Alle Parkstandstypen" möglich, Modelle zu schätzen. Diese beiden Ergebnisse werden in Tabelle 27 mit dem Ergebnis für die gesamte Stichprobe verglichen.

Im Gegensatz zu den anderen Klassifizierungen, die die Bestimmtheitsmaße kaum verbessern, erreicht diese Klassifizierung deutlich bessere Bestimmtheitsmaße (adj.  $\rho^{26} = .30$  bis  $.35$ ). "Parkhaus" und "Straßenrand" unterscheiden sich auch deutlicher als in den anderen Klassifizierungen. Insbesondere wird deutlich, daß Gruppe "7 - Alle Parkstandstypen" eine klare Abneigung gegen das Parken im Parkhaus hat, die durch niedrigere Werte für das Parken am Straßenrand noch verstärkt wird. Die andere Gruppe zeigt im Gegensatz dazu fast keine Unterschiede in der Einschätzung der beiden Alternativen. Selbst die Konstante ist nicht signifikant von Null verschieden.

Zwar liegen die Bestimmtheitsmaße am oberen Rand der von HENSHER angegebenen Bandbreite, aber eine genauere Analyse der Residuen zeigt, daß das hier unterstellte lineare Modell zumindest für die Gruppe 7 nicht ausreicht. Abbildungen 30 und 31 zeigen die Residuen für die beiden Gruppen. Die Fehler entstehen durch ausgeprägte Wechselwirkungen, wie beispielhaft in Abbildung 32 gezeigt.

---

<sup>6</sup>adj.  $\rho^{2n}$  ist das um die Freiheitsgrade korrigierte Bestimmtheitsmaß bei der Schätzung von Logit-Modellen. Für Details siehe HENSHER und JOHNSON und .30 (1980).

Tabelle 24:  
Ergebnisse der Befragung  
Modelle getrennt nach Entscheidungssituationen

Alternative	Arbeit	Drei Stunden Einkaufen	Halbstunden- Aufenthalt
Einfluß größe	(Parameter/t-Statistik)		
<b>Illegal</b>			
Anfahrzeit	-0.04/3.2	-0.02/0.4	-0.03/0.8
Preis	-0.16/6.2	-0.21/7.5	-0.23/7.5
<b>Straßenrand</b>			
Suchzeit	-0.06/3.0	-0.14/6.1	-0.13/6.4
Anfahrzeit	-0.10/8.8	-0.13/4.7	-0.16/6.3
Zugangszeit	-0.11/5.0	-0.16/7.2	-0.17/8.1
Preis	-0.11/11.6	-0.32/10.2	-1.70/10.1
<b>Parkhaus</b>			
Suchzeit	-0.10/4.7	-0.13/6.1	-0.12/6.1
Anfahrzeit	-0.07/6.5	-0.08/3.2	-0.06/2.6
Zugangszeit	-0.10/4.5	-0.11/5.0	-0.11/5.2
Preis	-0.08/9.4	-0.26/9.1	-1.11/6.6
<b>Konstanten</b>			
Illegal	-3.51/6.1	-2.91/6.5	-3.89/8.7
Parkhaus	-0.77/1.6	-0.37/1.0	-1.05/2.9
$\rho^2$	.283	.264	.242
adj. $\rho^2$	.278	.259	.237
Log(0)	-923.37	-864.39	-923.76
Log( $\beta$ )	-661.89	-635.63	-700.17

Tabelle 25:  
Ergebnisse der Befragung  
Modelle getrennt nach Geschlecht

Alternative	Männliche Befragte	Weibliche Befragte
Einfluß- größe	(Parameter/t-Statistik)	
<b>Illegal</b>		
Anfahrzeit	-0.08/9.2	-0.10/8.2
Preis	-0.20/10.4	-0.25/8.7
<b>Straßenrand</b>		
Suchzeit	-0.10/7.3	-0.09/4.5
Anfahrzeit	-0.07/8.5	-0.07/6.2
Zugangszeit	-0.13/8.6	-0.12/6.3
Preis	-0.13/10.9	-0.13/8.8
<b>Parkhaus</b>		
Suchzeit	-0.13/9.3	-0.09/4.8
Anfahrzeit	-0.07/9.7	-0.07/7.4
Zugangszeit	-0.12/8.4	-0.08/4.3
Preis	-0.11/9.9	-0.11/8.3
<b>Konstanten</b>		
Illegal	-1.25/7.1	-0.99/4.3
Parkhaus	0.77/2.2	-0.05/0.2
$\rho^2$	.223	.217
adj. $\rho^2$	.219	.212
Log(0)	-1725.07	-990.61
Log( $\beta$ )	-1340.61	-775.28

Tabelle 26:  
 Ergebnisse der Befragung  
 Modelle getrennt nach Altersgruppen

Alternative	Unter 31	Zwischen 31 und 45	Über 45
Einfluß- größe	(Parameter/t-Statistik)		
<b>Illegal</b>			
Anfahrzeit	-0.09/9.2	-0.09/6.9	-0.07/4.6
Preis	-0.24/1.3	-0.23/2.1	-0.15/4.7
<b>Straßenrand</b>			
Suchzeit	-0.10/6.2	-0.11/4.7	-0.08/3.4
Anfahrzeit	-0.06/6.7	-0.09/6.8	-0.07/4.8
Zugangszeit	-0.12/7.3	-0.13/5.9	-0.13/5.2
Preis	-0.15/11.0	-0.11/6.6	-0.13/5.9
<b>Parkhaus</b>			
Suchzeit	-0.13/8.1	-0.13/6.1	-0.07/3.0
Anfahrzeit	-0.08/9.1	-0.08/6.9	-0.05/5.1
Zugangszeit	-0.11/6.5	-0.12/5.4	-0.10/4.2
Preis	-0.12/9.3	-0.13/8.4	-0.08/4.5
<b>Konstanten</b>			
Illegal	-0.95/4.8	-1.26/4.6	-1.53/5.1
Parkhaus	0.25/1.3	0.54/2.1	-0.96/0.3
$\rho^2$	.246	.247	.157
adj. $\rho^2$	.242	.240	.148
Log(0)	-1361.79	-757.05	-592.01
Log( $\beta$ )	-1027.28	-570.14	-499.00

Tabelle 27:  
 Ergebnisse der Befragung  
 Modelle getrennt nach Entscheidungsgruppen

Alternative Einfluß- größe	Alle Befragten	Gruppe 4	Gruppe 7
	(Parameter/t-Statistik)		
<b>Illegal</b>			
Anfahrzeit	-0.08/12.3	-	-0.11/11.2
Preis	-0.21/13.6	-	-0.32/14.0
<b>Straßenrand</b>			
Suchzeit	-0.10/8.4	-0.14/6.1	-0.11/6.2
Anfahrzeit	-0.07/10.6	-0.17/8.0	-0.08/8.3
Zugangszeit	-0.12/10.7	-0.17/6.8	-0.14/7.8
Preis	-0.13/14.1	-0.19/8.1	-0.15/11.3
<b>Parkhaus</b>			
Suchzeit	-0.12/10.3	-0.14/6.0	-0.18/9.7
Anfahrzeit	-0.07/12.1	-0.15/8.7	-0.10/10.5
Zugangszeit	-0.11/9.3	-0.11/4.6	-0.18/9.4
Preis	-0.11/13.1	-0.16/7.1	-0.09/7.2
<b>Konstanten</b>			
Illegal	-1.16/8.2	-	-0.29/1.4
Parkhaus	0.25/1.9	-0.23/1.0	0.54/2.5
$\rho^2$	.218	.353	.306
adj. $\rho^2$	.216	.346	.303
Log(0)	-2721.36	-569.55	-1391.26
Log( $\beta$ )	-2128.38	-368.00	-965.56

Abbildung 30:  
Residuen für Gruppe "4 - Nie im Parkverbot"

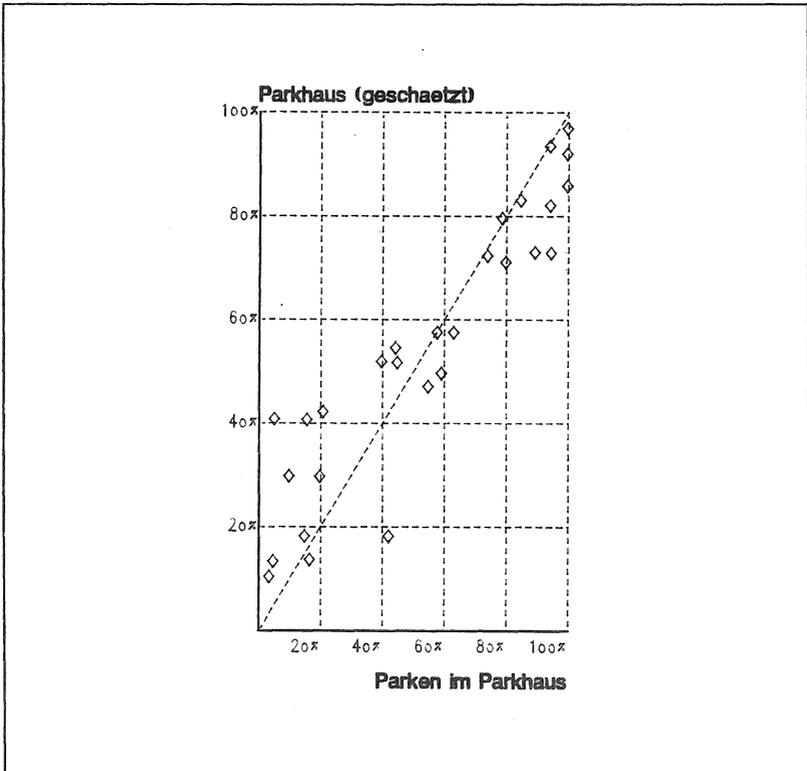


Abbildung 31:  
Residuen für Gruppe "7 - Alle Parkstandstypen"

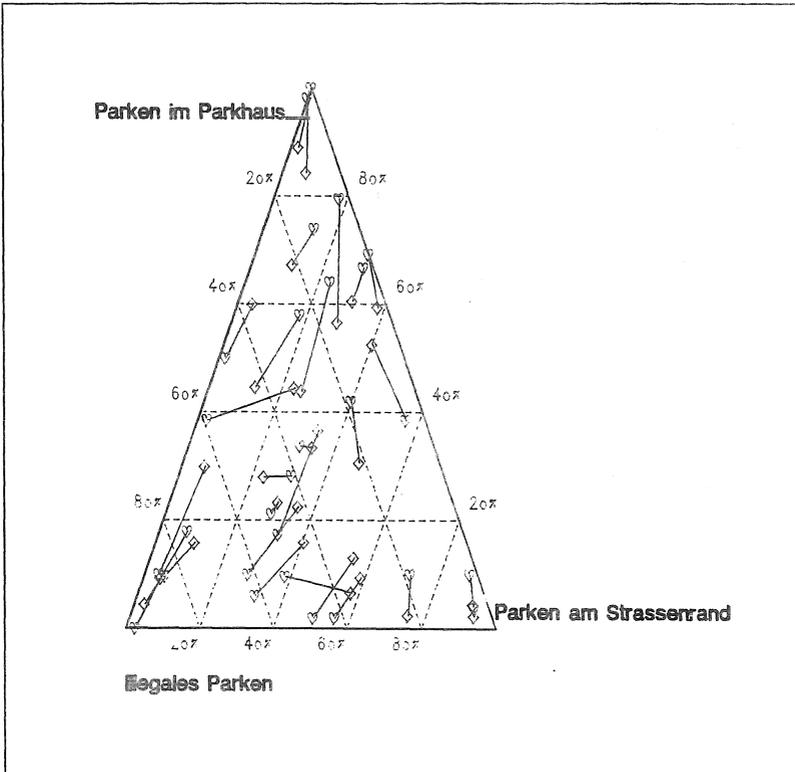
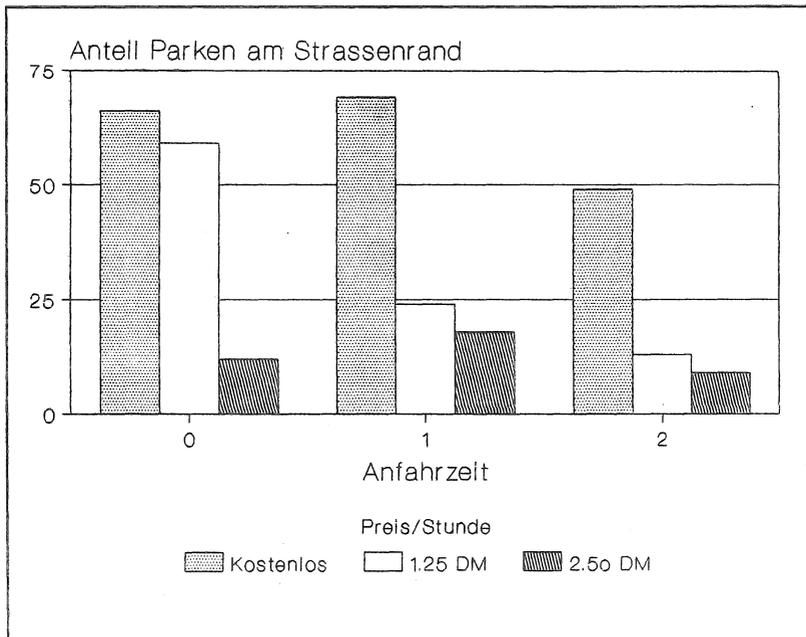


Abbildung 32:  
Beispiel einer Wechselwirkung



## 7.8 Vergleich mit den Suchzeiten

Die oben erwähnte Untersuchung zu den Parkplatzsuchzeiten in der Karlsruher Innenstadt, die von BEYERLE (1987) ausgewertet wurde, stellt für die Einschätzung der Ergebnisse der Logit-Modelle zusätzliche Erkenntnisse zur Verfügung. Die Befragung baute auf den Erfahrungen von und MAY und TURVEY (1985) auf.

Auf eine kurze Ergebnisdarstellung folgt eine Diskussion der Schlussfolgerungen aus beiden Untersuchungen.

Die mittleren Suchzeiten für die einzelnen Parkplatztypen sind in Tabelle 28 dargestellt. Die große Spannweite zwischen der kleinsten (1.5 min) und der größten (9.7 min) mittleren Suchzeit ist überraschend. Zusammen mit der Suchzeitverteilung (Tabelle 29) ergibt sich das Bild, daß Parkhaus und Parkplatz in der Regel ohne weitere Suche direkt angefahren werden, während der kostenlose Parkplatz am Straßenrand unter großem Zeitverlust gesucht wird. Für diese drei Parkplatztypen bestehen, wie die Befragten bestätigen, ausgeprägte Vorlieben. Zwischen den drei anderen Parkstandstypen hingegen wird je nach Situation und Verfügbarkeit ausgewählt. Dieses Bild wird auch durch die mittleren Parkdauern unterstrichen (Tabelle 30). Diese drei letzten Typen dienen primär als Kurzzeitparkplätze, wobei die Parkuhr als wahlweise legale Parkmöglichkeit die längste mittlere Parkdauer hat. Parkhaus und freies Parken dienen überwiegend dem Langzeitparken, während der Parkplatz eine mittlere Position einnimmt.

Tabelle 28:  
Mittlere Parkplatzsuchzeiten

Parkstandstyp	Suchzeit		Stichprobe (Anzahl)
	Mittelwert	Standardabweichung	
Parkhaus	1.5 Min.	( 4.6)	240
Parkplatz	2.1 Min.	( 5.7)	56
ingeschr. Halteverbot	5.9 Min.	( 8.4)	109
absolutes Halteverbot	6.3 Min.	( 9.8)	53
Parkuhr	6.6 Min.	(10.6)	77
Freies Parken	9.7 Min.	(11.0)	52

Tabelle 29:  
Suchzeitverteilung

Parkstandstyp	Anteil der Parker mit Suchzeit			
	=0 Min.	≤5 Min.	≤10 Min.	>20 Min.
Parkhaus	85%	93%	96%	1%
Parkplatz	82%	89%	93%	2%
ingeschr. Halteverbot	47%	68%	82%	6%
absolutes Halteverbot	53%	70%	77%	6%
Parkuhr	49%	69%	78%	5%
Freies Parken	15%	50%	73%	8%

Tabelle 30:  
Mittlere Parkdauer und Parkdauerverteilung  
(Standardabweichung in Klammern)

Park-standstyp	Mittlere Parkdauer	Parkdauern		
		≤10 Min.	≤30 Min.	≤60 Min.
absolutes Halteverbot	25 Min. (22.3)	42%	74%	91%
ingeschr. Halteverbot	39 Min. (40.7)	30%	65%	81%
Freies Parken	195 Min. (242.1)	8%	19%	54%
Parkhaus	184 Min. (178.8)	-	7%	33%
Parkplatz	90 Min. (65.2)	-	18%	61%
Parkuhr	48 Min. (34.3)	22%	39%	81%

Mit der Parkdauer wächst zwar der Anteil der Parker, die sofort einen Parkplatz finden, d.h. Parkhaus oder Parkplatz frequentieren, es wächst aber gleichzeitig die mittlere Suchdauer der restlichen Befragten.

Der Einfluß des Fahrtzwecks auf die Suchzeit ist nicht eindeutig feststellbar, wie man Tabelle 31 entnehmen kann. Es zeigt sich hier, daß die Autofahrer bereit sind, für kostenfreies Parken lange Suchzeiten in Kauf zu nehmen. Bei den Arbeitnehmern, die das Parkhaus benutzen, sind diejenigen inbegriffen, die über einen gemieteten Stellplatz verfügen.

Eine wachsende Anfahrzeit läßt die Suchzeit im Mittel ansteigen. Die Anzahl derjenigen, die direkt einen gebührenpflichtigen Parkplatz aufsuchen, nimmt mit wachsender Anfahrzeit nicht zu, sondern ab (siehe Tabelle 32). Die Struktur der Verteilungen der Anfahrzeiten für die verschiedenen Parkstandstypen unterstreicht, die schon oben festgestellte Ähnlichkeit zwischen Parkhaus und Parkplatz, Parkuhr und illegalem Parken und als dritter Gruppe dem freien Parken.

Die Zugangszeit zum eigentlichen Ziel scheint nach den vorliegenden Ergebnissen keine unabhängige Größe zu sein, sondern von der Hartnäckigkeit bei der Parkplatzsuche abzuhängen (Tabelle 33). Entgegen den Erwartungen eines zeitminimierenden Verhaltens wächst die Suchzeit mit längeren Zugangszeiten, wobei dieses Phänomen bei den "Anderen Typen" besonders ausgeprägt ist. Nur beim Parkhaus scheint es eine Ausnahme zu geben, die durch die Existenz gemieteter Stellplätze zu erklären ist.

Tabelle 31:

Mittlere Suchzeiten für die Fahrtzwecke Arbeit, Einkauf und Besorgung  
(Standabweichungen in Klammern)

Gruppe	Arbeit	Einkauf	Besorgung
Parkhaus und Parkplatz	1.2 Min. (3.7)	1.6 Min. (4.8)	2.0 Min. (5.8)
Illegales Parken sowie Parkuhr	10.9 Min. (14.5)	6.4 Min. (9.5)	4.9 Min. (7.5)
Gebührenfreies Parken	10.5 Min. (9.9)	9.1 Min. (13.7)	12.0 Min. (12.1)
Gesamtmittel	4.6 Min. (9.5)	4.2 Min. (8.4)	3.9 Min. (7.8)

Diese zweiteilige Untersuchung hat ein gemeinsames Ergebnis: die Notwendigkeit, die parkenden Autofahrer nicht mehr als einheitlichen Markt zu sehen. Lange bestehende Vermutungen in dieser Richtung konnten bestätigt werden. Die beiden größten Gruppen machen unter sich 80% der Autofahrer aus. Die größere der

Tabelle 32:  
Mittlere Suchzeiten nach Anfahrzeit  
(Standardabweichung in Klammern)

Anfahrtszeit	mittlere Suchzeit	Anteil Gesamt	ohne Parkplatz	Suchzeit Parkhaus
$0 < AZ \leq 10 \text{ Min.}$	2.5 Min. (4.9)	70%	88%	90%
$10 < AZ \leq 20 \text{ Min.}$	3.8 Min. (7.3)	65%	90%	92%
$20 < AZ \leq 30 \text{ Min.}$	5.5 Min. (9.5)	56%	80%	73%
$30 < AZ$	7.8 Min. (12.8)	64%	77%	60%

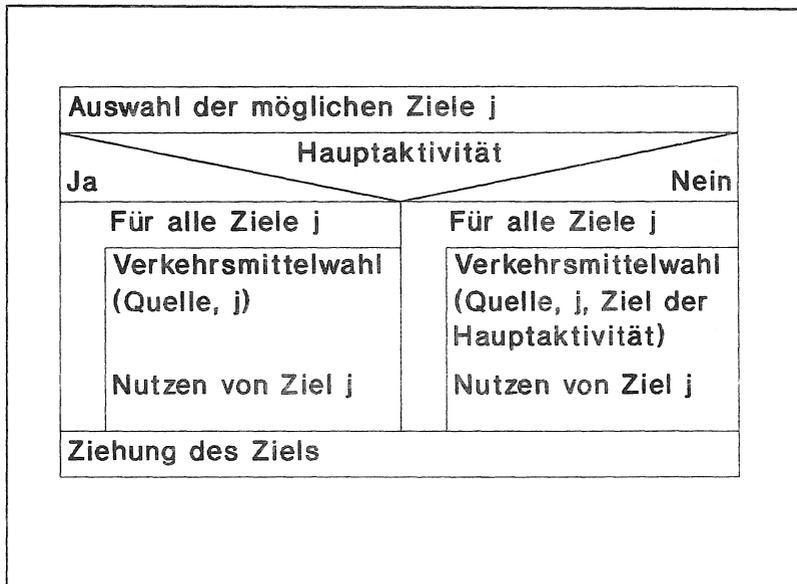
beiden Gruppen nutzt alle Parkstandstypen und zeigt eine ausgeprägte Vorliebe für das möglichst kostenlose Parken am Straßenrand. Diese Gruppe hat, wie auf Grund der Modellschätzung nicht verwunderlich, die Bereitschaft, lange Suchzeiten mit langen Zugangszeiten zu verknüpfen (siehe Tabelle 33). Diese Gruppe dürfte mit restriktiven Maßnahmen nicht ins Parkhaus zu zwingen sein. Es steht zu vermuten, daß diese Gruppe in Innenstadtrandbezirke ausweichen würde. Die andere Gruppe, die nicht illegal parkt, beurteilt die beiden verbleibenden Alternativen gleich. Hier besteht ein Potential, das mit Bewirtschaftungsmaßnahmen erreichbar zu sein scheint.

Für das Simulationsmodell bedeutet diese Zweiteilung, daß den simulierten Individuen diese Gruppenzugehörigkeit als weiteres Merkmal zugeordnet werden muß. Dabei wird angenommen, daß die Mitglieder der anderen Gruppen (1, 2, 3, 5 und 6) Gruppe 7 zugeordnet werden können. Abbildung 33 zeigt den vollständigen Ablauf der Wahl des Parkziels und des Parkstandstypes.

Tabelle 33:  
Suchzeit nach Zugangszeit  
(Standardabweichung in Klammern)

Zugangszeit	Gesamt	Parkhaus	Andere Typen	Parkplatz
$0 < ZZ \leq 4 \text{ Min.}$	3.4 (7.9)	0.6 (2.6)	5.1 (9.4)	0.5 (1.6)
$4 < ZZ \leq 9 \text{ Min.}$	3.1 (5.8)	1.4 (3.4)	6.5 (7.6)	0.4 (1.4)
$9 < ZZ \leq 14 \text{ Min.}$	6.4 (9.0)	2.6 (2.6)	10.4 (9.2)	7.5 (10.9)
$14 < ZZ$	8.6 (12.6)	1.8 (7.3)	14.0 (14.0)	8.3 (7.6)

Abbildung 33:  
Ablauf der Wahl des Parkziels und des Parkstandstypes



## 8 ORIENT/RV: Bewegung im Netz

### 8.1 Vorbemerkung

Die Bewegung im Netz umfaßt für jede Fahrt, jeden Weg drei, respektive vier Teile: Zugang, Fahrt/Weg, Parkplatzsuche und Abgang, deren Abbildung in den nächsten drei Unterabschnitten dargestellt werden soll.

Die Lösung zu der hier unternommenen Aufgabe erfordert die Entwicklung eines Modells, in dem ein Bewegungsmodell und ein aktivitätenorientiertes Simulationsmodell zusammenarbeiten. Deshalb werden hier die notwendigen Bewegungsmodelle der verschiedenen Verkehrsteilnehmer formuliert und auf Konsistenz geprüft, aber nicht extern validiert. Bei der Formulierung der Modelle werden die bisherigen Erfahrungen bei der Simulation des Verkehrsflusses aufgenommen, aber nur im Umfang der hier erforderlichen Genauigkeit verwendet.

### 8.2 Zu- und Abgang

Für die Zugangs- und Abgangswege werden stark vereinfachte Ansätze gewählt, da diese Reisezeitelemente angesichts ihrer Bedeutung eine größere Aufmerksamkeit nicht verdienen.

Die Berechnungsansätze sind in Tabelle 8.1 zusammengefaßt.

Tabelle 34:  
Berechnungsansätze für Zu- und Abgangszeiten

Verkehrsmittel	Ansatz
zu Fuß	$\approx 0$
Fahrrad	$\approx 0$
ÖPNV	$= ht(i) * ZZ1$
PKW/ PKW-Mitfahrer	$\approx 0$ , falls privater Stellplatz $= mt(i, Parkziel) * ZZ2$ , sonst
$ht(i)$	: mittlere Haltestellenentfernung in Netzelement $i$
$mt(i,j)$	: mittlere Laufzeit zwischen $i$ und $j$
$ZZ1, ZZ2$	: Zufallszahl aus einer vom Anwender festgelegten Zufallsverteilung

## 8.3 Bewegung im Netz

### 8.3.1 Bewegung der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer

Für diese Verkehrsteilnehmer - Fußgänger, Radfahrer, ÖPNV-Benutzer - wurde ein stark vereinfachter Ansatz gewählt, um die Komplexität des Modells weiter nicht zu erhöhen. Insbesondere für den ÖPNV würde eine realistischere Abbildung einen sehr großen Aufwand bedeuten, da das Liniennetz, der Fahrplan, die Bewegung der Fahrzeuge selbst und die Routenwahl einbezogen werden müssten. Tabelle 8.2 faßt die Ansätze zusammen.

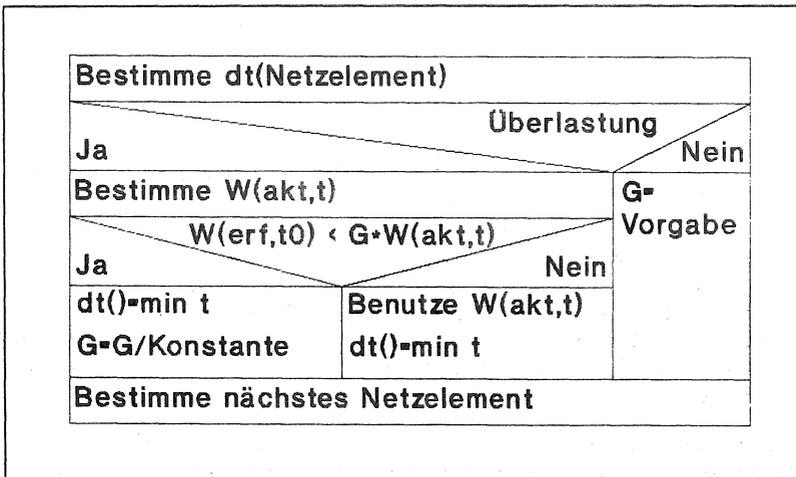
Tabelle 35:  
Berechnungsansätze für die Fahrt/Wegezeiten  
der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer

Verkehrsmittel	Ansatz
zu Fuß	= $ft_f(i,j,p) * ZZ1$
Fahrrad	= $ft_r(i,j,p) * ZZ2$
ÖPNV	= $ft_b(i,j,p) * ZZ3$
$ft_{-}(i,j,p)$	: mittlere Fahrtzeit (inklusive Wartezeiten) zwischen i und j zur Tageszeit p
$ZZ1, ZZ2, ZZ3$	: Zufallszahl aus einer vom Anwender festgelegten Zufallsverteilung

### 8.3.2 Bewegung der Autofahrer/Mitfahrer

Für die Simulation der Fahrzeugbewegungen im Netz liegen Modelle von beliebiger Genauigkeit vor: von der detaillierten mikroskopischen Simulation der Abbrems- und Beschleunigungsvorgänge (zum Beispiel MISSION (HUBSCHNEIDER, 1983) oder NETSIM (FHWA, 1982)) über mesoskopische Simulationen der Reisezeiten (zum Beispiel DYNEMO (SCHWERDTFEGGER in LEUTZBACH, HAAS, PAPA-VASILIOU und SCHWERDTFEGGER, 1987) oder SIMNET (LEICHTER, 1985)) bis zur makroskopischen Simulationen der Pulkauflösung oder der Dichteverteilungen (zum Beispiel TRANSYT (ROBERTSON, 1969)). Wie schon oben begründet, ist die mesoskopische Ebene ausreichend; insbesondere der Ansatz von SCHWERDTFEGGER kann, der Aufgabe entsprechend, vereinfacht werden. In diesem Ansatz wird jede simulierte Person über die Elemente ihres Weges bewegt. Dabei werden die Reisezeiten stochastisch um einen deterministischen Mittelwert variiert, der über Fundamentaldiagramme berechnet wird. Neuere Arbeiten (WILLIAMS, MAHMASSANI und HERMAN, 1987) legen nahe, daß Fundamentaldia-

Abbildung 34:  
Logik der Simulation des Ereignisses Fahrt



$dt()$       Fahrtzeit  
 $W(\text{akt},t)$     kürzester Weg unter der momentanen Belastung  
 $W(\text{erf},t_0)$     kürzester Weg bei Fahrtbeginn unter der  
                          erwarteten Belastung  
 $G$               Geduld  
 $\min t$          minimale Schrittweite der Simulation

gramme auch für Netzausschnitte angegeben werden können. Diese Ergebnisse erlauben es, das Netz in der gewünschten Auflösung zu betrachten.

Für jede simulierte Person wird auf der Grundlage der bekannten Reisezeiten, die der Erfahrung der Autofahrer entsprechen, der kürzeste Weg zum Ziel bestimmt. Die Reisezeiten können nach Tageszeit differenziert werden. Dieser Weg wird unter Berücksichtigung von überlasteten Elementen Element für Element (Strecke, Knoten, Netzausschnitt) abgearbeitet, bis die simulierte Person ihre Ziel erreicht. Abbildung 34 zeigt die Logik der Simulation.

Die vorgeschlagene Logik stellt sicher, daß bei Überlastung einzelner Elemente dann neue Wege gewählt werden, wenn der Fahrer den Zeitvorteil zwischen ursprünglich gewähltem Weg und aktuell bestem Weg durch Warten verbraucht hat. Die Bereitschaft zu warten, die durch die Variable "Geduld" abgebildet wird, sinkt schrittweise ab. Durch die Unterscheidung zwischen erwarteten und aktuellen Wegedauern wird die Entscheidungssituation des Kraftfahrers besser angenähert. Es wird vernachlässigt, daß nur Teile der aktuellen Verkehrssituation bekannt sind,

wenn bei Überlastung auf Grundlage der aktuellen Daten der neue Weg berechnet wird. Es wird angenommen, daß der Kraftfahrer eine Abschätzung der Gesamtsituation vornimmt, die auf seinen aktuellen Informationen und seinem Wissen über vergleichbare Stausituationen beruht.

### 8.3.3 Parkplatzsuche

Die Logik der Parkplatzsuche ist der Wegesuche ähnlich, hier wie dort wird versucht am ursprünglichen Plan festzuhalten, bis eine neue Alternative vielversprechender ist. Die hier vorgeschlagene Logik (Abbildung 35) trägt dieser Ähnlichkeit Rechnung. Sobald die aktuelle Suchzeit nach dem vorab gewählten Parkplatztyp die erwartete Suchzeit um eine gewisse Toleranz übersteigt, wird ein Parkplatz gesucht, der sowohl in einem anderen Netzelement liegen als auch zu einem anderen Parkplatztyp gehören kann. Suchfahrten werden deshalb von dieser Logik nur in dem Umfang erfaßt, in dem sie in einem anderen als dem ursprünglichen Netzelement stattfinden. Die Genauigkeit der Erfassung hängt von der Genauigkeit der Netzabbildung ab. Der neue Parkstand wird mit der in 7.8 zusammengefaßten Methodik bestimmt <sup>7</sup>.

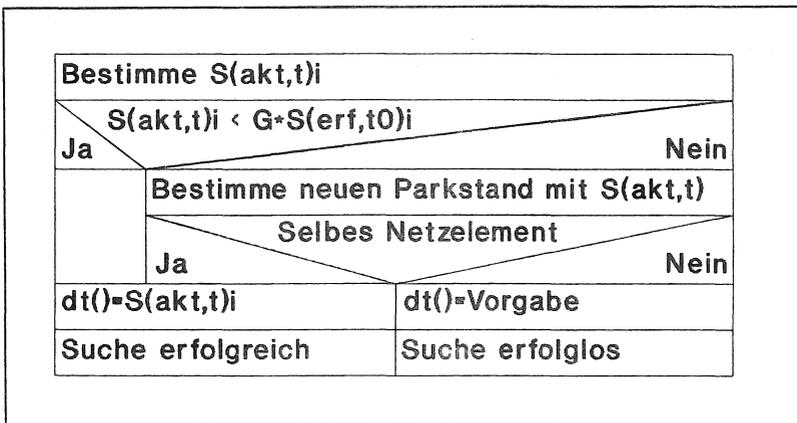
Empirische Untersuchungen über die Abhängigkeit der Suchzeit für einen Parkstand von seiner Nachfrage liegen kaum vor. Die Suchzeit wird deshalb, in Analogie zur Reisezeit auf einer Strecke, mit einer "capacity-restraint"-Funktion beschrieben, deren typspezifische Parameter plausibel gewählt werden. In der Form lehnt sich die Funktion an amerikanische Vorbilder an (SHEFFI, 1986).

Eigene Auswertungen einer Suchzeitbefragung (1988) in Birmingham unterstützen die Annahme, daß die Suchzeiten einer "capacity-restraint"-Funktion folgen. Abbildung 36 zeigt die mittlere Suchzeit in Abhängigkeit von der Parkplatzbelegung der 650 Befragten. Die Kurve zeigt den typischen Verlauf einer "capacity-restraint"-Kurve. Abbildung 37 zeigt die selbe Abhängigkeit unter Berücksichtigung der Zeitachse.

---

<sup>7</sup>Ein mikroskopisches Modell der Parkplatzsuche liegt vor bei YOUNG (1986).

Abbildung 35:  
Logik der Parkplatzsuche



$S(\text{akt},t)_i$  Suchzeit für Parkstandstyp  $i$  unter der momentanen Belastung

$S(\text{akt},t_0)_i$  Suchzeit für Parkstandstyp  $i$  unter der bei Fahrtbeginn zu erwartenden Belastung

$G$  Geduld

$dt()$  Fahrtzeit

Abbildung 36:  
Abhängigkeit der Suchzeit von der Belegung

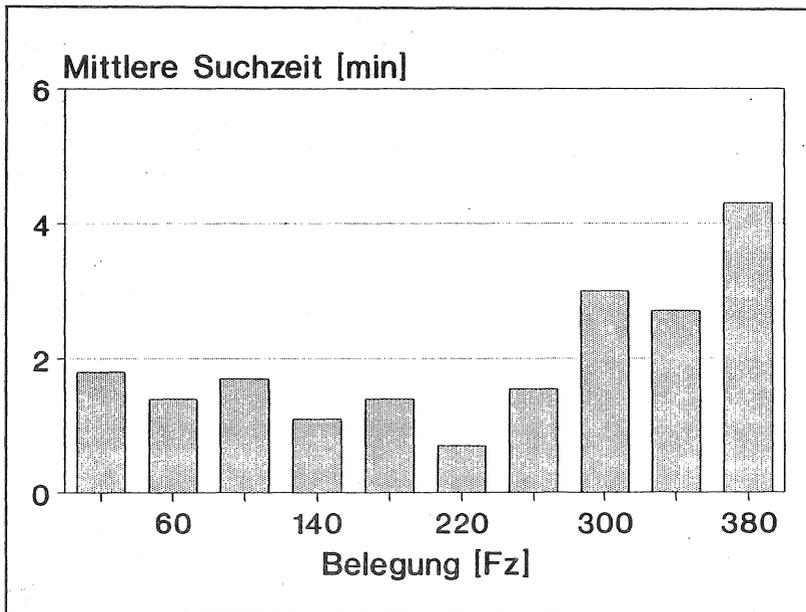
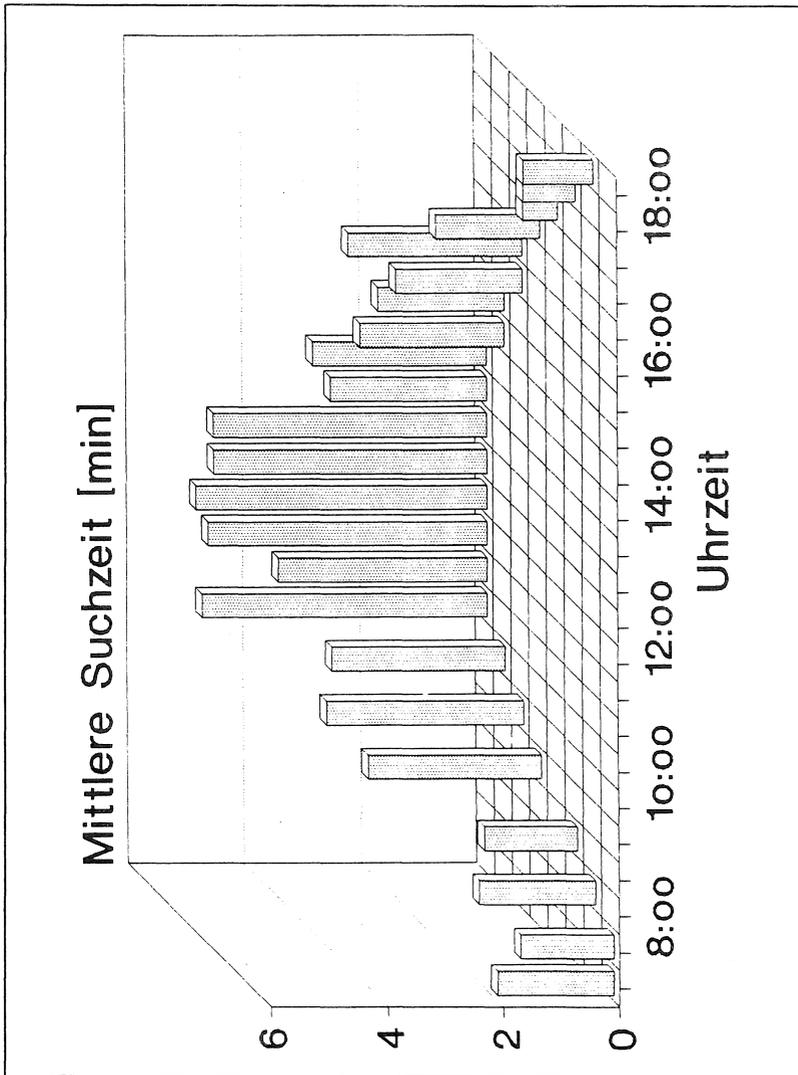


Abbildung 37:  
Abhängigkeit der Suchzeit von der Belegung und der Tageszeit



## 9 Beispielanwendungen

### 9.1 Vorbemerkung

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Anwendungen von ORIENT/RV dienen nicht der rigorosen Nachbildung einer vorhandenen Stadt und ihrer Parkraumprobleme, sondern der Demonstration der prinzipiellen Möglichkeiten des Modells.

Die Teststadt basiert auf der Stadt Mühlacker, für die detaillierte Informationen über das Verkehrsverhalten vorlagen (LEUTZBACH, AXHAUSEN, BUCK und ZOELLNER, 1987). Die Netzbeschreibung und die Verteilung des Parkraums sind dagegen nur lose an die tatsächlichen örtlichen Verhältnisse angelehnt.

### 9.2 Nullfall

Für den Nullfall wurden die Parameter der Verkehrsmittelwahl so gewählt, daß plausible Ergebnisse erzielt wurden (siehe Tabelle 36). Die Parameter der Parkplatzwahl wurden, wie bei KOCUR et al. (1984) beschrieben, skaliert, um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten. Mit den ungefähr 2200 erfragten Fahrten wurden knapp 50000 Fahrten simuliert. Für den so definierten Nullfall wurden drei Simulationen mit drei verschiedenen Startzufallszahlen durchgeführt, auf deren Mittel im weiteren, soweit nicht ausdrücklich anderes angegeben ist, Bezug genommen wird.

Die Verteilung der Fahrten auf die verschiedenen Fahrzwecke ist in Tabelle 37 zusammengestellt. Die Anzahl der Suchfahrten, erfolglosen und erfolgreichen Parkplatzzsuchen ist in Tabelle 38 dargestellt. Diese Tabelle zeigt eine im ganzen nicht sonderlich angespannte Parkraumsituation (Verhältnis von erfolgreichen zu erfolglosen Parkversuchen ungefähr 13:1)<sup>8</sup>.

Die Abbildungen 38 und 39 zeigen die Ganglinien der Parkraumnachfrage, wie sie typisch für eine Innenstadt- und für eine Vorortzelle sind. Die Nachfrage nach Parkplätzen mit Parkuhr und auf einem Parkplatz, die nach Geschäftsschluß noch stattfindet, sollte als Nachfrage nach kostenlosem Parkraum verstanden werden. Bei der Vorortzelle 15 überlagern sich bei der Nachfrage nach privaten Stellplätzen die Ansprüche von Arbeitnehmern (erste und zweite Spitze) und Anwohnern (dritte Spitze). Die Abbildung 40 zeigt die Ganglinien der Belegung für die verschiedenen Parkplatztypen in der Innenstadtzelle 6. Sie zeigt deutlich, wie sich die Spitzen der verschiedenen Typen nacheinander aufbauen: zuerst kostenloses Parken am Straßenrand, dann Parkplätze mit Parkuhr und als letztes die

---

<sup>8</sup>Zur Erläuterung der Tabellen 38 und 39:

Eine erfolgreiche Suche findet sofort einen Parkplatz. Eine erfolglose Suche findet nicht sofort einen Parkplatz. Eine Suchfahrt findet statt, wenn in einem anderen Netzelement gesucht werden muß.

Tabelle 36:  
Verkehrsmittelwahl - Nullfall

Verkehrsmittel	Anteil [%]
PKW	49.3
ÖPNV	13.0
Fuß	25.9
Rad	9.2
Mitfahrer	2.7

Tabelle 37:  
Verteilung der Fahrtzwecke

Fahrtzweck	Anteil [%]
Nach Hause	25.2
Zur Arbeit	25.1
Einkauf	19.9
Private Erledigung	2.3
Dienst. Erledigung	0.0
Sonstiges	18.4
Ausbildung	8.8

Parkstände auf einem Parkplatz.

### 9.3 Parkraumverlagerung

Die Einrichtung einer Fußgängerzone im Innenstadtbereich bedingt die Verlagerung von Parkraum in andere, benachbarte Zellen. Für diesen Testfall wurde die Hälfte der kostenlosen Stellplätze in der Zelle 6 gestrichen und durch zusätzliche Stellplätze in benachbarten Zellen ersetzt.

Da sich das Gesamtangebot an Stellplatz nicht verändert hat, traten keine Veränderungen bei der Verkehrsmittelwahl auf. Da die drei Simulationen die Situation direkt nach der Maßnahme abbilden, zeigt die Tabelle 39 eine deutliche Zunahme der erfolglosen Parkversuche und Suchfahrten. Diese Zunahmen dürften langfristig zurückgehen, da die Bildung eines neuen Gleichgewichts zu erwarten ist.

Die Abbildung 41 zeigt den deutlichen Rückgang der Parknachfrage in der Zelle 6,

Tabelle 38:

Anzahl der Suchfahrten und Parkversuche: Nullfall

Zweck	Anzahl
Suchfahrten	1076
Erfolgleses Suchen	2052
Erfolgreiche Suche	25904

Tabelle 39:

Anzahl der Suchfahrten und der Parkversuche: Parkraumverlagerung

Zweck	Anzahl
Suchfahrten	2496
erfolgleses Suchen	4008
erfolgreiches Suchen	25524

während die Abbildung 42 beispielhaft die erwartete Zunahme in der benachbarten Zelle 4 zeigt. Auch die Suchzeiten nehmen teilweise deutlich zu. Die Abbildung 42 zeigt die Zunahme der mittleren Suchzeiten, die sich ergeben, wenn ein Fahrer von Zelle 6 in eine der benachbarten Zellen ausweicht. Insbesondere stellt die kleine Zunahme der Suchzeit in der Zelle 6 einen großen Zuwachs an der Gesamtsuchzeit dar, da immer noch die meisten Suchvorgänge in Zelle 6 ablaufen.

## 9.4 Parkraumrestriktion

Im dritten Szenario wurde eine Reduktion des Parkraumangebots in Zelle 6 mit einer Verbesserung des ÖPNV-Angebots verbunden (mäßige Preissenkung, Reduktion der Wartezeiten, Verbesserung des Umfelds, die durch eine Veränderung der Konstanten im Verkehrsmittelwahlmodell abgebildet wurde). Die Tabelle 40 zeigt den im Vergleich zu Tabelle 36 gewachsenen Anteil des ÖPNV, der, wie zu erwarten, hauptsächlich auf Kosten des Fahrradanteil gewachsen ist. Der Anteil des Pkw-Verkehrs blieb dagegen relativ konstant. Die Abbildung 43 zeigt den Vergleich der Nachfrage in Zelle 6 zwischen Nullfall und dem dritten Szenario.

Tabelle 40:  
Verkehrsmittelwahl; Fall: Parkraumrestriktion

Verkehrsmittel	Anteil [%]
PKW	41.7
ÖPNV	29.6
Fuß	22.4
Rad	4.5
Mitfahrer	1.8

Abbildung 38:  
 Ganglinie der Parknachfrage  
 - Nullfall Zelle 6

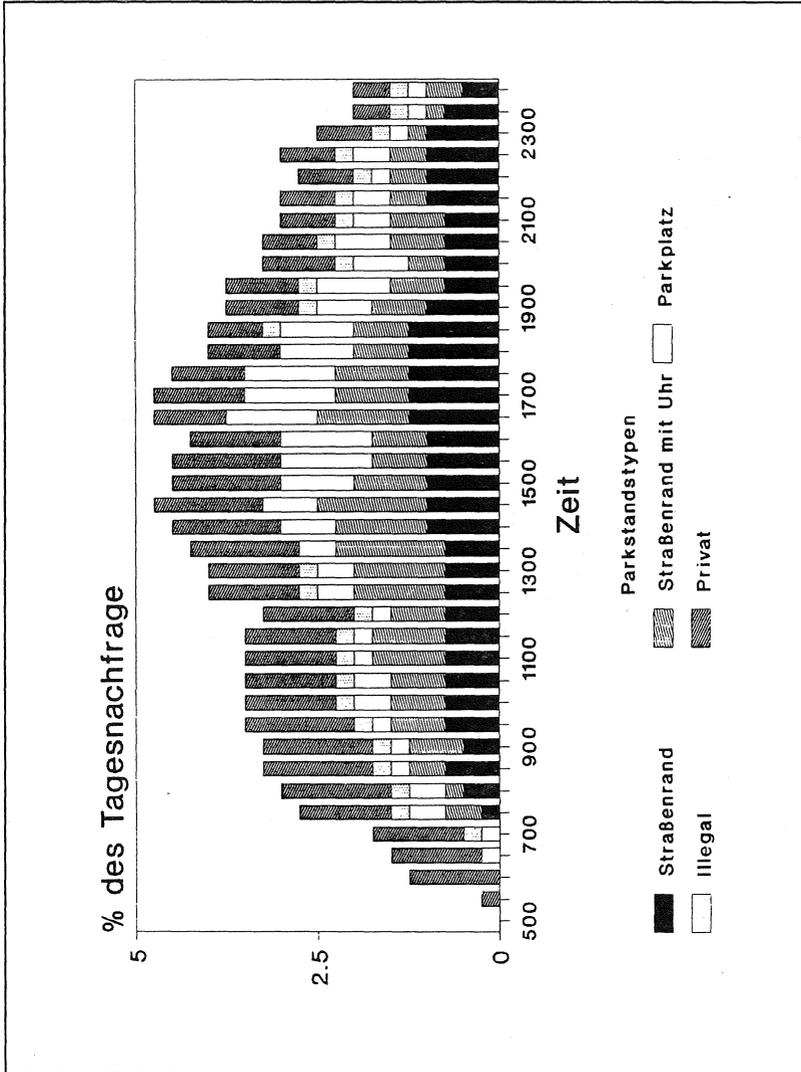


Abbildung 39:  
 Ganglinie der Parknachfrage  
 - Nullfall Zelle 15

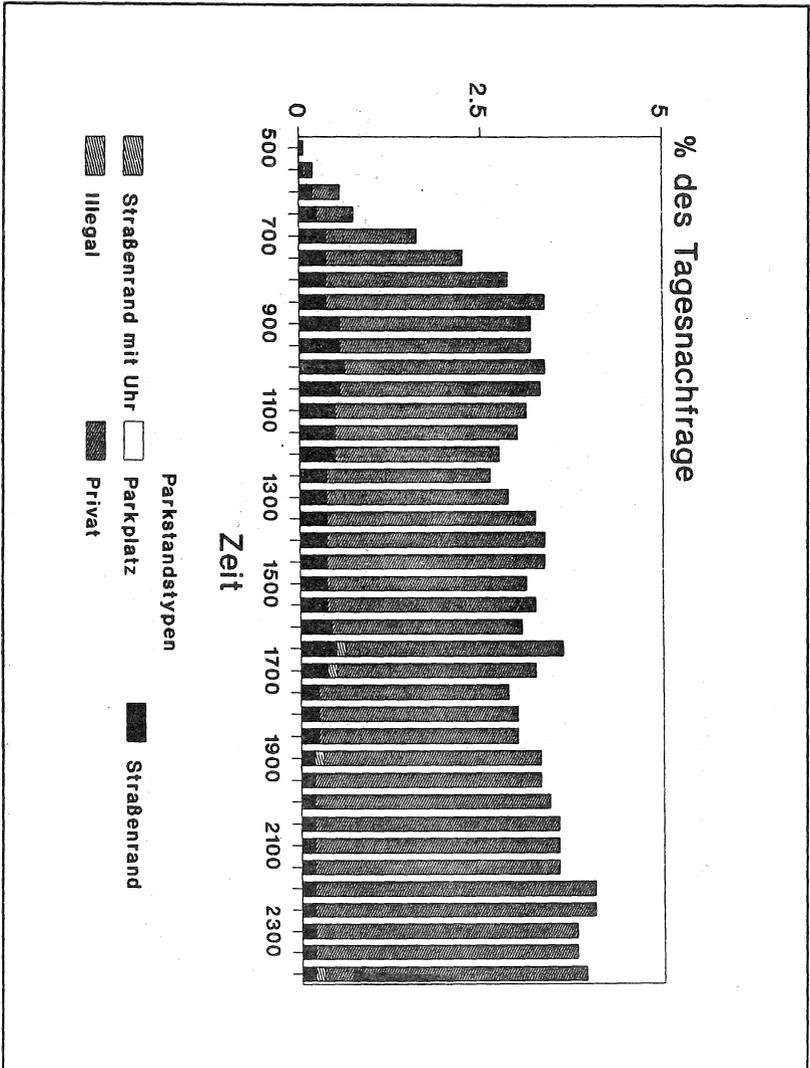


Abbildung 40:  
Belegungsganglinien in Zelle 6 - Nullfall

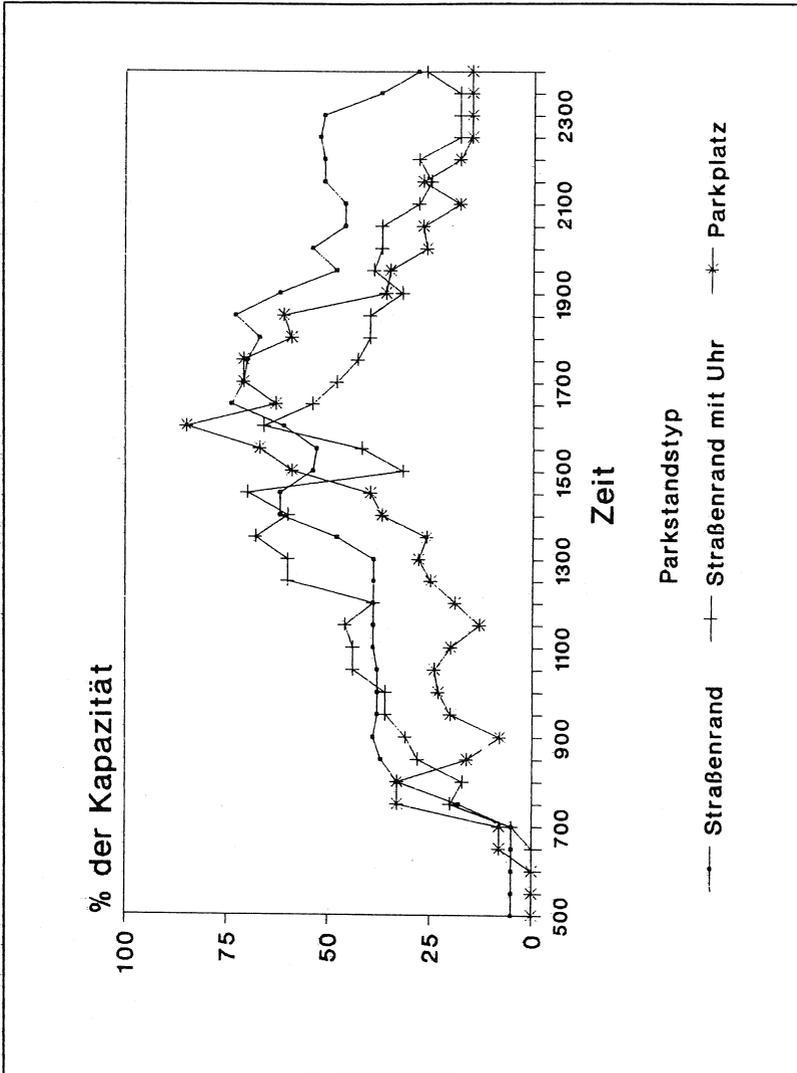


Abbildung 41:  
 Ganglinie der Parkraumnachfrage Zelle 4  
 Vergleich: Nullfall - Parkraumverlagerung -

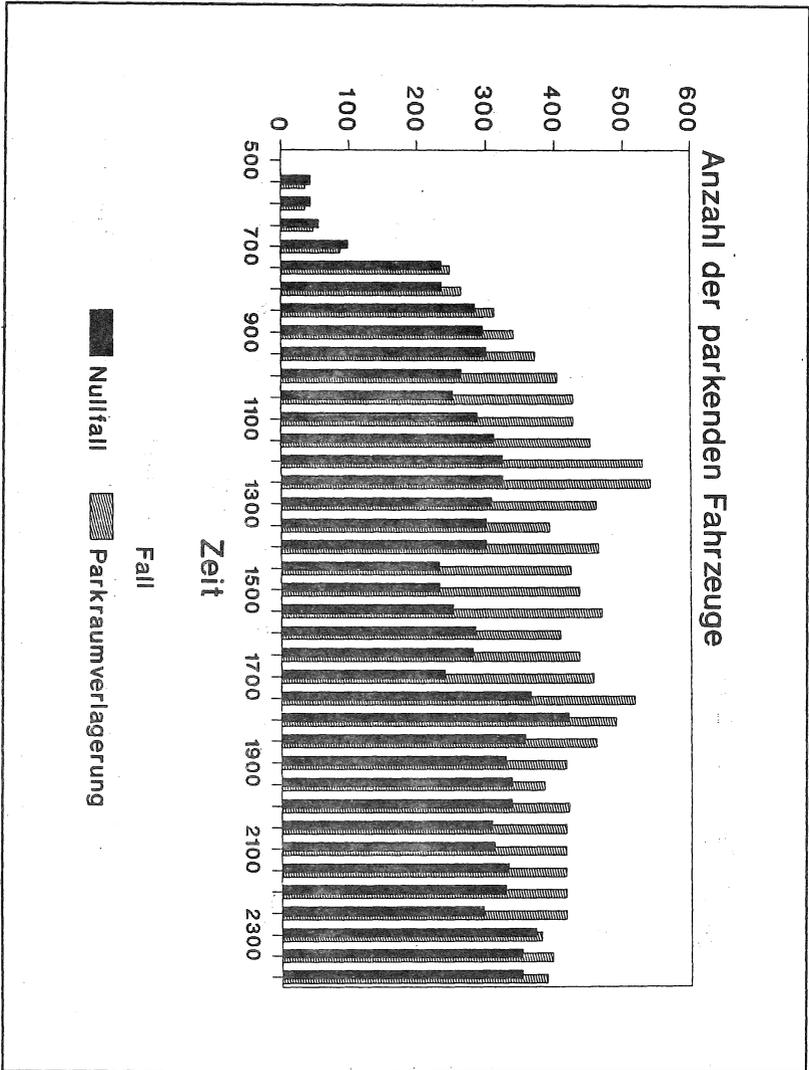


Abbildung 42:  
Parksuchzeiten von Zelle 6 aus  
- Vergleich: Nullfall - Parkraumverlagerung -

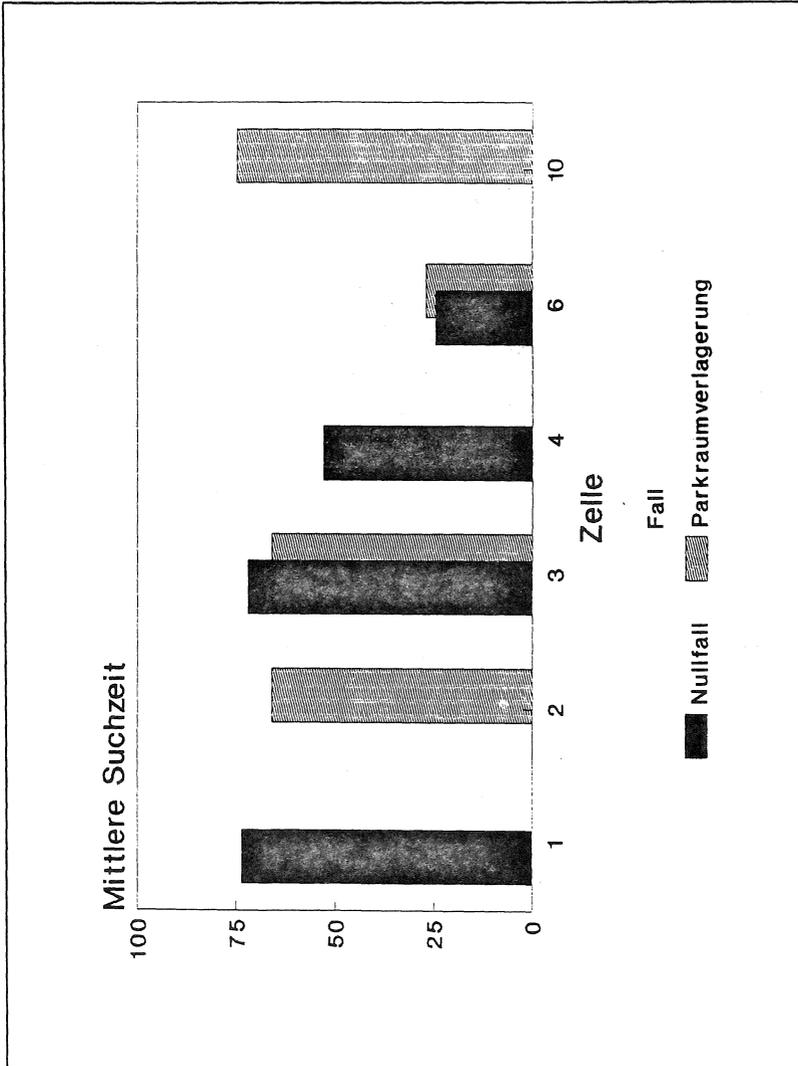
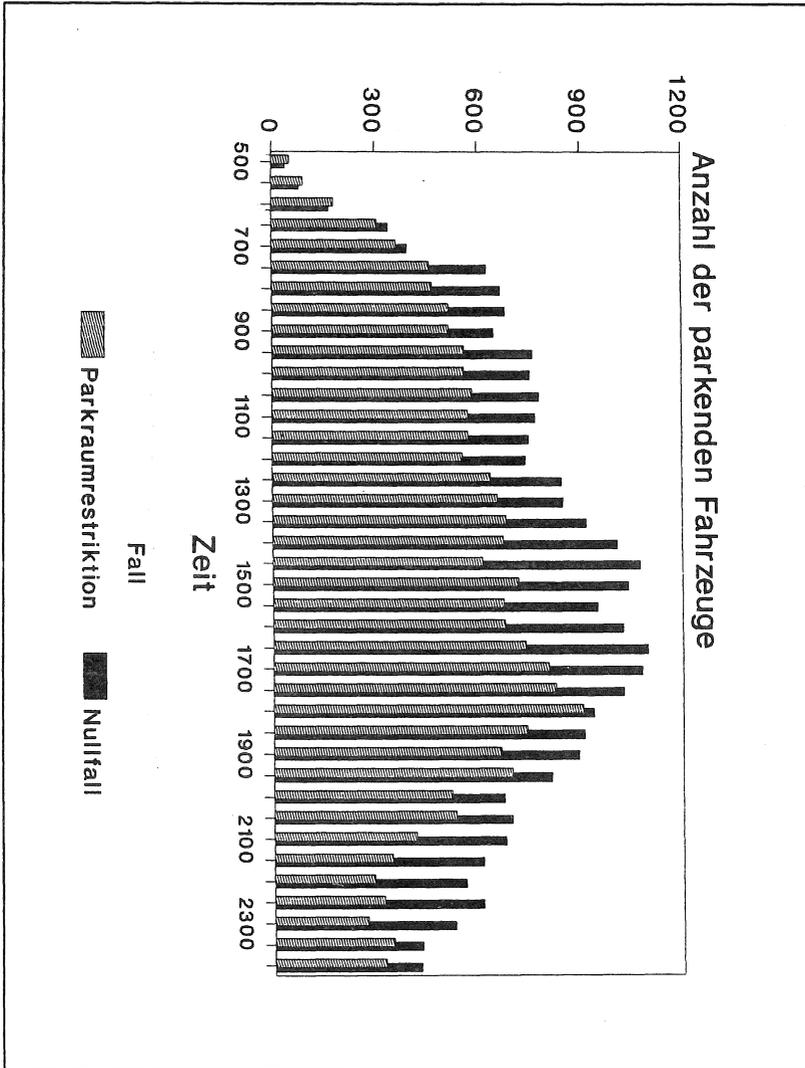


Abbildung 43:  
Ganglinie der Parkraumnachfrage Zelle 6  
Vergleich: Nullfall - Parkraumrestriktion -



## 10 Zusammenfassung und Ausblick

In der Einleitung wurde als Ziel dieser Arbeit die Formulierung eines Modells definiert, das bei Berücksichtigung gleichzeitiger und früherer Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer den Verkehrsablauf im Netz, zumindest in grober Form, abbildet.

Dieses Ziel wurde durch ein Modell erreicht, das die aktivitätenorientierte Simulation der Verkehrsnachfrage mit einem einfachen Bewegungsmodell des Verkehrsablaufs verbindet. Diese Kombination wird hier als simultane Simulation von Aktivitätenketten bezeichnet. Das Modell kann in dieser Form die Wechselwirkungen zwischen ruhendem Verkehr und Verkaufsaufkommen abbilden, die dem bisherigen Stand der Technik nicht problemlos zugänglich waren, wie die Beispiele in Abschnitt 9 zeigen.

Diese Kombination erweitert die Möglichkeiten des Verkehrsplaners in einer weiteren Dimension, für die bisher kaum Analysemethoden zur Verfügung standen: die Analyse des Einflusses von zusätzlichen Informationen, die dem Verkehrsteilnehmer und dem Kraftfahrer im besonderen durch alte und neue Kanäle zur Verfügung gestellt werden. Durch die Trennung der Entscheidungen, die auf aktuellen Daten beruhen, von denen, die auf Erfahrungen beruhen, könnten die Effekte des Verkehrsfunks, von Wechselwegweisungen, Wegführungssystemen, Parkleitsystemen abgebildet werden. Der Rahmen der simultanen Simulation der Aktivitätenketten bietet Raum für solche Erweiterungen.

Die Modellentwicklung hat der empirischen Überprüfung wenig Raum gelassen. Es bleibt die Aufgabe, das Modell in seinen Detailansätzen zu überprüfen. Insbesondere das Entscheidungsmodell für die Wahl des Parkziel und die Bewegungsmodelle warten noch auf die externe Validierung.

Die empirischen Untersuchungen zur Parkplatzwahl und zur Suchzeit zeigen, daß "der" Parker nicht existiert. Beide Teiluntersuchungen unterstreichen die Notwendigkeit, die verschiedenen Marktsegmente getrennt zu betrachten. Die hier vorliegenden Untersuchungen bieten aber nur einen ersten Blick auf diesen Fragenkomplex, der weiterer vertiefender Untersuchungen bedarf. Insbesondere die Wechselwirkungen zwischen Entscheidungssituation und Personentyp und die Wechselwirkungen zwischen den Alternativen und ihren Variablen müssen durch weitere empirische Arbeiten geklärt werden. Die hier vorgenommene Klassifikation der Personentypen und ihrer Anteile an der Grundgesamtheit steht angesichts der Stichprobengröße noch auf einer schmalen Basis. Auch hier ist weitere Arbeit mit einer erweiterten Anzahl von Alternativen notwendig.

Die Nützlichkeit der hier formulierten Lösung, der simultanen Simulation der Aktivitätenketten, wird sich bei ihrer Anwendung, und besonders bei ihrer

Erweiterung auf die neuen Problemfelder der Informationstechnologie zeigen. ORIENT/RV als die erste Implementierung bietet dem Verkehrsplaner neue Möglichkeiten.

## 11 Literatur

ANTONISSE, R.W., DALY, A. und GUNN, H. (1986):  
The Primary Destination Tour Approach to Modelling Trip Chains.  
Proceedings Summermeeting, Seminar M, S. 165-177, Planning Transportation  
Research and Computing Ltd, London.

AUSTIN, T.W. (1973):  
Allocation of Parking Demand in a CBD.  
Transportation Research Record, #444, S. 1-8, Transportation Research Board,  
Washington, D.C..

AXHAUSEN, K.W. (1988):  
Direkte Nutzenmessung - Zwei Anwendungen.  
Erscheint bei Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Verkehrs-Verlag J. Fischer,  
Düsseldorf.

BAIER, R., MORITZ, A. und SCHÄFER, K.-H. (1984):  
Parken in der Stadt.  
Schriftenreihe Städtebauliche Forschung, Heft 03.109,  
Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn.

BEYERLE, A. (1987):  
Suchzeiten im Parkverkehr.  
Studienarbeit am Institut für Verkehrswesen, Universität (TH) Karlsruhe, Karls-  
ruhe.

BRADLEY, M.; GOODWIN, P.B.; LAYZELL, A. and BATES, J. (1986):  
CLAMP : A Model to Simulate Parking Behaviour in Town Centers.  
Unveröffentlicher Vortrag, Konferenz der britischen Universitätsinstitute für Ver-  
kehrswesen (University Transport Studies Groups Conference), Cardiff.

BUDELMANN, H. (1981):  
Ein personengruppenbezogenes Modell zur Beschreibung und Vorausschätzung  
des städtischen Personenverkehrs bei eingeschränkter Datenverfügbarkeit.  
Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Heft 31, Technische Univer-  
sität Braunschweig, Braunschweig.

BULLEN, A.G.R. (1982):  
Development of Computerized Analysis of Alternative Management Policies.  
Transportation Research Record, #845, S. 31-36, Transportation Research Board,  
Washington, D.C..

DAGANZO, C.F. (1979):  
Multinomial Probit.

Academic Press, London, New York.

DAMM, D. (1983):

Theory and Empirical Results: A Comparison of Recent Activity-Based Research.  
In: CARPENTER, S. and JONES, P. (Hrsg.): Recent Advances in Travel Demand  
Analysis, S. 3-33, Gower, Aldershot, UK.

DAMM, D. und LERMAN, S.R. (1981):

A Theory of Activity Scheduling Behavior.  
Environment and Planning A, **13**, S. 703-718, Pion, London.

ELDIN, M.S.N., EL-REEDY, T.Y. und ISMAIL, H.K. (1981):

A Combined Parking and Traffic Assignment Model.  
Traffic Engineering and Control, **22**, S. 524-530, Printerhall Ltd., London.

ERGÜN, G. (1971):

Development of a Downtown Parking Model.  
Highway Research Record 369, S. 118-134, Highway Research Board, Washington,  
D.C..

FEENEY, B.P. (1986):

A Review of the Impact of Parking Policy Measures on Travel Demand.  
VTI rapport, # 308A, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.

FHWA(1982):

Handbook of Computer Models for Traffic Operations Analysis.  
US Department of Transportation, Tampa, Florida.

FGSV (1975):

Richtlinien für die Anlagen des ruhenden Verkehrs (RAR).  
Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.

GOOT v.d. D. (1982):

A Model to Describe the Choice of Parking Places.  
Transportation Research, **16A**, S. 109-115, Pergamon Press Ltd., London.

GUR, Y.J. und BEIMBORN, E.A. (1984):

Analysis of Parking in Urban Centers: Equilibrium Assignment Approach.  
Transportation Research Record #947, S. 55-62, Transportation Research Board,  
Washington, D.C..

HÄGERSTRAND, T. (1970):

What about people in Regional Science?  
Papers of the Regional Science Association, **24**, S. 7-21, Regional Science Asso-  
ciation, Philadelphia.

HAUPT, Th. (1986):

Konzeption eines verhaltensorientierten Verkehrsnachfragemodells für den städti-  
schen Verkehr in Entwicklungsländern.

Diplomarbeit, Institut für Verkehrswesen, Universität (TH) Karlsruhe.

HENSHER, D.A. (1985):

BLOGIT - An Abridged User's Guide.

Australian Road Research Board, Technical Manual, ATM 17, Vermont South, Victoria.

HENSHER, D.A. und JOHNSON, L.W. (1980):

Applied Discrete-Choice Modelling,

John Wiley & Sons, New York.

HERZ, R. (1984):

Verhaltensänderungen 1976-1982,

Arbeitsbericht, Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität (TH) Karlsruhe, Karlsruhe.

HERZ, R. (1986):

Verkehrsverhalten im räumlichen und zeitlichen Vergleich - Befunde aus KONTIV '76 und '82.

In: Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten, Schriftenreihe der DVWG, B85, Köln.

HEYDECKER, B. (1986):

Development of a Travel Model Which Includes Car Parks.

Unveröffentlichter Arbeitsbericht, Institute of Transport Studies, University of Leeds, Leeds.

HIRSH, M.; PRASHKER, J.N. and BEN-AKIVA, M. (1984):

Theoretical Model of Weekly Activity Pattern.

Transportation Research Institute, Technion, Haifa.

HOLZAPFEL, H. (1980):

Verkehrsbeziehungen in Städten.

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau, Heft 5, Technische Universität Berlin, Berlin.

HOROWITZ, J.L. (1985):

Travel and Location Behaviour: State of the Art and Research Opportunities.

Transportation Research, 19A, S. 441-453, Pergamon Press Ltd., London.

HUBSCHNEIDER, H. (1983):

Mikroskopisches Simulationssystem für Individualverkehr und Öffentlichen Personennahverkehr.

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Heft 26, Universität (TH) Karlsruhe, Karlsruhe.

JONES, P.; DIX, M.C.; CLARKE, M.I. and HEGGIE, I.G. (1980):

Understanding Travel Behaviour.

Final Report to the Social Science Research Council, TSU, Oxford University,

Publication (119/PR).

KIRCHHOFF, P. (1974):

Das Beziehungsgefüge zwischen Parkplätzen und aufgesuchten Zielen in seiner Bedeutung für die Standortbestimmung von Parkierungsanlagen.

Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Heft 14, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig.

KITAMURA, R. (1983):

Sequential, History-Dependent Approach to Trip-Chaining Behavior.

Transportation Research Record, #944, S. 13-21, Transportation Research Board, Washington, D.C..

KITAMURA, R. (1984):

Incorporating Trip Chaining into Analysis of Destination Choice.

Transportation Research B, 18, S. 67-81, Pergamon Press, London.

KITAMURA, R. und KERMANS SHAH, M. (1983):

Identifying Time and History Dependencies of Activity Choice.

Transportation Research Record, #944, S. 22-29, Transportation Research Board, Washington, D.C..

KITAMURA, R. und LAM, T.N. (1981):

A Time Dependent Markov Renewal Model of Trip Chaining. In: HURDLE, V.F. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, S. 376-402, University of Toronto Press, Toronto.

KNOFLACHER, H. (1980):

Zusammenhang zwischen Parkraumausstattung bzw. -organisation und Einwohner- sowie Arbeitsplatzentwicklung bzw. -verschiebungen.

Straßenverkehrstechnik, 24, S. 1-7, Kirschbaum Verlag, Bonn.

KOCUR, G., ADLER, T., HYMAN, W. und AUNET, B. (1981):

Guide to Forecasting Travel with Direct Utility Assessment.

FHWA, UMTA-NH-11-0001-82-1, Washington, D.C..

KORTENHAUS, Th. (1986):

Akzeptanz der Parkmöglichkeiten in innenstadtnahen Altbaugebieten durch die Bewohner.

Dissertation, Universität Hannover, Hannover.

KREIBICH, V. (1972):

Analyse und Simulation der Wahl des Arbeitsstandortes bei Erwerbspersonen.

Dissertation, TU München, München.

KÜCHLER, R. (1985):

Wegekettensorientierte Verkehrsberechnungsmodelle.

Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt.

KÜCHLER, R. (1986):

Ein Beitrag zur Weiterentwicklung von Verkehrsberechnungsmodellen.  
Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 57, S. 177-187.

KUTTER, E. (1972):

Demographische Determinanten des städtischen Personenverkehrs.  
Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Heft 9, Technische Universität  
Braunschweig, Braunschweig.

KUTTER, E. (1984):

Integrierte Berechnung Städtischen Personenverkehrs. Dokumentation der Entwicklung eines Verkehrsberechnungsmodells für die Verkehrsentwicklungsplanung Berlin (West), Arbeitsberichte zur Integrierten Verkehrsplanung, Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung, TU Berlin, Berlin.

LESSMANN, M. (1978):

Wechselwirkung zwischen Parkangebot und Verkehrsaufkommen.  
Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 264, Bundesminister für Verkehr, Bonn.

LEUTZBACH, W., AXHAUSEN, K.W., BUCK, A. und ZOELLMER, J. (1987):  
Untersuchung des öffentlichen Personennahverkehrs in der Großen Kreisstadt Mühlacker. Gutachten im Auftrag der Stadt Mühlacker, Mühlacker.

LEUTZBACH, W., HAAS, M., PAPAVALIOU, V. und SCHWERDTFEGGER, TH. (1987):

Dynamische Umlegung in Verkehrsnetzen,  
Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 469, Bundesminister für Verkehr, Bonn.

LEUTZBACH, W. und WILLMANN, G. (1972):

Über den Zusammenhang zwischen fließendem und ruhendem Verkehr.  
Straßenverkehrstechnik, 16, S. 155-163, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg.

LEICHTER, K. (1985):

SIMNET-Handbuch.  
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Straßenplanung und Straßenverkehrstechnik.

LEVINSON, H.S. and PRATT, C.O. (1984):

Estimating Downtown Parkings Demands: A Land Use Approach.  
Transportation Research Record, #957, Transportation Research Board, Washington, D.C..

MÄCKE, P.A. (1981):

Entwicklungsstufen der Verkehrsplanungsmodelle.  
In: Verkehrsnachfragemodelle, S. 43-95, Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft e.V., Reihe B, Band 57, Köln.

MAY, A.D. und TURVEY, I.G. (1985):

The Design and Conduct of Park and Visit and Vehicle Following Surveys,  
Working paper 198, Institut of Traffic Studies, University of Leeds, Leeds.

McCRORY, M.P. (1986):

Shrewsbury Traffic and Parking Model.

Unveröffentlicher Vortrag, Summermeeting, Seminar M, Planning Transportation Research and Computing Ltd, London.

MENTZ, H.J. (1984):

Analyse von Verkehrsverhalten im Haushaltskontext,

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau, Heft 11,  
Technische Universität Berlin, Berlin.

MONIGL, J. (1977):

Modellierung des städtischen Personenverkehrs unter Berücksichtigung der Parkmöglichkeiten bei der Verkehrsaufteilung.

Stadt - Region - Land, Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Heft 41, S. 9-18, Aachen.

O'KELLY, M.E. and MILLER, E.J. (1984):

Characteristics of Multistop Multipurpose Travel: An Empirical Study of Trip Length.

Transportation Research Record, #976, S. 33-38, Transportation Research Board, Washington, D.C..

POECK, M. und ZUMKELLER, D. (1976):

Die Anwendung einer maßnahmenempfindlichen Prognosemethode am Beispiel des Großraums Nürnberg.

DVWG-Workshop "Policy Sensitive Models", Gießen.

RADERMACHER, L. (1975):

Untersuchung über den Parkraumbedarf in Städten als Funktion der Stadtstruktur.

Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen.

RECKER, W.W., McNALLY, T. und ROOT, G.S. (1983):

Application of Pattern Recognition Theory to Activity Pattern Analysis,

In: CARPENTER, S. and JONES, P. (Hrsg.): Recent Advances in Travel Demand Analysis, S. 434-449, Gower, Aldershot, UK.

REICHENBACH, E. (1979):

Wegewahl als kognitiver Prozess,

Dissertation, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität (TH) Karlsruhe, Karlsruhe.

ROBERTSON, D. (1969):

TRANSYT: A Traffic Network Study Tool,

Laboratory Report 253, Transport and Road Research Laboratory, Crawthorne,

U.K..

ROOT, G.S. and RECKER, W.W. (1983):  
 Toward a Dynamic Model of Individual Activity Pattern Formulation.  
 In: CARPENTER, S. and JONES, P. (Hrsg.): Recent Advances in Travel Demand  
 Analysis, S. 371-382, Gower, Aldershot, UK.

SAS Inc. (1985a):  
 SAS User's Guide Basics : Version 5,  
 Cary, NC.

SAS Inc. (1985b):  
 SAS User's Guide Statistics : Version 5,  
 Cary, NC.

SAS Inc. (1985c):  
 SAS/Graph User's Guide : Version 5,  
 Cary, NC.

SAS Inc. (1986):  
 SUGI Supplemental Library User's Guide: Version 5,  
 Cary, N.C.

SCHILLER, H. und HEINZE, G.W. (1970):  
 Untersuchungen über Parkraumprobleme in Städten.  
 Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 109, Bun-  
 desminister für Verkehr, Bonn.

SCHMIEDEL, R. (1984):  
 Bestimmung verhaltensähnlicher Personenkreise für die Verkehrsplanung.  
 Dissertation, Universität (TH) Karlsruhe, Karlsruhe.

SHEFFI, Y. (1986):  
 Urban Transportation Networks.  
 Prentice-Hall, New York - London.

SPARMANN, U. (1980):  
 Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose.  
 Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Heft 20, Universität (TH) Karls-  
 ruhe, Karlsruhe.

STAPELTON, C.M. (1980):  
 Reformulation of the Family Life-Cycle Concept - Implications for Residential  
 Mobility,  
 Environment & Planning A, 12, S. 1103-1118, Pion, London.

STÖSSEL, E. (1971):  
 Abschätzung des Straßen- und Parkraumbedarfs im Stadtkern von Schaffhausen.  
 Straßenverkehrstechnik, 15, S. 160-165, Kirschbaum Verlag, Bonn.

WEICHBRODT, C. (1975):

Ein Modell zur räumlichen differenzierten Parkraumdimensionierung,  
Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Heft 17, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig.

WEICHBRODT, C. (1977):

Entwicklung und Anwendung integrierter Personenverkehrsmodelle auf der Basis individueller Verhaltensmuster,  
Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Heft 24, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig.

WERMUTH, M.J. (1978):

Struktur und Effekte von Faktoren der individuellen Aktivitätennachfrage als Determinanten des Personenverkehrs.  
Bock+Herchen, Bad Honnef.

WIGAN, M.R. (1975):

Parking Models in Transportation Planning,  
Traffic Engineering & Control, 22, S. 488-489, Printerhall Ltd., London.

WILLIAMS, J.C., MAHMASSANI, H.S. und HERMAN, R. (1987):

Urban Traffic Network Flow Models.  
Referat, 66. Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C..

WIRTH, N. und JENSEN, K. (1975):

Pascal User Manual and Report,  
Springer, Heidelberg.

YOUNG, W. (1986):

PARKSIM/1: a network model for parking facility design.  
Traffic Engineering & Control, 27, S. 606-613, Printerhall Ltd., London.

ZUMKELLER, D. (1983):

Are Persons or Households the Basic Unit of Travel Demand Simulation? The Concept of a Hybrid Model.  
PTRC Summer Annual Meeting, Brighton.

## Anhänge

Die beiden Anhänge A und B erläutern die Benutzung der beiden Programm- bausteine. Die unterschiedlichen Aufgaben der beiden Bausteine bringen unterschiedliche Schwerpunkte in der Darstellung mit sich. Bei SAS/ORIENT wird die interaktive Handhabung und die Struktur der Dateien diskutiert. Bei ORI- ENT/RV stehen die Programmstruktur und die Rechenzeiterfahrungen im Mit- telpunkt. Es kann hier nicht der Versuch unternommen werden, ein umfassendes Benutzerhandbuch zu erstellen. Der Leser sei für weitergehende Fragen an die Quelltexte verwiesen, die auf den beiliegenden Disketten zu finden sind.

## A Implementierung SAS/ORIENT

### A.1 Einleitung

SAS/ORIENT ist ein interaktives Anwenderprogramm, das unter dem SAS- Display Manager System in der SAS-Makro Programmiersprache auf einem BS 3000-System realisiert ist. Es umfaßt mit umfangreichem Kommentar fast 2000 Zeilen<sup>9</sup>.

Die Daten und der Programmtext sind in mindestens zwei Dateien permanent abgespeichert:

1. Programmdatei P
  - a) Element START zur Initialisierung von ORIENT
  - b) Element ORIENT, das den eigentlichen Programmtext enthält
  - c) Element ANALYSE, eine Sammlung von SAS-Makros zur Auswertung der Simulationsergebnisse
2. Permanente Datendatei PD
 

Eine binäre SAS-Datei, die die FSEDIT-Masken und die Datenelemente enthält, die unten genauer beschrieben werden.
3. (Temporäre Datendateien TD)
 

ASCII-Dateien, die von ORIENT erzeugt werden und die ORIENT/RV zum Einlesen der

Daten und zum Speichern der Ergebnisse benötigt.

---

<sup>9</sup>Vertrautheit mit dem SAS-System, insbesondere dem display manager system, der Prozedur FSEDIT und der Macrosprache wird für die weitere Diskussion vorausgesetzt. Das Betriebssystem BS-3000 ist dem IBM-OS Betriebssystem nachempfunden. Die Terminologie, die zur Beschreibung der Dateien verwendet wird, folgt den Konventionen dieser Betriebssystemfamilie.

Der Anwender startet ORIENT, indem er mit dem Befehl "%include ein.start", ORIENT lädt, PD logisch als "pd" zuordnet und das Makro RAHMEN aufruft ("ein" ist der logische Name der Programmdatei P).

## A.2 ORIENT

Das Element ORIENT umfaßt im Moment 25 Makros in drei Ebenen. Tabelle 55 gibt eine Übersicht über die Makros und die ihnen zugeordneten Dateien in PD und TD.

Das Makro RAHMEN fungiert als Hauptprogramm von dem aus die Makros der zweiten Ebene aufgerufen werden. Abbildung 44 zeigt die zugehörige Maske M.MENUE.

Innerhalb des Makros BEARBEIT werden die Daten zur Beschreibung der Untersuchungsgebiete eingegeben und gepflegt. Als erster Schritt legt der Anwender den zu bearbeitenden Untersuchungsfall fest. Die Datei pd.faele enthält die Informationen über alle schon erzeugten Untersuchungsfälle eines

Untersuchungsgebietes. Der Anwender kann nun entweder einen schon bestehenden Fall untersuchen (Das Makro KOPIER kopiert die Dateien von pd in den Arbeitsspeicher) oder einen bestehenden Fall zur Basis eines neuen Falles machen (Makro VONNACH), oder einen Fall neu erzeugen (Makro ERZEUG). In den beiden letzten Fällen wird automatisch eine neue Fallnummer erzeugt. Als letztes ist auch das Löschen des Arbeitsbereichs möglich (Makro LOESCH). Tabelle 56 beschreibt die Datei pd.faele.

Im zweiten Schritt können die Dateien bearbeitet werden. Abbildung 45 zeigt als Beispiel die Maske M.A. Die Tabellen 43 bis 47 beschreiben die Inhalte der Dateien.

Nach dem Aufruf des Makros LAUF werden als erstes die Parameter des gewünschten Simulationslaufes und die gewünschten Auswertungen abgefragt (Maske M.MENUE3 und Datei work.menu3). Im Anschluß erzeugt ORIENT automatisch die temporäre ASCII-Datendatei TD, schreibt die notwendigen Elemente nach TD und startet den Simulations- und Auswertungslauf. Die Makros zum Herausschreiben der Daten sind eindeutig (Makros ADAT, MDAT, NDAT, PDAT, SDAT, und ZDAT) und bedürfen keiner weiteren Erläuterung. Das Makro RV00A erzeugt ein Stück Pascal-Quelltext, in dem die Programmkonstanten festgelegt werden. Dieses Stück wird von der JCL, die durch das Makro JOB erzeugt wird, mit dem Rest des Programmtextes von ORIENT/RV zusammengebunden, übersetzt und ausgeführt. Das Makro AUSW erzeugt einen SAS-Batchlauf, in dem die Auswertemakros aus der Sammlung im Element ANALYSE zur Ausführung gebracht werden. Der Anwender erhält die Auswertungen als Ausdruck.

Die Antwortzeit für das Makro LAUF hängt sowohl von dem Umfang des Untersuchungsfalls ab, als auch von der Auslastung des Computers. Längere Wartezeiten

sind möglich (Im beschriebenen Anwendungsfall waren Wartezeiten bis zu 4 Minuten die Obergrenze).

Das Makro SICHERN sichert die Dateien des Arbeitsbereichs in der Datei pd.

### A.3 ANALYSE

Das Element ANALYSE umfaßt eine Sammlung von im Moment 18 Auswertungsmakros. Die Auswahl der Auswertungen wird im Makro LAUF getroffen und in der Datei work.menue3 gespeichert. Das Makro AUSW erzeugt den notwendigen SAS-Quelltext.

Das Makro AGRUND erzeugt aus der Ausgabedatei von ORIENT/RV die drei grundlegenden Dateien, work.g\_fahrt, work.t\_fahrt und work.fahrt, die für die weiteren Auswertungen benötigt werden. Die Datei work.g\_fahrt enthält Informationen über die Fahrten als Ganzes, von Quelle bis Ziel. Die Datei work.t\_fahrt umfaßt nur Informationen über die Bewegung im Netz. Sie speichert zusammengefaßte Informationen über Teilstücke der Fahrt, die den gleichen Fahrtzweck verfolgten. Die Datei work.fahrt umfaßt alle Fahrtstücke, so wie sie von den Ereignissen FAHRT, SUCHE und SNA (siehe Anhang B) erzeugt werden. Die Tabellen 51 bis 53 erläutert die Dateiinhalte im einzelnen.

Die restlichen Makros (siehe Tabelle 54) führen die eigentlichen Auswertungen durch.

Tabelle 41:  
Makros des Elements ORIENT

Ebene/Name	Aufgabe	Maske	Datei in PD	Datei in TD
RAHMEN	Hauptprogramm	M.MENUE		
BEARBEIT	Bereitstellung der Eingabedaten	M.MENUE2	FAELLE LAEUFFE	
AKTIV	Bearbeiten der Aktivitätsdatei	M.A	D.A.<>-	ADAT
ERZEUG	Initialisiert die Dateien für Fall <>			
KONST	Bearbeiten der Programmkonstanten	M.K	D.K.<>-	RV00A
KOPIER	Kopiert Dateien von pd nach work			
LOESCH	Löscht Arbeitsbereich			
MERKMAL	Beschreibung der Bevölkerung	M.M	D.M.<>-	MDAT
NETZ	Bearbeiten der Netzbeschreibung	M.N	D.N.<>-	NDAT
N.MIV	Beschreibung des nicht motorisierten Verkehrs	M.S	D.S.<>-	SDAT
PERSON	Bearbeiten der Personendatei	M.P	D.P.<>-	PDAT
VONNACH	Erzeugt neuen aus altem Fall			
ZUFALL	Beschreibung der Zufallszahlen- generatoren und -ströme	M.Z	D.Z.<>- D.F.<>-	ZDAT
LAUF	Erstellung der Datei TD	M.MENUE3		
ADAT	Schreibt ADAT			ADAT
AUSW	Erzeugt SAS-Batchjob für die Auswertung			AUSW
JOB	Erzeugt OS-JCL für den Simulationslauf			JOB
MDAT	Schreibt MDAT			MDAT
NDAT	Schreibt NDAT			NDAT
PDAT	Schreibt PDAT			PDAT
RV00A	Erzeugt Pascal-Quelltext			RV00A
SDAT	Schreibt SDAT			SDAT
ZDAT	Erzeugt ZDAT			ZDAT
SICHERN	Sichert Arbeitsbereich in PD			

<> ist die Nummer des Untersuchungsfalls.

Tabelle 42:  
Beschreibung der Datei pd.faele

Variable	Typ	Aufgabe
Stadt	\$	Name der Stadt
Fall	\$	Name des Untersuchungsfalls
Erzeugt	\$	Dummy-Variable mit den Werten " ", falls der Fall noch nicht erzeugt worden ist "J", falls der Fall vorhanden ist
Ja	\$	Variable zur Eingabe der gewünschten Aktion "J", KOPIER, wenn Fall vorhanden ERZEUG, wenn Fall neu "L", LOESCH "N", VONNACH, aus dem Fall der mit "V" markiert ist.

Tabelle 43:  
Beschreibung der Datei pd.d.a.<>.

Variable	Typ	Aufgabe
P_Nr	N	Personennummer
Zweck	N	Zweck der Aktivität
HA	N	Hauptaktivität Ja/Nein
Dauer	N	Dauer in 1000stel Stunden

Tabelle 44:  
Beschreibung der Datei pd.d.k.<>.

Variable	Typ	Aufgabe
a_p	N	Anzahl der Personen
a_a	N	Anzahl der Aktivitäten (inklusive des morgendlichen Aufenthalts zu Hause)
a_ze	N	Anzahl der Zellen
a_ne	N	Anzahl der Netzelemente (inklusive der Zellen)
s_ende	N	Simulationsende
t	N	Grenzwert für Überlastung in FAHRT
Geduld	N	Geduldsparemeter FAHRT/SUCHE
Schritt	N	Minimalschrittweite der Simulation
D'Esopo	N	Anzahl der notwendigen Aufrufe um die kürzeste Wege-Berechnung zu starten

Tabelle 45:  
Beschreibung der Datei d.m.<>.

Variable	Typ	Aufgabe
NE_Nr	N	Nummer der Zelle
Einw	N	Anteil an der Einwohnerzahl
Lehre	N	Anteil an den Lehrstellen
S9K	N	Anteil an Schulkapazität (bis 9. Klasse)
S10K	N	Anteil an Schulkapazität (ab 10. Klasse)
STer	N	Anteil an tertiären Bildungseinrichtungen
A2S	N	Anteil an Arbeitsplätzen im sekundären Sektor
A3S	N	Anteil an Arbeitsplätzen im tertiären Sektor
Verkauf	N	Anteil an den Verkaufsflächen
Privat	N	Anteil von Privatparkplätzen
Arbeit	N	Anteil an reservierten Stellplätzen bei der Arbeit

Tabelle 46:  
Beschreibung der Datei pd.d.n.<>.

Variable	Typ	Aufgabe
NE_Nr	N	Nummer des Netzelements
Nach	N	Anzahl der Nachbarelemente
K_V	N	Maximale Dichte
K_P1-K_P6	N	Kapazitäten der Parkplatztypen
A_1_V	N	Multiplikator der Fahrtzeit in Zeitraum 1
A_2_V	N	wie oben, Zeitraum 2
A_3_V	N	wie oben, Zeitraum 3
cr_v	N	Capacity-restraint-Funktion
cr_p1-cr_p6	N	Capacity-restraint-Funktion
N1-N8	N	Netzelementnummern der Nachbarn
T11-T88	N	Fahrtzeit von Nachbarelement i über Netzelement nach Nachbarelement j

Tabelle 47:  
Beschreibung der Datei pd.d.f.<>.

Variable	Typ	Aufgabe
a_v	N	Anzahl der Generatoren
a_s	N	Anzahl der Ströme
s1-s10	N	Typ des Generators für Strom i
a1-a10	N	Startzufallszahl für Strom i

Bei mehr als 10 Strömen können weitere Einträge in d.f.<> vorgenommen werden, wobei für a\_v und a\_s keine Werte angegeben werden.

Tabelle 48:  
Beschreibung der Datei pd.d.p-<>-

Variable	Typ	Aufgabe
P_Nr	N	Personennummer
P_Kreis	N	Personenkreis (wie Tab. 6.1)
Gewicht	N	Gewichtungsfaktor

Tabelle 49:  
Beschreibung der Datei pd.d.s-<>-

Variable	Typ	Aufgabe
Von_NE	N	Quellnetzelement
Nach_NE	N	Zielnetzelement
Fuss	N	Fahrtzeit zu Fuß
Rad	N	Fahrtzeit mit dem Rad
OEV1	N	ÖPNV-Fahrtzeit in Zeitraum 1
OEV2	N	ÖPNV-Fahrtzeit in Zeitraum 2
OEV3	N	ÖPNV-Fahrtzeit in Zeitraum 3

Tabelle 50:  
Beschreibung der Datei pd.d.z-<>-

Variable	Typ	Aufgabe
Typ	\$	Typ des Generators
P1	N	Parameter 1
P2	N	Parameter 2

Tabelle 51:  
Beschreibung der Datei work.fahrt

Variable	Typ	Aufgabe
P_Nr	N	Personennummer
Akt_NE	N	Aktuelles Netzelement
Next_NE	N	Nächstes Netzelement
Zweck	N	Fahrtzweck
VM	N	Verkehrsmittel
P_Typ	N	Parkstandstyp
Zeit	N	Zeit bei Beginn der Fahrt
P_Kreis	N	Personenkreis
Gewicht	N	Gewicht

Kodierung Zweck	Kodierung VM
1 : Zu Hause	1: PKW
2 : Arbeit	2: ÖPNV
3 : Zugang	3: Zu Fuß
4 : Fahrt	4: Rad
5 : Abgang	5: Mitfahrer
6 : Suche	6: Aufenthalt
7 : Einkauf	
8 : Priv. Erledigung	
9 : Berufsausübung	
10: Sonstiges	
11: Ausbildung	
14: Suchfahrt	
16: Erfolgreiche Suche	

Kodierung P_Typ
1: Straßenrand
2: Parkuhr
3: Parkplatz
4: Parkhaus
5: Privat
6: Illegal

Tabelle 52:  
Beschreibung der Datei work.t.fahrt

Variable	Typ	Aufgabe
P_Nr	N	Personennummer
Quelle	N	Quelle der Teilfahrt
Ziel	N	Ziel der Teilfahrt
Zweck	N	Zweck
P_Typ	N	Parkplatztyp
VM	N	Verkehrsmittel
Start	N	Beginn der Teilfahrt
Ende	N	Ende der Teilfahrt
Dauer	N	Dauer
P_Kreis	N	Personenkreis
Gewicht	N	Gewicht

Eine Teilfahrt umfaßt die Stücke einer Fahrt, in denen Zweck, Ziel, P\_Typ gleichbleiben.

Tabelle 53:  
Beschreibung der Datei work.g.fahrt

Variable	Typ	Aufgabe
P_Nr	N	Personennummer
Quelle	N	Quelle der Fahrt
Ziel	N	Ziel der Fahrt
Zweck	N	Zweck
P_Typ	N	Parkplatztyp
VM	N	Verkehrsmittel
Start	N	Beginn der Fahrt
Ende	N	Ende der Fahrt
Dauer	N	Dauer der Fahrt
P_Kreis	N	Personenkreis
Gewicht	N	Gewichtungsfaktor

Ein Eintrag in g\_fahrt faßt eine Fahrt von Zugang bis Abgang zusammen.

Tabelle 54:  
Makros des Elements ANALYSE

Name	Beschreibung
AGRUND	Erzeugt work.fahrt, work.t.fahrt und work.g.fahrt
A00	Erzeugt Verflechtungsmatrix
A00_GEN	Erzeugt Verflechtungsmatrizen getrennt nach einem anwendergewählten Kriterium
A10	Erzeugt Reisezeitmatrix
A10_GEN	Erzeugt Reisezeitmatrizen getrennt nach einem anwendergewählten Kriterium
A20	Berechnet mittlere Dauer der Teilfahrten getrennt nach Personenkreis und Zweck
A21	Berechnet mittlere Dauer der Teilfahrten getrennt nach Personenkreis, Zweck und Verkehrsmittel
A30	Erzeugt Ganglinie aller Zwecke
A30_GEN	Erzeugt Ganglinien getrennt nach anwendergewähltem Kriterium
A40	Erzeugt Ganglinien für Parkstandstypen
A40_GEN	Erzeugt Ganglinien für Parkstandstypen getrennt nach anwendergewählten Kriterium
A41	Mittlere Parkdauern
A41_GEN	Mittlere Parkdauern getrennt nach anwendergewähltem Kriterium
A50	Verkehrsmittelwahl getrennt nach Zweck
A51	Verkehrsmittelwechsel
A_NDAT	Berechnet aktualisierte Reisezeiten
A_SUCH	Berechnet aktualisierte Suchzeiten
A_SUC2	Berechnet aktualisierte Suchzeiten

```
                                Edit SAS data set: WORK.MENU                Screen 1
Command ==>                                Obs                            1

Hauptmenue:

B : Bearbeiten der Eingabedaten
L : Abschicken eines Laufes
S : Sichern
E : Ende ohne Sichern

Eingabe : _

_ORIENT/RV_____Hauptmenue_____
```

Abbildung 45:  
Eingabemaske von d.a.<>-

```
                                Edit SAS data set: KK.D_A_1                Screen  1
Command ==>                                Obs                          1

Aktivitaeten:

Person Nr.      : 1
Zweck           : 1
Hauptaktivitaet: 1 (1=ja)
Dauer          : 7000 (in 1000stel Stunden)

_ORIENT/RV_____Aktivitaeten_____
```

## B Implementierung ORIENT/RV

### B.1 Übersicht

Das Programm ORIENT/RV ist als BS 3000-Pascal-Programm auf einem SIEMENS-Großrechner unter BS 3000 unter Verwendung einiger NAG-Library-Prozeduren realisiert. Die gegenwärtige Programmversion schreibt einige Strukturen im Quelltext fest, zum Beispiel die Parameter der Wahlmodelle, die Grenzen der Tageszeitperioden, die capacity-restraint Funktionen. Diese Festlegungen sollen in einer späteren Version aufgehoben werden. Im Moment müßte ein Anwender den Quelltext verändern.

Er umfaßt mit umfangreichem Kommentar etwa 3700 Zeilen, die auf zehn Dateielemente verteilt sind. Tabelle 55 erläutert die Inhalte der Elemente.

Tabelle 55:  
Inhalte der Dateielemente

Name	Inhalt
RV0	Globale Datenvereinbarungen
RV1	Verwaltung der Ereignisliste
RV2	Trace-Prozeduren
RV3	Erzeugung der Zufallszahlenströme
RV4	Kürzeste Wege Berechnung
RV5	Ausgabe der Ergebnisse
RV6	ZUGANG, FAHRT, SUCHE, ABGANG
RV7	SUCHE NÄCHSTE AKTIVITÄT
RV8	Trace-Prozeduren, Einleseprozeduren
RV9	Hauptprogramm

Die Rechenzeiten und die Speicherplatzanforderungen des Programms sind der Komplexität des Ansatzes angemessen. Auf Grund der Rechenzeiterfahrungen mit dem Anwendungsbeispiel wurde eine lineare Regression durchgeführt, die die CPU-Zeit [sec] ohne Initialisierung, die Anzahl der FAHRTen und SUCHEN berücksichtigt. Die Anzahl der anderen Ereignisse ist so gut wie konstant.

### B.2 Prozeduren der ersten und zweiten Ebene

Es sollen an dieser Stelle alle Prozeduren erläutert werden, die im Hauptprogramm sichtbar sind. Für weitergehende Fragen sei der Leser auf den kommentierten Quelltext verwiesen.

Tabelle 56:  
Rechenzeiterfahrungen

Variablen	Parameter	t-Statistik
Konstante	-0.95	-0.96
Anzahl FAHRTen (1.000)	3.02	4.35
Anzahl SUCHEN (1.000)	3.69	13.22
adj. R <sup>2</sup>	.934	
N	14	

Das Hauptprogramm zerfällt in vier Teile:

- Einlesen der Daten
- Initialisierung
- Bearbeitung der Ereignisliste
- Abschließende Sicherung der Ergebnisse

Der Quelltext am Ende des Anhangs ist eine Version des Hauptprogramms, in der der Text auf die wesentliche Bestandteile reduziert ist.

**Einlesen der Daten** Die Prozeduren ADAT\_EINLESEN, MDAT\_EINLESEN, NDAT\_EINLESEN, PDAT\_EINLESEN, SDAT\_EINLESEN sind die Gegenstücke zu den oben beschriebenen Prozeduren aus SAS/ORIENT.

**Initialisierung** Der erste Aufruf der Prozedur ZUFALL initialisiert die gewünschten Generatoren und ordnet sie den entsprechenden Zufallszahlenströmen im Programm zu.

Die Prozedur VMEF\_ZUWEISUNG initialisiert die Matrix, die die austauschbaren Verkehrsmittel angibt.

ZUSTANDS\_ZUWEISUNG initialisiert die Matrizen, in denen die Informationen über die Personen und Zellen abgespeichert sind.

NETZ\_ZUWEISUNG berechnet für den motorisierten Individualverkehr, für alle drei Zeitperioden, die kürzesten Wege von jedem Netzelement zu jedem anderen.

Das Netz ist als modifizierter "forward-star" abgespeichert. Der Algorithmus von D'Esopo wird zur Berechnung der kürzesten Wege verwendet. Darüber hinaus werden die Fahrtzeitmatrizen der anderen Verkehrsmittel initialisiert.

Aus den eingelesenen Aktivitäten wird in AUFBAU\_ELISTE die verzeigerte Ereignisliste aufgebaut. In der ersten Version der Liste ist für jede Person der morgendliche Aufenthalt zu Hause eingetragen. Alle weiteren Einträge werden während der Abarbeitung erzeugt. Die Liste ist zum schnelleren Einsortieren der Ereignisse doppelt verzeigert. In der ersten Ebene kann die nächste "Viertelstunde" angesprungen werden. In der zweiten Ebene wird das Ereignis dann an seinen genauen Startzeitpunkt eingeordnet.

**Bearbeitung der Ereignisliste** Die Bearbeitung erfolgt innerhalb einer "while"-Schleife, die abgebrochen wird, wenn entweder die Ereignisliste leer ist oder wenn das Simulationsende erreicht ist. Innerhalb der Schleife werden die fünf Ereignisse unterschieden, die in den Abschnitten 6, 7 und 8 diskutiert wurden.

Drei Prozeduren werden in allen fünf Ereignissen verwendet. COM\_EREIGNIS speichert das kommende Ereignis als Fahrt ab. CRE\_EINTRAG erzeugt den Zeiger für das nächste Ereignis der Person. GEN\_EREIGNIS sortiert den Zeiger in die Ereignisliste ein.

COM\_HA und COM\_AKT berechnen Ziel, Parkziel, Verkehrsmittel und Parkstandtyp für jede Aktivität. FAHRT\_PKW berechnet die Fahrtzeit die eine Person zur Durchquerung eines Netzelementes benötigt. Bis die Person an ihrem Ziel angelangt ist, erzeugt FAHRT\_PKW weitere Aufrufe des Ereignisses FAHRT. DAUER\_FAHRT berechnet die Fahrtzeit für die Fußgänger, Radfahrer und Busbenutzer. DAUER\_SUCHE gibt die benötigte Suchzeit an. ABGANG und ZUGANG berechnen die Zeiten, die eine Person benötigt, um zu ihrem Verkehrsmittel zu kommen oder um ihr Ziel zu erreichen.

**Abschließende Sicherung der Ergebnisse** Soweit die Ergebnisse nicht schon auf Platte gesichert sind, werden sie nach Abschluß der Simulation auf Platte herausgeschrieben (Prozedur AUSGABE).

### Verkürzter Quelltext des Hauptprogramms

```

BEGIN
ADAT_EINLESEN();
MDAT_EINLESEN();
NDAT_EINLESEN();
PDAT_EINLESEN();
SDAT_EINLESEN();
ZUFALL();
VMEF_ZUWEISUNG();
ZUSTAND_ZUWEISUNG();
NETZ_ZUWEISUNG();
AUFBAU_E_LISTE();
Abbruch := false;
WHILE (E_Liste <> nil) AND NOT(Abbruch) DO
  BEGIN
    tx := E_Liste@.S_Zeit;
    CASE Ereignis OF:
      S_N_AKTIVITAET:
        BEGIN
          COM_EREIGNIS();
          IF @Naechste_Aktivitaet <> nil THEN
            BEGIN
              IF Aktivitaet = Hauptaktivitaet THEN
                COM_HA();
                COM_AKT();
                tx := tx + Dauer;
                CRE_EINTRAG(,tx,ZUGANG);
                GEN_EREIGNIS(,tx);
            END;
          END;
        ZUGANG:
          BEGIN
            COM_EREIGNIS();
            DAUER_ZUGANG(,tx,);
            CRE_EINTRAG(,tx,FAHRT);
            GEN_EREIGNIS(,tx,);
          END;
        FAHRT:
          BEGIN
            COM_EREIGNIS();
            IF vm = 1 OR vm = 5 THEN {Pkw, Mitfahrer}
              BEGIN
                FAHRT_PKW(,tx,);
            END;
          END;
    END;
  END;
END;

```

```

        CRE_EINTRAG(,tx,FAHRT/SUCHE);
        GEN_EREIGNIS(,tx,);
        END;
ELSE
    BEGIN
        DAUER_FAHRT(,tx,);
        CRE_EINTRAG(,tx,AGBANG);
        GEN_EREIGNIS(,tx,);
        END;
    END;
SUCHE:
    BEGIN
        COM_EREIGNIS();
        DAUER_SUCHE(,tx,);
        CRE_EINTRAG(,tx,FAHRT/ABGANG);
        GEN_EREIGNIS(,tx,);
        END;
ABGANG:
    BEGIN
        COM_EREIGNIS();
        DAUER_ABGANG(,tx,);
        CRE_EREIGNIS(,tx,S_N_AKTIVITAET);
        GEN_EREIGNIS(,tx,);
        END;
    END; {CASE}
    @Naechstes_Ereignis := E_Liste@Naechstes;
    END; {WHILE}
AUSGABE();
END.

```

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

Die mit \* versehenen Veröffentlichungen sind vergriffen!

---

**Schriftenreihe des Instituts (ISSN 0341-5503)**


---

- |          |  |   |
|----------|--|---|
| Heft 1:  | BARON, P. S. (1967):<br>Weglängen als Kriterium zur Beurteilung von Fluggast-Empfangsanlagen   | * |
| Heft 2:  | STOFFERS, K. E. (1968):<br>Berechnung von optimalen Signalzeitenplänen   |   |
| Heft 3:  | KOEHLER, R. (1968):<br>Verkehrsablauf auf Binnenwasserstraßen - Untersuchungen zur Leistungsfähigkeitsberechnung und Reisezeitverkürzung | * |
| Heft 4:  | BÖTTGER, R. (1970):<br>Die numerische Behandlung des Verkehrsablaufs an signalgesteuerten Straßenkreuzungen                              | * |
| Heft 5:  | DROSTE, M. (1971):<br>Stochastische Methoden der Erfassung und Beschreibung des ruhenden Verkehrs  |   |
| Heft 6:  | 10 Jahre Institut für Verkehrswesen (1973)   | * |
| Heft 7:  | BEY, I. (1972):<br>Simulationstechnische Analyse der Luftfrachtabfertigung   | * |
| Heft 8:  | WIEDEMANN, R. (1974):<br>Simulation des Straßenverkehrsflusses   |   |
| Heft 9:  | KÖHLER, U. (1974):<br>Stabilität von Fahrzeugkolonnen  |   |
| Heft 10: | THOMAS, W. (1974):<br>Sensitivitätsanalyse eines Verkehrsplanungs-Modells  |   |
| Heft 11: | PAPE, P. (1976):<br>Weglängen-Reduzierung in Fluggast-Empfangsanlagen durch flexible Vorfeldpositionierung                               |   |
| Heft 12: | KOFFLER, Th. (1977):<br>Vorausschätzung des Verkehrsablaufs über den Weg   |   |
| Heft 13: | HAENICKE, W. (1977):<br>Der Einfluß von Verflechtungen in einem bedarfsorientierten Nahverkehrssystem auf die Reisegeschwindigkeit       | * |
| Heft 14: | BAHM, G. (1977):<br>Kabinengröße und Betriebsablauf neuer Nahverkehrssysteme   | * |
| Heft 15: | LAUBERT, W. (1977):<br>Betriebsablauf und Leistungsfähigkeit von Kleinkabinenbahnsystemen  |   |
-

- 
- Heft 16: SAHLING, B.-M. (1977):  
Verkehrsablauf in Netzen - Ein graphentheoretisches Optimierungsverfahren \*
- Heft 17: ZAHN, E. M. (1978):  
Berechnung gesamtkostenminimaler außerbetrieblicher Transportnetze
- Heft 18: HANDSCHMANN, W. (1978):  
Sicherheit und Leistungsfähigkeit städtischer Straßenkreuzungen unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung des Kraftfahrzeugführers
- Heft 19: WILLMANN, G. (1978):  
Zustandsformen des Verkehrsablaufs auf Autobahnen \*
- Heft 20: SPARMANN, U. (1980):  
ORIENT - Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose \*
- Heft 21: ALLSOP, R. E. (1980):  
Festzeitsteuerung von Lichtsignalanlagen \*
- Heft 22: ADOLPH, U.-M. (1981):  
Systemsimulation des Güterschwerverkehrs auf Straßen \*
- Heft 23: JAHNKE, C.-D. (1982):  
Kolonnenverhalten von Fahrzeugen mit autarken Abstandswarnsystemen
- Heft 24: LEUTZBACH, W. (1982):  
Verkehr auf Binnenwasserstraßen \*
- Heft 25: 20 Jahre Institut für Verkehrswesen (1982) \*
- Heft 26: HUBSCHNEIDER, H. (1983):  
Mikroskopisches Simulationssystem für Individualverkehr und Öffentlichen Personennahverkehr \*
- Heft 27: MOTT, P. (1984):  
Signalsteuerungsverfahren zur Priorisierung des Öffentlichen Personennahverkehrs \*
- Heft 28: MAY, A. D. (1984):  
Traffic Management Research at the University of California
- Heft 29: HAAS, M. (1985):  
LAERM - Mikroskopisches Modell zur Berechnung des Straßenverkehrslärms
- Heft 30: BOSSERHOFF, D. (1985):  
Statische Verfahren zur Ermittlung von Quelle-Ziel-Matrizen im Öffentlichen Personennahverkehr - Ein Vergleich
-

- 
- Heft 31: BAASS, K. (1985):  
Ermittlung eines optimalen Grünbandes auf Hauptverkehrsstraßen
- Heft 32: BENZ, Th. (1985):  
Mikroskopische Simulation von Energieverbrauch und Abgasemission im  
Straßenverkehr (MISEVA)
- Heft 33: STUCKE, G. (1985):  
Bestimmung der städtischen Fahrtenmatrix durch Verkehrszählungen
- Heft 34: YOUNG, W. (1985): \*  
Modelling the Circulation of Parking Vehicles - a Feasibility Study
- Heft 35: GIPPS, P. G. (1986):  
Simulation of Pedestrian Traffic in Buildings
- Heft 36: 25 Jahre Institut für Verkehrswesen (1987) \*
- Heft 37: MÖLLER, K. (1986):  
Signalgruppenorientiertes Modell zur Optimierung von Festzeitprogram-  
men an Einzelknotenpunkten
- Heft 38: BLEHER, W. G. (1987):  
Messung des Verkehrsablaufs aus einem fahrenden Fahrzeug -  
Beurteilung der statistischen Genauigkeit mittels Simulation
- Heft 39: MAIER, W. (1988):  
Bemessungsverfahren für Befragungszählstellen mit Hilfe eines Warte-  
schlangenmodells
- Heft 40: AXHAUSEN, K. (1989):  
Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur Parkstands-  
wahl
-

---

**Vorläufige Berichte des Instituts**


---

- Nr. 1: LEUTZBACH, W.; KOEHLER, R. (1964):  
Binnenwasserstrassenverkehr als Zufallsverteilung
- Nr. 2: EICK, P. (1964):  
Experimentelle Überprüfung des Folgetests von WALD
- Nr. 3: BEXELIUS, S. (1965):  
Größe der Verkehrstheorie - ihre Definition und Anwendung
- Nr. 4: LEUTZBACH, W.; ERNST, R. (1965): \*  
Untersuchung über den Einfluß der Fahrbahnmarkierung auf das Verhalten der Fahrzeuglenker
- Nr. 5: GULLON LÖW, M. (1965):  
Die Planung des spanischen Stadt- und Landstraßennetzes
- Nr. 6: BEXELIUS, S. (1965):  
An Extended Model for Car Following
- Nr. 7: BEXELIUS, S. (1965): \*  
Beschreibung des Verkehrsablaufs im Hinblick auf verschiedene Arten von Engpässen
- Nr. 8: LEUTZBACH, W.; LENZ, K.-H. (1966):  
Wartezeitverluste an Schleusen
- Nr. 9: MARTIN, W. (1967): \*  
Zeitstudie über die Passagierabfertigung am Flughafen Stuttgart
- Nr. 10: DROSTE, M. (1968):  
Parkraumerhebungen in Intervallen
- Nr. 11: LEUTZBACH, W. (1968):  
Bewegung als Funktion von Zeit und Weg  
(also in Transportation Research, Vol. 3 (1969) 421-428)
- Nr. 12: DROSTE, M. (1969):  
Die Berechnung optimaler Signalzeitenpläne als Problem der ganzzahligen linearen Programmierung
- Nr. 13: LUDES, K.; SIEGENER, W. (1969):  
Untersuchung des Verkehrsablaufs im Hinblick auf riskantes Fahrverhalten
- Nr. 14: HAIGHT, F. A. (1970):  
Problems in Transport Safety
- Nr. 15: DILLING, J.: (1970) \*  
Reisegeschwindigkeit und Straßencharakteristik
-

- 
- |         |   |   |
|---------|---|---|
| Nr. 16: | COBLENTZ, H. S. (1971):<br>Transportation Planning and Social Issues: Function and Dvsfunction  | * |
| Nr. 17: | KÖHLER, U. (1971):<br>Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsganglinie bzw. Geschwindigkeit-<br>profil und Häufigkeitsdichte der Geschwindigkeiten | * |
| Nr. 18: | BRILON, W. (1973):<br>Der Zusammenhang zwischen räumlich-zeitlichen Kennwerten des Ver-<br>kehrsablaufs und lokal ermittelten Parametern          | * |
| Nr. 19: | VASARHELYI, B. (1975):<br>Stochastische Simulation an Straßenkreuzungen nach dem "rechts-vor-<br>links-Prinzip"                                   |   |
| Nr. 20: | BAHM, G.; LAUBERT, W. (1977):<br>Modelle zur Simulation des Betriebsablaufs von neuen Personennahver-<br>kehrssystemen                            |   |
| Nr. 21: | WIEDEMANN, R.; BRILON, W.; BRANNOLTE, U. (1977):<br>Simulation des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Landstraßen                                   |   |
| Nr. 22: | BRANNOLTE, U.; VASARHELYI, B. (1977):<br>Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf kurvigen Landstraßen  | * |
| Nr. 23: | SPARMANN, U. (1979):<br>Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Vorbeifahrtshäufigkeit auf<br>zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen              |   |
| Nr. 24: | STUCKE, G. (1979):<br>Ermittlung der Teilströme aus Querschnittsmessungen   |   |
| Nr. 25: | LEUTZBACH, W. (1981):<br>Zur Problematik der Messungen und Beobachtungen aus einem fahrenden<br>Fahrzeug  |   |
-