

Rainer Schwarzmann

**Der Einfluß von
Nutzerinformationssystemen
auf die Verkehrsnachfrage**

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



Schriftenreihe Heft 54/95 ISSN 0341-5503

© 1995 Institut für Verkehrswesen
Universität Karlsruhe (TH)

ISSN 0341 - 5503

Alle Rechte vorbehalten

Herausgeber und Vertrieb:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller

Institut für Verkehrswesen

Universität Karlsruhe (TH)

Kaiserstrasse 12, Postfach 6980

D-76128 Karlsruhe

Telefon: (0721) 608-2251

Telefax: (0721) 60 74 52

Kurzfassung

Schwarzmann, Rainer

Der Einfluß von Nutzerinformationssystemen auf die Verkehrsnachfrage

126 Seiten, 42 Abbildungen, 20 Tabellen, Literaturverzeichnis

Die Entwicklungen auf dem Gebiet 'Telematik im Verkehrswesen', insbesondere getragen durch die europäischen Forschungsprogramme "PROMETHEUS" und "DRIVE" eröffnen der Verkehrsplanung völlig neue Möglichkeiten zur Entwicklung von Maßnahmen. Insbesondere durch den gezielten Einsatz von Information für die Nutzer der verschiedenen Verkehrsträger erscheint es möglich, direkt auf die Verkehrsnachfrage einzuwirken. Solche Information ist in einer Vielzahl von Systemkonfigurationen möglich, z.B. durch fahrzeuginterne Systeme, Haltestellen-Informationssysteme oder auch computer-gestützte "In-Home"-Informationssysteme. Die Telematik ermöglicht dabei eine dynamische Erfassung und kontinuierliche Weitergabe und damit eine neue Qualität der Verkehrsinformation.

Vor diesem Hintergrund versuchte diese Arbeit, die für die Verkehrsplanung relevanten, aber noch ausstehenden, Erkenntnisse zur Wirkung und zur Wirksamkeit von Informationssystemen zu erarbeiten. Da empirische Erkenntnisse in ausreichendem Umfang nicht zur Verfügung stehen, wurde auf das Mittel der Modellierung zurückgegriffen.

Auf der Basis eines Modellansatzes, der im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes konzipiert worden war, wurde ein Individualverhaltensmodell entwickelt und implementiert, das Verkehrsnachfrage als Folge individueller Aktivitätsketten abbildet. In dieses Modell wurden Wahlmodelle für die Wahl der Abfahrtszeit und des Verkehrsmittels integriert, die verfügbare Information berücksichtigen. Dabei wurden das Fehlen empirischer Erkenntnisse durch den Einsatz von Regeln kompensiert, welche das Entscheidungsverhalten auf der Basis von individuellem Wissen, das durch Information beeinflusst werden kann, nachbilden.

Die getroffenen Annahmen unterstellen dabei nicht etwa eine bestimmte Wirkung von Information, sondern bilden vielmehr auch den allgemeinen Fall ohne Informationseinwirkung ab. Das ermöglicht es, zum einen die Validität des Modells nachzuprüfen und zum anderen, den Informationseinfluß abzubilden, ohne daß bereits Erfahrungen mit dem Einsatz von Information vorliegen.

Die Anwendung des Modells in einem realen Planungsgebiet ermöglichte es daher, Erkenntnisse über die Wirkung von Informationen zu gewinnen, wie es z.B. in einem Feldversuch gar nicht möglich gewesen wäre. Simulativ wurden im Rahmen einer Modellinstallation der Stadt Köln die Wirkung einer großflächigen Anwendung verschiedener Informationssysteme, die sich zum einen auf verschiedene Verkehrsträger (MIV bzw. ÖV) bezog und zum anderen verschiedene Zielgruppen (MIV-Nutzer, ÖV-Nutzer und alle Nachfrager) ansprach. Die Modellierung ermöglichte es dabei auch, verschiedene Systemansätze in ihren Wechselwirkungen zu untersuchen.

Die Ergebnisse dieser Pilotanwendung, die vor allem modale und zeitliche Wirkungen (Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl) untersuchte, zeigen in der Aggregation zu globalen Wirkungen interessante Sachverhalte, die wichtige Anhaltspunkte für den Einsatz solcher Systeme liefern.

Summary

Schwarzmann, Rainer

The influence of user information systems on transport demand

126 pages, 42 figures, 20 tables, bibliography

Recent developments in the field of advanced transport telematics, promoted especially by the European research programmes "PROMETHEUS" and "DRIVE", offer entirely new opportunities for the design of measures in transport planning. The utilisation of informatica for users of different transport modes promises to enable planners to influence transport demand directly. Such information can be made available in many system configurations, for example by in-car driver systems, systems at public transport stops or by computer-aided in-home trip planning systems. Telematics offer a new quality of traffic information by dynamic detection and continuous presentation to transport users.

Beyond this background it was tried to work out some insights about effect and power of user information in transport that are still lacking but nevertheless relevant for the employment of user information systems. Since adequate empirical knowledge is not yet available, modelling was used.

Based on an approach that was developed within a European research project, a model was developed and implemented which represents transport demand as a result of individual activity chains. Choice models for departure time and transport mode, that take into account available information, were integrated. The use of rules, based on individual's knowledge under the influence of information, compensates the lack of empirical knowledge.

The assumptions that were made do not include a specific impact of information but represent the common case without the use of information. On the one hand this fact enables the testing of validity of the model and on the other hand it provides the means for the representation of information influence without practical experience in the use of information.

The application of the model in a real planning area therefore provided findings about the effect of information that would not be possible even in a field trial. Within the framework of the model's pilot installation in the city of Cologne the impacts of large scale applications of different user information systems were investigated by simulation. These systems refer to different transport modes (individual motor traffic and Public Transport) and different target groups (car drivers, Public Transport passengers and all users). Thus the use of modelling enabled also the studying of interdependencies between different system approaches.

The results of this pilot study deal mainly with modal and temporal effects (mode and departure time choice). Their aggregation to general impacts offers interesting insights and provides some important aspects for the employment of user information systems in transportation.

Résumé

Schwarzmann, Rainer

L'impact des systèmes d'information aux usagers sur la demande de transport

126 pages, 42 illustrations, 20 tableaux, bibliographie

Les développements sur le secteur de la télématique dans le domaine des transports, en particulier promu par les programmes de recherche européens PROMETHEUS et DRIVE, offrent des possibilités complètement nouvelles pour le développement des mesures de la planification de transport. En particulier, il semblerait possible d'influencer directement sur la demande de transport par la distribution ciblée d'informations pour les utilisateurs des différents modes de transport. La distribution de telles informations pourrait se faire par beaucoup de configurations des systèmes, comme p. ex. par des systèmes intra-vehicules, par des systèmes d'information aux arrêts ou par des systèmes d'information électroniques installés à la maison. La télématique permet une détection dynamique et une transmission continue et ainsi une qualité nouvelle des informations de transport.

Cette étude essaye de trouver des résultats sur les effets et l'efficacité des systèmes d'information, qui - bien qu'important - ne sont pas encore connus dans la planification de transport. Etant donné, qu'on ne dispose pas de données empiriques suffisantes, on a recours au moyen de la modélisation.

A partir d'une approche de modélisation conçue dans le cadre d'un projet de recherche européen, un modèle de comportement individuel a été développé, dans lequel la demande de transport est le résultat des chaînes d'activités individuelles. Dans ce modèle des modèles de choix du mode de transport et du temps de départ sont intégrées, qui prennent en compte les informations disponibles. A défaut de données empiriques on emploie des règles représentant le comportement de décision basées sur les connaissances individuelles influençable par des informations.

Les suppositions faites ne sont pas basées des effets défini, mais elles représentent surtout le cas général sans être influencé d'informations. Cela permet d'une part de contrôler la validité du modèle et, d'autre part, de représenter l'influence d'informations sans disposer d'expériences avec l'emploi d'informations.

L'application du modèle dans un périmètre de planification réel a permis de gagner des résultats sur l'effet d'informations, comme il n'avait pas été possible avec un essai in situ. Dans le cadre d'installation d'un modèle pour la ville de Cologne on a examiné les effets d'application des systèmes d'information, qui concernent les différents modes de transports et s'adressent aux différents groupes d'usagers. La modélisation a également permis d'examiner les différents approches des systèmes dans leurs effets réciproques.

Les résultats de cette application pilote, qui a surtout examiné les effets modaux et temporels, montrent dans l'aggrégation globale des effets intéressantes, qui fournissent des indices importants de l'emploi des systèmes d'information.

Der Einfluß von Nutzerinformationssystemen auf die Verkehrsnachfrage

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

DOKTOR-INGENIEURS

genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Ing. Rainer Schwarzmann
aus Ladenburg

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Mai 1995

Referent: Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller
Ordinarius für Verkehrswesen

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Werner Köhl
Ordinarius für Städtebau und Landesplanung

Karlsruhe 1995

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe. Ich hatte das Glück, daß sich die Fragestellung der Arbeit aus meiner Projektstätigkeit ableitete. Dabei ergab sich für mich der Luxus der Gewißheit, ein Thema zu bearbeiten, das zum einen praktische Relevanz besitzt und zum anderen helfen kann, eine Kenntnislücke zu schließen, die die bisherige Arbeit offen ließ. Ich möchte hier meine Hoffnung zum Ausdruck bringen, daß es mir gelungen sein möge, dem ein wenig abzuhelpfen und vor allem die Planungspraxis zu unterstützen.

Das vielleicht wichtigste, was ich in meiner Zeit am Institut lernen konnte, war, daß die Praxis die Fragen aufwirft und sich die (Ingenieur-)Wissenschaft vornehmlich der Beantwortung dieser Fragen annehmen muß. Daß ich das lernen durfte, war in erster Linie der Verdienst von Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Leutzbach, der mir das Vertrauen entgegenbrachte, mich als wissenschaftlichen Mitarbeiter an sein Institut zu holen. Deshalb und auch weil er mich mit meinen Aufgaben "ins kalte Wasser warf", was zwar schmerzhaft, aber lehrreich und interessant war, gebührt ihm hier Dank.

Mein besonderer Dank gilt natürlich meinem Referenten Herrn Prof. Dr.-Ing. Zunkeller, der mir als Nachfolger von Herrn Prof. Leutzbach genauso viel Vertrauen entgegenbrachte und mir in allen Phasen der Arbeit alle Arten von Unterstützung gewährte und gleichsam Katalysator dieser Arbeit war. Herrn Prof.-Dr.-Ing. Köhl danke ich für die Übernahme des Korreferats und die Vielzahl seiner Anregungen, die für das Gelingen der Arbeit von besonderer Bedeutung waren.

Im Verlauf der langen Vorgeschichte dieser Arbeit gab es eine große Zahl von Personen, die in der einen oder anderen Weise, wissentlich oder unwissentlich, zu ihrer Entstehung beigetragen haben. Es wäre ungerecht, den einen oder anderen zu erwähnen, ohne alle zu nennen, was schlechterdings unmöglich erscheint. Stellvertretend für all jene möchte ich an dieser Stelle meinen Kollegen und Kolleginnen am Institut danken für die Diskussionen, die Anregungen, die Atmosphäre, die Anerkennung und die Motivation. Besonders zu Dank verpflichtet bin ich den Herren Schäfer und Thinner, die für den Rechnerbetrieb sorgten.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Frau Jutta und meinem Sohn Simon danken. Ihr Beitrag war vielleicht der wichtigste. Ohne die Unterstützung meiner Frau wäre diese Arbeit nicht entstanden. Mein Sohn mußte oft den Verzicht auf Geduld und Gute-Nacht-Geschichten und das Ertragen gereizter Stimmungen beisteuern.

Deshalb und weil es der tiefere Sinn unseres Bemühens ist, einen Beitrag zur Sicherung der Zukunft zu leisten, widme ich ihm, stellvertretend für alle Kinder, diese Arbeit.

Karlsruhe, im August 1995

Rainer Schwarzmann

Im Text verwendete Abkürzungen

ARI:	Verkehrsfunkdurchsagekennung im Rundfunk
ATT:	Advanced Transport Telematics
BEVEI:	'Bessere Verkehrsinformation', EU-Projekt in Nordrhein-Westfalen
BTX:	Bildschirmtext, ältere Bezeichnung für → DATEX/J
DATEX-J:	Computergestützter On-Line-Datenservice der Deutschen Telekom AG (über Telefonnetz)
DRIVE:	Dedicated Road Infrastructure and Vehicle safety in Europe, Forschungsprogramm der EU (Phase I :1989-1991, Phase II: 1992-94)
EDV:	Elektronische Datenverarbeitung
EUROTOPP:	European Transport Planning Process, EU-DRIVE-Projekt (1989-91) und Bezeichnung des Ausgangsmodells
GPS:	Geographic Positioning System (Satelliten-gestütztes Ortungssystem)
INFO:	Informationssystem ÖV in Köln
IRTE:	Integrated Road Transport Environment
KFZ:	Kraftfahrzeug
KONTIV:	Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten, bundesweite Haushaltsbefragung
KVB:	Kölner Verkehrsbetriebe
MIV:	Motorisierter Individualverkehr
NIS:	Nutzer-Informationssystem
ÖV:	Öffentlicher Verkehr
PKW:	Personenkraftwagen
PLS:	Parkleitsystem der Stadt Köln
PROMETHEUS:	Program for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety, Europäisches Forschungsprogramm
PVT:	Programm Verkehrstechnik der Stadt Köln
P&R:	Park and Ride
RBL:	Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (im Öffentlichen Verkehr)
RDS:	Radiodatensystem
SCOPE:	Application of Advanced Transport Telematics in Southampton, Cologne and Pireus, EU-DRIVE-Projekt 1992-95
SIS:	Strategisches Informationssystem
STOPWATCH:	Teilprojekt von SCOPE, die Einrichtung von dynamischen Haltestelleninformationssystemen in Southampton
STORM:	EU-Projekt zum Verkehrsmangement im Raum Stuttgart
TMC:	Traffic-Message-Channel
VLS:	Verkehrsleitsystem MIV
VZ:	Volkszählung

Inhalt

1 Einleitung	7
1.1 Umfeld	7
1.2 Motivation und Zielsetzung	11
2 Nutzerinformationssysteme im Verkehr	15
2.1 Begriffsbestimmung	15
2.2 Klassifizierung	16
2.2.1 Zielgruppe	16
2.2.2 Bezugssystem	17
2.2.3 Status	18
2.2.4 Charakter	19
2.3 Optionen von Nutzerinformationssystemen	21
2.3.1 Zielgruppe MIV-Nutzer	21
2.3.1.1 Verkehrsinformationsdienste	21
2.3.1.2 Wechselverkehrszeichenanlagen	23
2.3.1.3 Fahrzeuginterne Routenführungssysteme	24
2.3.2 ÖV-Nutzer	25
2.3.2.1 Haltestelleninformation	25
2.3.2.1 Fahrzeuginterne Informationssysteme	26
2.3.3 Zielgruppe 'alle Verkehrsnachfrager'	26
2.4 Verkehrsmanagementsysteme als Umgebung für Nutzerinformationssysteme	29
3 Konzept zur Abbildung des Verkehrsnachfrageverhaltens	33
3.1 Verkehrsnachfrage im Haushalts-, Personen- und Wegekontext	33
3.1.1 Kollektive Verkehrsvorgänge als Resultat individuellen Verhaltens	33
3.1.2 Personen als Träger des Verkehrsverhaltens	38
3.1.3 Der Haushalt als Basis	42
3.1.3 Die Wegekette als Modellgröße	46
3.2 Wege als Resultat von Nutzerentscheidungen	47
3.3 Handlungsspielräume von Verkehrsnachfragern	48
3.3.1 Disponibilität von Wegen	49
3.3.2 Räumliche Festlegungen	49
3.3.3 Zeitliche Restriktionen	50
3.3.4 Modale Restriktionen	50
3.4 Abbildung des Informationsverarbeitungsprozesses beim Verkehrsnachfrager	51
3.4.1 Routinen und Erfahrungen	51
3.4.1.1 Routinen	51
3.4.1.2 Erfahrungen	53
3.4.1.3 Trägheit und Perzeption	53
3.4.2 Kenntnisse und Information	57
3.4.3 Modell des Informationsverarbeitungsprozesses	58
3.4.4 Wirkungspotentiale	62
3.4.4.1 Potentialbetrachtung	62
3.4.4.2 Informationen vor Wegetritt	65
3.4.4.3 Zielgruppenspezifische Information während der Fahrt	66
3.4.4.4 Zusammenfassende Betrachtung	68
4 Modellierung der Verkehrsnachfrage unter dem Einfluß von Information	69
4.1 Modellansatz	69
4.1.1 Raumaggregat-Modelle	69
4.1.2 Individualverhaltensmodelle als Wegemodelle	70
4.1.3 Individualverhaltensmodelle als Wegekettensmodelle	72

4.2	Konzept des EUROSCOPE-Modells	73
4.2.1	Soziodemographische Parameter der Verkehrsnachfrage	74
4.2.2	Modellaufbau	74
4.2.3	Die Populationsstichprobe	75
4.2.3.2	Eingangsdaten	77
4.2.3.3	Generierung der Stichprobe	78
4.2.4	Die Langfristsimulation	79
4.2.5	Die Mittelfristsimulation	80
4.2.5.1	Modellgegenstand	80
4.2.5.2	Ein-/Ausgabe-Struktur	81
4.2.5.3	Methodik	82
4.2.6	Die Kurzfristsimulation	83
4.2.6.1	Ansatz	83
4.2.6.2	Ein-/Ausgabe-Struktur	84
4.3	Modellierung der Wegeentscheidungen	86
4.3.1	Aufbau	86
4.3.2	Die Tagessequenzprüfung	86
4.3.2.1	Zulässige Verkehrsmittelkombinationen	87
4.3.2.2	Zeitregeln	88
4.3.3	Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl	90
4.3.3.1	Ansatz	90
4.3.3.2	Abbildung der Entscheidungskriterien	93
4.3.3.3	Abbildung der Information	94
4.3.4	Erfahrungsfortschreibung	95
5	Pilotanwendung	97
5.1	Analysefall Köln	97
5.1.1	Rahmenbedingungen	97
5.1.2	Zur Situation in der Stadt Köln	99
5.2	Empirische Auswertungen	99
5.2.1	Datenbedarf	99
5.2.2	Gültigkeit ortsunspezifischer Daten	100
5.2.3	Haushaltsbefragung Köln	101
5.2.4	KONTIV '89	102
5.3	Modellvalidierung und -kalibrierung	103
5.3.1	Populationsstichprobe	104
5.3.2	Verkehrsnetze und Zellensystem	104
5.3.3	Aktivitätenketten	106
5.3.4	Zielwahl	107
5.3.5	Verkehrsmittelwahl	108
5.4	Anwendungsfälle von Nutzerinformationssystemen	109
5.5	Simulation der Anwendungsfälle	111
5.5.2	Zusammenstellung der Simulationsfälle	112
5.6	Auswertung	112
5.6.1	Verkehrsmittelwahl	113
5.6.2	Verkehrsleistung	114
5.6.3	Zeitliche Veränderungen der Verkehrsnachfrage	116
6	Zur Planungsrelevanz	119
6.1	Validität der Ergebnisse	119
6.2	Erste Ableitung von Planungsempfehlungen	120
6.3	Ausblick	121
7	Literatur und Quellen	123

1 Einleitung

1.1 Umfeld

"The road transport challenge" - der Straßenverkehr als Herausforderung, so bezeichnet die Kommission der Europäischen Gemeinschaft die Problematik im Personenverkehr in einem von ihr herausgegebenen Band¹ zum Forschungsprogramm DRIVE², das helfen soll, dieser Herausforderung zu begegnen.

Tatsächlich ist der Verkehrssektor, auch ohne die Einschränkung auf den Straßenverkehr, von überragender ökonomischer Bedeutung und, wenn man es so ausdrücken will, eine "Wachstumsbranche". Leider wachsen die spezifischen Probleme des Verkehrs mit:

- Die Verkehrsinfrastruktur ist überlastet, häufige Stauerscheinungen im Straßenverkehr und Kapazitätsengpässe im Eisenbahnverkehr ebenso wie in Luftverkehrsanlagen sind die Folge,
- Die Umweltschäden durch KFZ-Luftschadstoffemissionen, Lärmemissionen, Flächenverbrauch für Verkehrsanlagen etc. haben ein nicht mehr hinnehmbares Ausmaß erreicht, man schätzt die Schadenssumme, die allein durch den Kraftfahrzeugverkehr in Europa entsteht, auf 5 bis 10 Billionen ECU.
- Durch Unfälle entstehen enorme soziale Lasten, in der EG sterben jedes Jahr ungefähr 55 000 Menschen an den Folgen von Verkehrsunfällen, 1,7 Millionen Menschen werden verletzt und 150 000 bleiben dauerhaft behindert; die Kosten werden auf über 50 Billionen ECU geschätzt.

Diese von der Europäischen Kommission genannten Zahlen beleuchten teilweise das Ausmaß der Probleme, die die stetig anwachsende Verkehrsnachfrage im Personenverkehr, insbesondere im motorisierten Straßenverkehr, aufwirft.

Die herkömmliche Methodik zur Verbesserung der Infrastruktur, d.h. im wesentlichen Erweiterung und Ausbau des Straßennetzes zur Bereitstellung weiterer Kapazität und zur Verbesserung der Sicherheitsstandards, ist wegen der Umweltprobleme und nicht mehr zur Verfügung stehender Flächen an ihre Grenzen gestoßen.

Im Bemühen um die Verbesserung des bestehenden Verkehrssystems im Sinne einer effizienteren Nutzung der Infrastruktur und der Erhöhung der Sicherheit bei gleichzeitiger Verbesserung der Umweltverträglichkeit und der Wirtschaftlichkeit ist der Einsatz fortgeschrittener Informationstechnik ein vieldiskutierter Ansatz.

¹ R+D in Advanced Road Transport Telematics in Europe, DRIVE '91, Commission of the European Communities, DG XIII, Brüssel, 1991

² DRIVE = Dedicated Road Infrastructure and Vehicle safety in Europe

Zur Förderung solcher ATT³-Technologien und zur Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten, legte die Europäische Gemeinschaft das bereits erwähnte Forschungsprogramm DRIVE auf, dessen erste Phase (DRIVE I) von 1989 bis 1991 lief. Ziel war es, Industrie, Verwaltung und Wissenschaft zusammenzubringen, um aus verschiedensten technischen Ansätzen gemeinsam in multinationalen Projekt-Konsortien ein sogenanntes integriertes Straßenverkehrsumfeld (IRTE - Integrated Road Transport Environment) zu entwickeln, das es erlauben sollte, unter Einsatz von ATT den Straßenverkehr effizienter zu gestalten. DRIVE stand und steht dabei in engem Zusammenhang zum Programm PROMETHEUS⁴, das im Rahmen des EUREKA-Programms, vor allem von der Automobilindustrie getragen, seit 1986 neue Technologien zur Verbesserung von Kraftfahrzeugen erarbeitet.

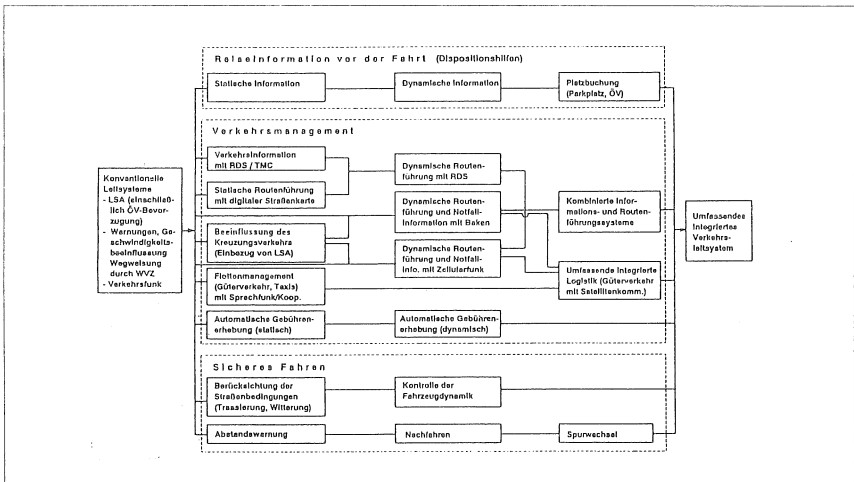


Abb. 1-1

Beispiel für den Aufbau eines integrierten Straßenverkehrsumfeldes

[Quelle: FGSV, 1993]

Aus DRIVE entstanden verschiedene Ansätze zur Schaffung von IRTE. In Abb. 1-1 ist ein Beispiel dargestellt.

Mit der Konzeption von IRTE im urbanen Personenverkehr ergab sich die Notwendigkeit für eine Schätzung der Wirkungen. Deshalb wurden Projekte im DRIVE-Programm initiiert, die sich mit der Entwicklung von Instrumenten zur Abbildung der Wirkungen von ATT-Maßnahmen befassen sollten.

³ Advanced Transport Telematics, Telematik ist ein Kunstwort aus Telekommunikation u. Informatik

⁴ Program for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety

Darunter war das EUROTOPP-Projekt, das die Aufgabe hatte, eine entsprechende Konzeption für ein

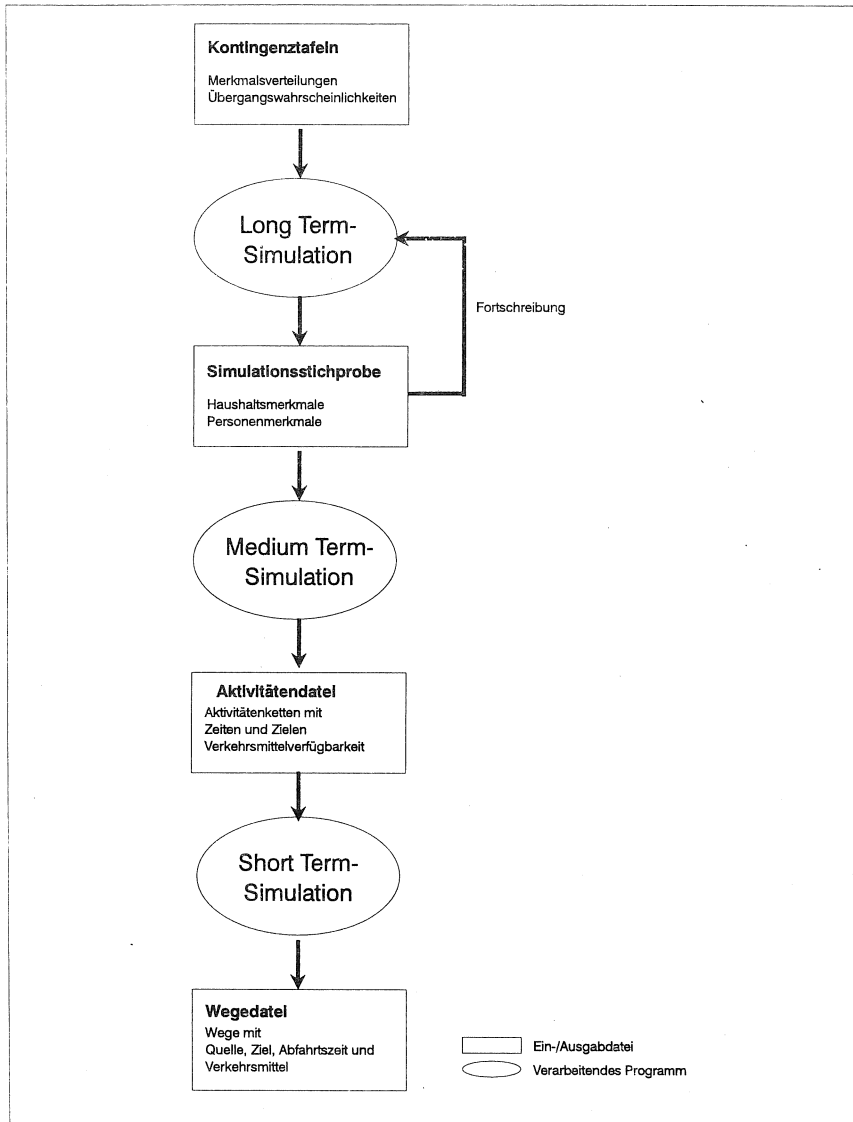


Abb. 1-2
Der grundsätzliche Aufbau des EUROTOPP-Modells

Verkehrsnachfragemodell zu entwickeln und in einen Modellprototypen (siehe Abbildung 1-2) umzusetzen⁵.

In Folge des DRIVE-Forschungsprogramms wurde ein weiteres Programm von der EG aufgelegt, das unter der Bezeichnung Advanced Transport Telematics (ATT) läuft, im allgemeinen aber als DRIVE II - Programm bezeichnet wird. Im Projekt SCOPE⁶ dieses Programms, das im Laufe des Jahres 1995 abgeschlossen sein wird, sollte das EUROTOPP-Modell vor dem Hintergrund erster Feldversuche mit verschiedenen Informationssystemen (Parkleitsystem, Wechselverkehrszeichen, Haltestelleninformation) zum ersten Mal angewendet werden. Dazu erfolgte eine Weiterentwicklung des Prototypen zu einem operationalen Modell, das gleichzeitig in den Datenverbund eines Strategischen Informationssystems integriert werden sollte (siehe dazu Abschnitt 6.1.1).

Gemeinsames Ziel aller Projekte ist die Förderung der Einführung von fortgeschrittenen, d.h. in der Regel auf moderner Datenverarbeitung beruhender, Techniken im Verkehrswesen. Die Prämisse ist die Annahme, daß die oben skizzierten Probleme des Verkehrssektors erheblich gemildert werden können, wenn man diese Techniken im Rahmen von 'Verkehrsmanagementstrategien' zur Anwendung bringt. Unter der Bezeichnung 'ATT' findet sich eine Vielzahl von Anwendungen, die einerseits fahrzeugspezifisch sind, wie Abstandhaltungssysteme oder Routenführungssysteme, und andererseits infrastruktur-spezifisch, wie Wechselverkehrszeichen oder Signalsteuerungseinrichtungen, die auf der Basis 'Künstlicher Intelligenz' arbeiten. Gemeinsames Merkmal aller ATT-Anwendungen ist die Schaffung von integrierten Datenverbänden, die Daten von Verkehrsdetektoren und Steuerungseinrichtungen zusammenführen und einer zentralen Verarbeitung zuführen, die ihrerseits Daten an die Nutzer der Verkehrssysteme übermitteln.

Verkehrsmanagement bedeutet also vor allem, daß die Verkehrssysteme als ganzes einer Kontrolle und Steuerung unterliegen, die es ermöglichen, die Effizienz der vorhandenen Infrastruktur zu erhöhen. Stichworte sind in diesem Zusammenhang die Erhöhung der Sicherheit und der Leistungsfähigkeit.

Die Förderung dient jedoch, aus der Sicht der Ökonomie durchaus legitim, in erster Linie der Entwicklung der Technologien zur Anwendungsreife und deren Verwertung, die letztlich die Wettbewerbsfähigkeit der Europäischen Informations- und Telekommunikationsindustrie sicherstellen soll.

Die Relevanz und Zielkonformität der Anwendung von ATT wurde zunächst unterstellt und ist aus verkehrsplanerischer Sicht teilweise noch zu hinterfragen.

⁵ Der Autor war als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe an der Konzeption beteiligt. Das Institut war einer von zwei deutschen Partnern im Projekt-Konsortium.

⁶ Application of Advanced Transport Telematics in Southampton, Cologne and Pireus
Auch hier war der Autor als Vertreter des Instituts für Verkehrswesen, das das EUROTOPP-Modell in das Projekt einbrachte, beteiligt.

1.2 Motivation und Zielsetzung

Diese Hinterfragung war in der Projektarbeit im Rahmen der DRIVE-Programme nur sehr bedingt möglich. Dessen ungeachtet weist die Anwendung von ATT aus der Sicht der Planung neue Möglichkeiten auf, die durchaus geeignet erscheinen, den Bereich der Nachfragebeeinflussung besser zu erschließen. War die Planung doch lange Zeit darauf beschränkt, das Angebot, mithin im wesentlichen die Verkehrsnetze, zu optimieren, so ergibt sich nun die Möglichkeit, direkt auf die Nachfrage einzuwirken. Ganz besonders gilt das für den Einsatz von Information, deren Wirksamkeit einzig auf der Beeinflussung von Nutzerentscheidungen beruhen kann, wenn es eine Wirksamkeit im Sinne der planerischen Intentionen gibt.

Die Untersuchung der Wirksamkeit von Information ist der Gegenstand dieser Arbeit, die die Konzeption des EUROTOPP-Modells aufgreift und auf eine, wenn man es so nennen möchte, 'ATT-Fragestellung' anwendet, wobei es insbesondere um die Erweiterung auf die planerische Dimension geht.

Ziel dieser Arbeit ist es also, die planerische Bedeutung eines Elements aus der Reihe der ATT-Anwendungen, und zwar die Nutzerinformationssysteme, zu überprüfen. Damit wird die Zielrichtung des DRIVE-Programms in gewisser Hinsicht umgekehrt. Es soll für Nutzerinformationssysteme (NIS), die ein sicherlich vielversprechendes Teilgebiet der ATT-Entwicklungen sind, der planerische Handlungsspielraum weiter ausgelotet werden, die den in Abschnitt 1.1 skizzierten Intentionen entspricht. Forschungsprogramme wie DRIVE, das nicht nur zufällig vom Generaldirektorat der Europäischen Kommission für "Telekommunikation, Informationsindustrie und Innovation" geleitet wurde und wird, haben aus der Sicht der Verkehrsplanung gewisse Defizite in der Problemanalyse und der Bewertung, die hinter der Entwicklung technischer Systeme und der Überprüfung der Machbarkeit zurückblieben (vgl. dazu auch Boltze [1992]).

Die Planung benutzt üblicherweise einen klassischen Ansatz zur Lösung von Problemen, wie er in Abbildung 1-2 dargestellt ist.

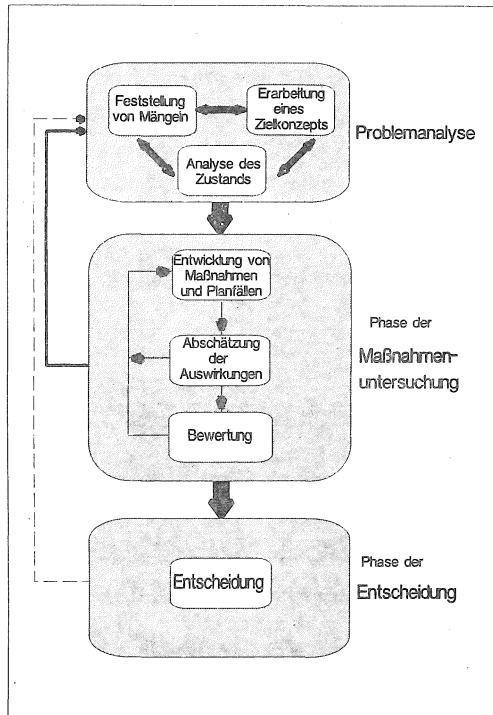


Abb. 1-3
Planungssystematik

Im Hinblick auf diese Systematik erscheint die Frage nach dem effizientesten Einsatz von NIS unvollständig beantwortet. Das bloße Aufgreifen technischer Möglichkeiten muß aus planerischer Sicht unbefriedigend bleiben, wenn ihr Einsatz nicht auf einer gründlichen Analyse ihrer Wirkungsmechanismen beruht.

Ein bemerkenswerter Aspekt ist der bisherige Schwerpunkt der technischen Entwicklung, die in erster Linie auf die Nutzer motorisierter Verkehrsmittel zielt. Hier wurden und werden in erster Linie Anwendungen mit starkem Verkehrsmittelbezug, also z.B. für Kraftfahrer oder für ÖV-Fahrgäste, vorgebracht. Das ist plausibel aus der Sicht der Entwickler, für die die Vermarktung von Endgeräten eine große Bedeutung hat und die hier klar definierte Zielgruppen ansprechen können. Dabei ist es naturgemäß entscheidend, wie stark die potentiellen Abnehmer solcher Systeme individuelle Vorteile realisieren können.

Hier zeigt sich bei erster kritischer Betrachtung bereits ein planerisches Defizit: bei verkehrsmittelspezifischen Informationsangeboten bleibt ein intermodaler Effekt weitgehend ausgeschlossen und die wichtige planerische Zielvorgabe der Verlagerung von Verkehrsnachfrage vom motorisierten Individualverkehr auf die Verkehrsmittel des Umweltverbundes außer acht. Dies mag beleuchten, daß bei der Frage der Anwendung von ATT-Systemen durchaus planerische Defizite bestehen, zu deren Abbau die Arbeit beitragen will.

Die Arbeit konzentriert sich dabei auf Nutzerinformationssysteme. Das geschieht zum einen aus Gründen der Eingrenzung der Thematik, die bei einer Behandlung des ganzen Feldes der ATT-Systeme und deren Einsatz nicht mehr überschaubar wäre wegen der Vielzahl von berührten Gebieten des Verkehrswesens. Zum anderen erscheint der Einsatz von Information geeignet, Wirkungen in Bezug auf die Verkehrsnachfrage und ihre Abwicklung freizusetzen, die mit herkömmlichen Planungsmaßnahmen nicht erreichbar sind und die den Problemen des Personenverkehrs im besonderen Maße angemessen sind.

Es soll dazu zunächst eine Analyse der Rolle der Information bei der Gestaltung der Verkehrsnachfrage erfolgen. Auf diesem Wege sollen die grundsätzlichen Wirkungspotentiale von Informationsangeboten untersucht werden. Vor diesem Hintergrund werden dann verschiedene Nutzerinformationssysteme und deren Anwendungen betrachtet, um festzustellen, in welchem Maße sie diesen Potentialen gerecht werden.

Dabei gilt es, aus dieser Analyse qualitative und, soweit es der derzeitige Kenntnisstand und die Möglichkeiten zur Modellierung erlauben, quantitative Erkenntnisse über den Einfluß von Nutzerinformationssystemen auf die Verkehrsnachfrage zu gewinnen und entsprechend dieser Erkenntnisse planerische Anhaltspunkte für den Einsatz von Nutzerinformationssystemen zu finden.

Dazu ist es notwendig, die Entstehung von Verkehrsnachfrage sehr grundsätzlich zu betrachten und ein Konzept zur Abbildung von Verkehrsnachfrage aufzuzeigen, das den gesamten Kontext der Entscheidungen von Verkehrsnachfragern, die hier als Nutzer bezeichnet werden sollen, beinhaltet, soweit er für die Wirksamkeit von planerischen Eingriffen bedeutsam erscheint. Diese Betrachtung mündet in eine Operationalisierung in Form eines Nachfragemodells, das in der Lage sein sollte, den Einfluß von Information im Rahmen eines realen Anwendungsfalles abzubilden.

Die Modellierung ist das wesentliche Element zur Umsetzung des oben genannten Zieles, nicht zuletzt, weil es an empirischen Erkenntnissen mangelt. Dabei wird auf den Prototyp des EUROTOPP-Modells zurückgegriffen. Dieser Prototyp wurde für das SCOPE-Projekt in der Stadt Köln zur Anwendungsreife weiterentwickelt und für das Untersuchungsgebiet 'Köln' validiert und kalibriert. Damit bieten sich denkbar günstige Voraussetzungen zur Umsetzung des Zieles.

Da das entstandene Modell auf dem EUROTOPP-Modell und der Anwendung im SCOPE-Projekt basiert, erhielt es den Namen *EUROSCOPE*.

2 Nutzerinformationssysteme im Verkehr

2.1 Begriffsbestimmung

Der Begriff Nutzer-Informationssystem ist keine eingeführte Bezeichnung. Er soll hier als Oberbegriff verstanden werden für Systeme, die der automatisierten Information von Nutzern (Verkehrsnachfragern) im Personenverkehr dienen. Üblicherweise sind solche Systeme unter Begriffen wie Verkehrsleitsysteme, Verkehrsbeeinflussungssysteme, Fahrgastinformationssysteme usw. bekannt. Der Zusatz 'Nutzer' dient vor allem der Abgrenzung gegenüber dem in der Datenverarbeitung gebräuchlichen Begriff Informationssystem, der eine einheitliche Datenhaltung und -zuordnung zu bestimmten thematischen Bereichen (z.B. geographische Informationssysteme) kennzeichnet. Zur Verdeutlichung des Begriffes Informationssystem ist auch auf die Elemente "Information" und "System" einzugehen.

Information wird im ursprünglichen Wortsinn (griech.: Information = Bildung, Belehrung) verwendet. Es soll genügen, daß hier im weitesten Sinne Kenntnisse über Sachverhalte in Verkehrsnetzen vermittelt werden.

Der Begriff System ist dagegen weniger eindeutig, da er in vielen Bereichen (z.B. auch "Verkehrssystem") als Umschreibung für fast beliebige Realitätsausschnitte gebraucht wird. Im vorliegenden Fall haben wir es jedoch mit technischen Systemen zu tun, wo die Definition des Systembegriffs leicht fällt. Technische Systeme sind "Zusammenfügungen unterschiedlicher Bauelemente, die aufgrund der Eigenschaften ihrer Bestandteile ein bestimmtes Verhalten zeigen und bei (...) Eingabe von (gleichen) Signalen u.a. mit einer Reaktion gleicher oder ähnlicher Art antworten" [Meyers Großes Taschenlexikon, Ausgabe 1987].

Das bedeutet für Nutzerinformationssysteme (NIS), daß sie aufgrund ihrer einzelnen Elemente für bestimmte Zustände im Verkehrssystem, die detektiert werden müssen, definierte Informationen abgeben. Zu einem NIS gehören entsprechend diverse Elemente, die in Abbildung 2-1 schematisch dargestellt sind. Nutzerinformation resultiert aus der Erfassung von Situationen, deren Analyse, wozu u.U. Prognosen über Entwicklungen notwendig sind, und deren Bewertung unter Zugrundelegung von planerischen Strategien.

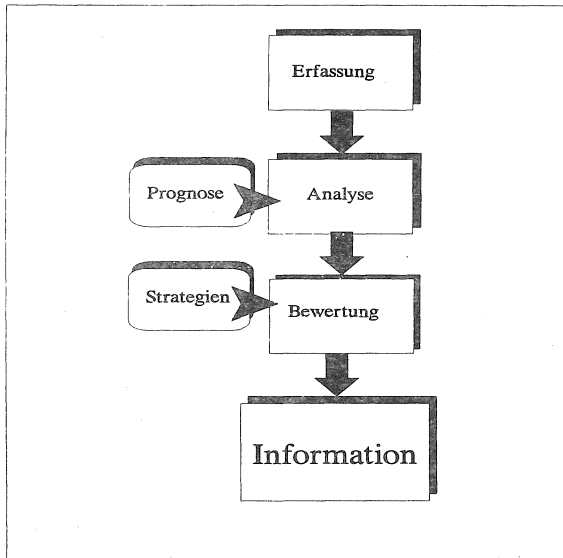


Abb. 2-1
Grundsätzlicher Aufbau eines Nutzerinformationssystems

2.2 Klassifizierung

Angesichts der Vielgestaltigkeit von NIS ist eine Klassifizierung der Systeme hilfreich. Dabei ist insbesondere auf die theoretische Wirksamkeit einzugehen, die sich aus Art und Inhalt der Information und den angesprochenen Nutzergruppen ergibt. Die im folgenden vorgeschlagene Klassifizierung unterscheidet Systeme nach den Aspekten Zielgruppe, Bezugssystem, Status und Informationscharakter.

2.2.1 Zielgruppe

Zunächst sind die angesprochenen Nutzergruppen aus planerischer Sicht zu segmentieren. Dazu soll der Begriff der Zielgruppe verwendet werden. Zielgruppen sind die Adressaten der Information, die so gestaltet ist, daß Nutzer nur unter den mit der Zielgruppe definierten Umständen aus ihr einen Gewinn ziehen können oder die nur in definierten zielgruppenspezifischen Situationen, die oft mit dem Ort des Informationsangebots verknüpft sind, zur Verfügung steht.

Als Zielgruppen lassen sich unterscheiden:

- MIV-Nutzer (PKW-Fahrer),
- ÖV-Nutzer (Fahrgäste) und
- Verkehrsnachfrager ohne Verkehrsmittelzuordnung.

Im ersten Fall, der Zielgruppe MIV-Nutzer, erfolgt die Informationsabgabe entweder im PKW oder an der Straße, das heißt sie spricht direkt den PKW-Fahrer an oder es handelt sich um Information, die nur PKW-Fahrer sinnvoll verwenden können, z.B. Empfehlungen zur Benutzung einer bestimmten Route. Die Zielgruppe ÖV-Nutzer wird dagegen entweder an ÖV-gebundenen Orten wie Haltestellen oder in ÖV-Fahrzeugen angesprochen oder aber auch durch nutzerspezifische Information wie Fahrpläne und Routenempfehlungen, die an beliebiger Stelle zur Verfügung gestellt werden können.

Im dritten Fall werden alle Verkehrsnachfrager angesprochen, das schließt die Abgabe an verkehrsmittelspezifischen Umgebungen weitgehend aus. In einigen Fällen sind die Systeme nicht eindeutig zuzuordnen, wie z.B. im herkömmlichen Verkehrsfunk. Dessen Informationsgehalt ist zwar weitgehend auf die MIV-Nutzer abgestellt, enthält in vielen Fällen aber auch Empfehlungen zur Nutzung des ÖV oder von Park-und-Ride-Einrichtungen. Darüber hinaus ist durch die Empfangsmöglichkeit über alle Radiogeräte die Informationsabgabe in allen immobilen und mobilen Räumen (z.B. Wohnung, Arbeitsplatz, Fahrzeug) möglich.

2.2.2 Bezugssystem

Von besonderer Bedeutung ist das Bezugssystem von NIS. Es soll als das Verkehrsteilsystem verstanden werden, auf das sich die Information bezieht bzw. aus dem die Information detektiert wird:

- MIV-Netz,
- ÖV-Netz oder
- verkehrsträgerübergreifend.

Werden von einem NIS Zustände in einem bestimmten Teilsystem erfaßt, so können die Informationen naturgemäß nur Kenntnisse über dieses Teilsystem vermitteln. Die Unterscheidung zur Zielgruppe ist vorzunehmen, da Informationen aus einem System nicht notwendigerweise ausschließlich von den Nutzern dieses Systems genutzt werden können. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn es sich um nicht empfehlende Information handelt, die für die Entscheidung zu einem anderen Verkehrsmittel benutzt werden kann. Das ist zum Beispiel möglich, wenn Information über Stauzustände im Straßennetz gegeben werden oder auch umgekehrt Informationen über Betriebsstörungen im ÖV.

2.2.3 Status

Der Status gibt an, ob die Zustandsdetektion und Informationsabgabe

- statisch,
- quasi-dynamisch oder
- dynamisch

erfolgt.

Statische Informationen sind *kurzfristig* unveränderlich. Es erfolgt keine systemimmanente Rückkopplung zu aktuellen Zuständen. Solche Informationen sind zum Beispiel Fahrplanangaben oder aber auch Routen im MIV und ÖV. Hier erfolgt eine Detektion des Systems in der Regel nur langfristig. Die Bezeichnung als NIS erscheint jedoch gerechtfertigt, wenn Änderungen als Eingangssignal automatisch in die Änderung der Nutzerinformation eingehen. In diesem Sinne ist eine elektronische On-Line-Fahrplanauskunft als NIS zu bezeichnen, ein gedruckter Fahrplan jedoch nicht. Analog dazu sind elektronische Routenführungssysteme (z.B. das System CARIN⁷) in Fahrzeugen NIS, auch wenn die zugrunde liegenden Netzinformationen nicht dynamisch verändert werden, während gedruckte Atlanten nicht als NIS zu bezeichnen sind.

Der Begriff quasi-dynamisch bezeichnet einen Informationsstatus, bei dem aktuelle Zustände zwar fortlaufend ermittelt werden, dies aber nicht durch das System selbst erfolgt, sondern durch die Auswertung externer Quellen (Beispiel Verkehrsfunk: Die Verkehrszustände werden ermittelt durch Polizei, Automobilclubs etc.). Hier ist im Gegensatz zu statischen und dynamischen Systemen die Aktualität, also die Gültigkeit der Information zum Zeitpunkt der Abgabe nicht gewährleistet. Der Hauptvertreter solcher Systeme ist der herkömmliche Verkehrsfunk, denkbar ist ein solches Vorgehen aber auch bei anderen Systemen, immer dann, wenn Informationen indirekt oder manuell in die Systeme eingegeben werden.

Bei dynamischer Information erfolgt eine kontinuierliche Detektion der Zustände durch das System, und die Information ist zum Zeitpunkt der Abgabe für den aktuellen Zustand gültig. Voraussetzung ist die permanente Verfügbarkeit für den Nutzer bzw. die dynamische Informationsabgabe. Ein Beispiel für ein einfaches dynamisches System ist 'Trafficmaster'⁸. Hier werden auf englischen Autobahnen an Brücken durch Infra-Rot-Sensoren mittlere Geschwindigkeit und Verkehrsdichte erfasst und an einen Zentralrechner übertragen, der die Zustandsdaten auswertet. Stauwarnungen und allgemeine Informationen (Wetter, Staugründe, Baustellen) werden dann über Funksignale im Paging-Verfahren (ähnlich dem 'City-Ruf') an Endgeräte übertragen, die diese Informationen in Displays mit einer Darstellung der Strecken anzeigen.

⁷ CARIN ist ein auf Satellitenortung (GPS) und digitalen Landkarten basierendes System der Firma PHILIPS

⁸ Trafficmaster™ ist ein britischer Anbieter von Straßeninformationen

2.2.4 Charakter

Der Charakter der Information lässt sich nach der Art und dem Umfang der Entscheidungsunterstützung in zwei möglichen Ausprägungen unterscheiden:

- beschreibend oder
- empfehlend.

Beschreibende Information beschränkt sich auf die Vermittlung von Kenntnissen über das Bezugssystem, also die Darstellung bestimmter Eigenschaften wie aktuelle Reisezeiten. Im Falle eines verkehrsträgerübergreifenden Bezugs werden die Eigenschaften verschiedener Verkehrssysteme dargestellt. Somit wirkt diese Art der Information entscheidungsunterstützend, während empfehlende Information (z.B. zur Wahl einer Route) explizit entscheidungsbeeinflussend wirkt.

Tabelle 2-1 fasst die Systematik zusammen.

Merkmal	Ausprägungen
Ziel-Gruppe:	PKW-Fahrer, Fahrgäste, Alle Nachfrager
Bezug:	MIV, ÖV, Übergreifend
Status:	statisch, quasi-dynamisch, dynamisch
Charakter:	empfehlend, beschreibend

Tabelle 2-1: Systematik von Nutzerinformationssystemen

In Tabelle 2-2 ist eine Auswahl von Nutzer-Informationssystemen genannt und kurz beschrieben.

Tabelle 2-2: Übersicht Nutzerinformationssysteme

System	Zielgruppe	Bezug	Status	Charakter	Info
Verkehrsfunk ARI	PKW-Fahrer	MIV (übergreifend)	quasi-dynamisch	beschreibend empfehlend	während der Fahrt Stauwarnung, (Route), P&R - Empfehlung
Verkehrsfunk	alle	MIV (ÖV)	quasi-dynamisch	beschreibend empfehlend	vor der Fahrt : Stauwarnung,(Route), ÖV-Störungen, ÖV-Empfehlung
RDS-TMC	PKW-Fahrer	MIV (ÖV)	dynamisch	beschreibend empfehlend	während der Fahrt: Störungswarnung, (Route), P&R - Empfehlung
Fahrzeug-Informations-Displays (Paging)	PKW-Fahrer	MIV	dynamisch	beschreibend	während der Fahrt: Störungswarnung, mit geographischer Anzeige
Wechselverkehrszeichen	PKW-Fahrer	MIV	dynamisch	empfehlend	während der Fahrt, Route
Parkleitsysteme	PKW-Fahrer	MIV (übergreifend)	statisch oder dynamisch	beschreibend empfehlend	während der Fahrt , Route, Ziel Belegung, P&R - Empfehlung
Fahrzeugautonome PKW- Routenführung	PKW-Fahrer	MIV	statisch	empfehlend	während der Fahrt, Zielführung
Zentral gesteuerte PKW-Routen- Führungssysteme	PKW-Fahrer	MIV (übergreifend)	dynamisch	beschreibend empfehlend	während der Fahrt Zielführung, Routen-Opt, Reisezeit, P&R-Empf., ÖV-Info
elektronischer Fahrplan	alle	ÖV	statisch	beschreibend empfehlend	vor der Fahrt , Route, Reisezeit
elektronische Haltestellen- Information	Fahrgäste	ÖV	statisch	beschreibend	während der Fahrt, Fahrplandaten, Route, Tarif
elektronische Haltestellen- Information mit RBL-Einsatz	Fahrgäste	ÖV	dynamisch	beschreibend	während der Fahrt, Wartezeit, Störungsmeldung, Route
elektronische Informationsanzeigen in ÖV-Fahrzeugen	Fahrgäste	ÖV	dynamisch	beschreibend empfehlend	während der Fahrt: Haltestelleninformation, Fahrzeit, Anschlüsse
Zentrales Informationssystem	alle	übergreifend	dynamisch	beschreibend empfehlend	vor der Fahrt : Routen, Ziele, Verkehrsmittel, Reisezeiten, Kosten
Fahrtplanungssystem	alle	übergreifend	dynamisch	beschreibend empfehlend	vor der Fahrt: Interaktive Planungshilfe mit Nutzerdialog (z.B. über BTX)
TV-Zustandsanzeige	alle	MIV	dynamisch	beschreibend	vor der Fahrt: Verkehrszustände an ausgewählten Knoten oder Strecken

2.3 Optionen von Nutzerinformationssystemen

Für die Einschätzung von Wirkung und Wirksamkeit von NIS ist eine nähere Untersuchung ihrer Eigenschaften unverzichtbar. Neben der Übersicht, die Tabelle 2-2 gibt, sollen hier die Systeme exemplarisch erläutert werden. Dabei sollen sowohl Systeme betrachtet werden, die bereits am Markt bzw. im Einsatz sind oder kurz vor der Einsatzreife stehen als auch Systeme, deren Konzeption auf der Kombination bekannter Elemente basiert, ohne daß sie sich in einem konkreten Planungsstadium befinden. Die Betrachtung ist nach Zielgruppen und unter den Aspekten des Informationszeitpunktes (vor oder während der Fahrt) und der Funktionalität gegliedert. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2.3.1 Zielgruppe MIV-Nutzer

Für die Zielgruppe MIV-Nutzer wurden bislang die größte Anzahl von NIS entwickelt. Das liegt aus Sicht der Anbieter von Telematik auch nahe, da sich hier für die Elektronikindustrie ein großer Markt erschließen läßt. Die Erschließung neuer Märkte und die Stärkung innovativer Industriezweige gegenüber der japanischen und der amerikanischen Industrie ist ein erklärtes Ziel der Europäischen Gemeinschaft bei der Auflage der einschlägigen Forschungsprogramme zur Förderung von Telematikanwendungen war. Die Systemansätze lassen sich in drei Gruppen untergliedern.

2.3.1.1 Verkehrsinformationsdienste

Die Übermittlung von Verkehrsinformationen hat bereits eine lange Tradition in Form des Verkehrsfunks, der meist in festen Zeitintervallen über bestimmte Programme des Hörfunks ausgestrahlt wird. Daneben steht diese Information auch über die telefonische Abfrage bereit. Die Informationen werden quasi-dynamisch erhoben und über eine Zentrale an die Informationsanbieter (Rundfunkanstalten und Telekom) abgegeben. Die Information erfolgt verbal und der Informationscharakter ist sowohl beschreibend als auch empfehlend. Die Beschreibung beschränkt sich jedoch auf die bloße Umschreibung von Zuständen (Stau, keine Parkstände in bestimmten Zielgebieten) und erfolgt nur im Falle von *Störungen*. Die Empfehlungen beinhalten in der Regel bestimmte Ausweichrouten oder Park-und-Ride-Hinweise.

Eine wesentliche Verbesserung dieses Angebotes war die Einführung einer automatischen Kennung für Verkehrsfunkdurchsagen (ARI), die es gestattet, die Durchsagen gezielt zu empfangen.

Eine Weiterentwicklung dieser Idee ist das Radiodatensystem und der Traffic-Message-Channel (RDS/TMC), mit deren Hilfe es möglich wird, umfangreiche Verkehrszustandsinformationen unhörbar an (speziell ausgerüstete) Radioempfänger zu übermitteln. Die Informationsabgabe kann hier auch alphanumerisch erfolgen und ist nicht an ein spezielles Hörfunkprogramm gebunden. Sie kann praktisch

permanent aktualisiert und auch im Empfänger gespeichert werden. Durch die Koppelung mit Detektionselementen kann die Information dynamisch erfolgen.

Wegen der Verfügbarkeit von speziell ausgerüsteten Empfängern erfolgt bei ARI und RDS-TMC die Information während der Fahrt.

Eine spezieller Verkehrsinformationsdienst ist das britische *Trafficmaster*TM-System, das bereits beschrieben worden ist und das mit einem speziellen Empfangsgerät (siehe Abbildung 2-2) die Informationen im Fahrzeug optisch anzeigt. Die Portabilität des Geräts sowie zusätzliche Steckkarten für Personal Computer ermöglichen die Informationsabgabe jedoch praktisch an allen Orten.

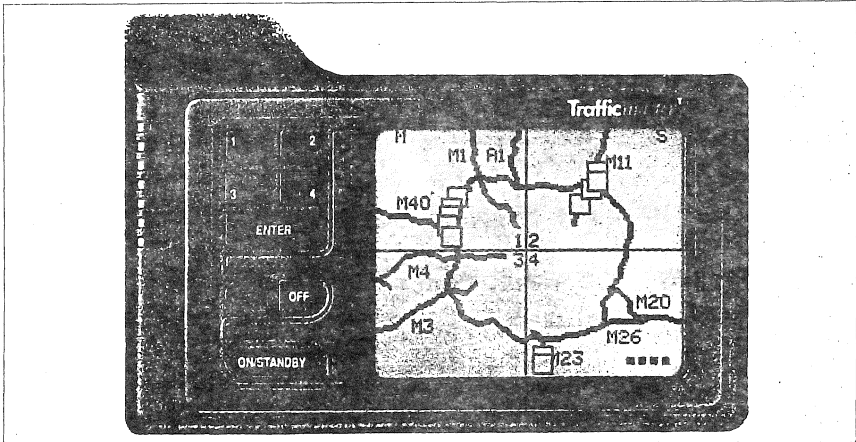


Abb. 2-2
Das Anzeigergerät des *Trafficmaster*TM-Systems

Verkehrsinformationsdienste	Abgabe		Charakter		Status		
	vor der Fahrt	während der Fahrt	empfehlend	beschreibend	statisch	quasi-dynamisch	dynamisch
Verkehrsfunk	●	●	○	●	—	●	—
Verkehrsfunk ARI	○	●	○	●	—	●	—
RDS/TMC	○	●	○	●	—	○	●
Paging-Display (<i>Trafficmaster</i>)	●	●	—	●	—	—	●

Legende: ●: ja ○: bedingt —:nein

Tab. 2-3: Eigenschaften von NIS für die Zielgruppe 'MIV-Nutzer', Verkehrsinformationsdienste

2.3.1.2 Wechselverkehrszeichenanlagen

Wechselverkehrszeichenanlagen werden ebenfalls schon seit längerer Zeit eingesetzt. Durch moderne Kommunikations- und Datenverarbeitungsmöglichkeiten erhalten sie neue Aktualität, nachdem sie bereits in den 70iger Jahren in erster Linie in Autobahnteilnetzen zur belastungsabhängigen Steuerung von Verkehrsströmen eingesetzt wurden. Sie wirken kollektiv auf die Routenwahl ein. Durch die Koppelung mit Zustandsdetektionssystemen ist es möglich, den Informationsstatus dynamisch zu gestalten und kurzfristig Umleitungen auszuschildern, wenn es auf bestimmten Streckenabschnitten zu Störungen kommt. Das Problem dabei ist die Zuordnung der Ziele. Da diese NIS kollektiv wirken, muß eine entweder eindeutige Zielzuordnung am Informationsort vorhanden sein oder ein sehr großräumiger Bezug, wie es in der Regel bei überregionalen Verkehren der Fall ist, z.B. in Autobahnnetzen. Eine eindeutige Zuordnung ist in der Regel auch bei innerstädtischem Parksuchverkehr gegeben. Parkleitsysteme sind daher *Sonderfälle* von Wechselverkehrszeichenanlagen. Hier ist in der Regel ein dynamischer Status durch die Koppelung mit Zentralrechnern, die die Parkstandsbelegung an den potentiellen Zielorten erfassen, gegeben.

Der Charakter der Information ist empfehlend, wird aber in der Regel durch beschreibende Elemente ergänzt, um den PKW-Fahrer vom Nutzen der Empfehlung zu überzeugen (z.B. Umleitung, "Stau auf der Autobahn A 8"). Bei Parkleitsystemen ist eine Kombination beider Systeme die Regel, in vielen Fällen wird lediglich die beschreibende Information (Zahl der freien Stellplätze) dynamisch gegeben, während die empfehlenden Elemente (Wegweisungspfeile) statisch zugeordnet sind.

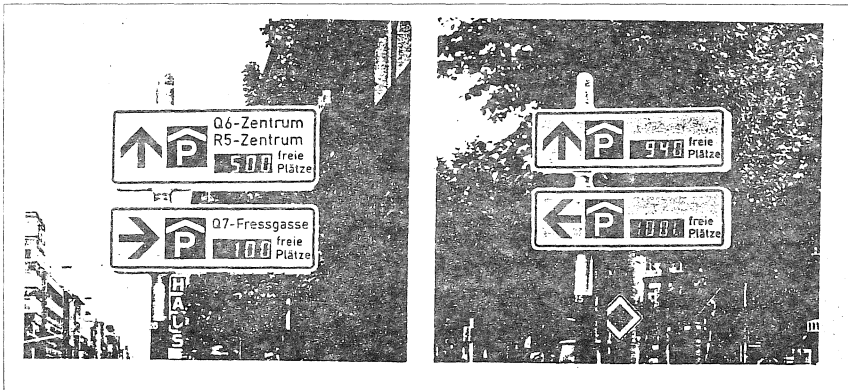


Abb. 2-3
Beispiel für die Information eines Parkleitsystems

[Quelle: Körntgen, 1993]

2.3.1.3 Fahrzeuginterne Routenführungssysteme

Die dritte Gruppe der MIV-spezifischen NIS läßt sich weiter untergliedern in fahrzeugautonome Systeme und zentral angesteuerte Systeme.

Fahrzeugautonome Systeme arbeiten prinzipiell ohne Detektion der Verkehrszustände und auf der Basis statischer Information. Dynamisch erfaßt und weitergegeben wird lediglich die aktuelle geographische Position des Fahrzeugs. Aufgrund der Position und einer gespeicherten elektronischen Straßenkarte wird der Fahrer zu einem von ihm eingegebenen Ziel geführt. Für die Ortung wird das Global Positioning System (GPS) benutzt, das auf der Nutzung von Satelliten basiert. Ein solches System ist zum Beispiel CARIN der Firma PHILIPS, das zur Serienreife entwickelt worden ist.

Erst durch die Kopplung mit anderen Systemen wie RDS-TMC wird es möglich, fahrzeugautonome Systeme mit Zustandsinformation zu versehen, und damit beschreibende Information zu übermitteln und die Routenwahl dynamisch zu beeinflussen.

Diese Eigenschaft ist zentral angesteuerten Routenwahlsystemen immanent. Sie benötigen dafür allerdings zusätzliche Infrastruktur an der Straße, die dazu dient, das Fahrzeug zu orten und die Information an das Empfangsgerät im Fahrzeug zu übermitteln. Bei einer umfassenden Detektion von Verkehrszuständen und Parkstandsbelegung wird so eine umfassende Information des Fahrers möglich. Der Charakter ist empfehlend und auch im hohen Maße beschreibend, wobei auch Informationen über Reisezeit und Kosten bis zum Ziel gegeben werden können. Auch die Leitung zu Park-und-Ride-Plätzen ist möglich, der Bezug kann also auch verkehrsträgerübergreifend gestaltet sein. Die Firma SIEMENS bietet mit dem EURO-SCOUT-System ein entsprechendes Endgerät an (siehe Abbildung 2-4).



Abb. 2-4
Das EURO-SCOUT-Endgerät

[Quelle: Informationsmaterial der Firma SIEMENS]

Fahrzeuginterne Routenführungssysteme	Abgabe		Charakter		Status		
	vor der Fahrt	während der Fahrt	empfehlend	beschreibend	statisch	quasi-dynamisch	dynamisch
Fahrzeugautonom	—	●	●	—	●	—	—
Zentral angesteuert	—	●	●	○	—	—	●

Legende: ●: ja ○: bedingt —: nein

Tab. 2-4: Eigenschaften von NIS für die Zielgruppe 'MIV-Nutzer', Fahrzeuginterne Systeme

2.3.2 ÖV-Nutzer

Im Bereich der ÖV-spezifischen NIS lassen sich zwei Gruppen nach dem Informationsort unterscheiden. Zum einen sind das Informationseinrichtungen an Haltestellen und zum anderen solche, die in Fahrzeugen des ÖV zur Verfügung stehen.

2.3.2.1 Haltestelleninformation

Neben der herkömmlichen Information an Haltestellen, die Fahrpläne wiedergibt, spielen elektronische Systeme eine immer größere Rolle. Die Einführung von rechnergestützten Betriebsleitsystemen (RBL) ermöglichen eine Detektion der aktuellen Situation im ÖV-Netz und die dynamische Information der Fahrgäste, z.B. über die Abfahrtszeiten der nächsten Linien, die dann auf der Prognose der Reisezeiten des ÖV-Fahrzeugs beruhen und die aktuelle Situation berücksichtigen. Solche Systeme sollen in erster Linie den Service für die Fahrgäste verbessern und damit eine Attraktivitätssteigerung des ÖV bewirken. Hinweise auf diesen Effekt ergaben sich auch aus einer ersten Befragung von Fahrgästen im Rahmen des SCOPE-Projektes, bei dem in Southampton eine dynamische Anzeige der Busabfahrtszeiten an Haltestellen in der Innenstadt getestet wurde ('STOPWATCH'). Der Status ist dynamisch und der Charakter beschreibend.

Daneben werden auch Fahrplanauskunftssysteme eingesetzt, die auf statischer Information in einem zentralen elektronischen Massenspeicher basieren und die es dem Fahrgast ermöglichen, die Route zu einem speziellen Ziel abzurufen, die um Tarifauskünfte ergänzt werden kann.

2.3.2.1 Fahrzeuginterne Informationssysteme

In ÖV-Fahrzeugen können ebenfalls dynamische Systeme eingesetzt werden, die in erster Linie beschreibende Information beispielsweise über die Ankunftszeiten an Haltestellen basierend auf der aktuellen Situation liefern. Zusätzlich sind beschreibende Informationen zu Anschlüssen für Umsteiger möglich. Prinzipiell unterscheiden sich solche Systeme nicht von den Haltestellensystemen, auch hier ist ein RBL Voraussetzung.

ÖV-Informationssysteme	Abgabe		Charakter		Status		
	vor der Fahrt	während der Fahrt	empfehlend	beschreibend	statisch	quasi-dynamisch	dynamisch
Haltestelleninformation (elektron. Fahrplan)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	—	—
Haltestelleninformationssysteme (RBL)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	—	—	<input checked="" type="radio"/>
Fahrzeuginterne Informationssysteme	—	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	—	—	<input checked="" type="radio"/>

Legende: : ja : bedingt —: nein

Tab. 2-5: Eigenschaften von NIS für die Zielgruppe 'ÖV-Nutzer'

2.3.3 Zielgruppe 'alle Verkehrsnachfrager'

Systeme, die sich nicht an eine spezifische Nutzergruppe richten, sondern an alle Verkehrsnachfrager, sind bislang in der Regel nur als Konzeption existent oder befinden sich im Versuchsstadium, wenn man von dem traditionellen System Verkehrsfunk absieht. Durch die Verfügbarkeit über alle Radioempfänger ist hier die Möglichkeit gegeben, sich vor der Entscheidung über das Verkehrsmittel Informationen zu beschaffen, die diese Entscheidung durchaus beeinflussen können, auch wenn der Bezug in der Regel das MIV-Netz ist. Ergänzt wird dieses Angebot unterdessen durch das Fernsehen, das am Morgen großräumige Verkehrsinformationen liefert.

Entscheidend ist der Einsatz dieser Systeme vor dem Antritt eines Weges, das bedeutet, solche Systeme müssen im Haushalt, am Arbeitsplatz oder an öffentlich zugänglichen (zentralen) Orten verfügbar sein. Erste Schritte in dieser Richtung wurden z.B. in Stuttgart im Rahmen des STORM-Projektes unternommen, wo Terminals mit verkehrsträgerübergreifender Information an bestimmten Stellen im öffentlichen Raum aufgestellt wurden. Ein weiterer Versuch wurde im Rahmen des BEVEI-Projekts in Nord-Rhein-Westfalen gemacht, wo aktuelle Informationen über Videotext angeboten wurden.

Ebenfalls in der Reihe der Systeme, die alle Verkehrsnachfrager ansprechen, ist der elektronische Fahrplan zu sehen. Hier kann der Nachfrager Routen-, Tarif- und Fahrzeuginformationen quell-ziel-bezogen abrufen. Die Deutsche Bahn AG und einige kommunale ÖV-Unternehmen bieten solche Informationsdienste über DATEX-J (früher BTX) an. Nur augenscheinlich ist dies ein Service für ÖV-Nutzer, denn die Information kann durchaus auch MIV-Nutzer ansprechen, die hier über eine Handlungsalternative informiert werden. Anzustreben ist jedoch generell ein verkehrsträgerübergreifender Bezug.

Der prinzipielle Mangel an derartigen Informationssystemen ist zum einen in dem hohen Aufwand zu sehen, der zu betreiben ist, um Daten aller Verkehrssysteme zu detektieren und da, wo dies bereits der Fall ist, diese Daten zu verknüpfen und zu verwertbaren Informationen aufzubereiten und über ein geeignetes Medium an den Nutzer weiterzuleiten. Zum anderen ist die Vermarktung solcher Informationsstrategien sehr viel schwieriger als bei den zielgruppenspezifischen Systemen, bei denen die Investitionen durch den Vertrieb von Endgeräten erlöst werden können. Es handelt sich damit primär um eine Aufgabe der Informationsanbieter wie Telekom oder Rundfunkanstalten. Man darf annehmen, daß mit zunehmendem Ausbau von Datennetzen und weiterer Entwicklung der elektronischen Medien der Verkauf von Information eine immer größere Rolle spielen wird.

Im folgenden sollen drei Konzeptionen skizziert werden, die alle Verkehrsnachfrager auch im Haushalt erreichen könnten.

TV-Zustandsanzeige

Durch die Positionierung von TV-Kameras an besonderen Verkehrsknoten⁹ oder an Hauptverkehrsstraßen und die Übertragung der Bilder über einen regionalen Fernsehkanal, z.B. in örtlichen Kabelnetzen, könnte jeder Haushalt mit aktuellen Informationen zum Zustand im MIV-Netz versorgt werden. Dieses Konzept orientiert sich an den Informationsangeboten mancher Rundfunkanstalten, die in ihren Dritten Programmen im Winter Bilder von Skigebieten übertragen und damit den Nutzer über Wintersportmöglichkeiten informieren.

Zentrales Verkehrsinformationssystem

Hier könnten auf regionaler Ebene Verkehrsdaten aller Verkehrsmittel zusammengefaßt werden und dem Nutzer z.B. über Videotext zur Verfügung gestellt werden. Dabei ist eine Vielzahl von Informationsinhalten denkbar, die vom elektronischen Fahrplan bis zur Empfehlung von Zielen für nicht ortsgebundene Aktivitäten reichen. Der entscheidende Vorteil wäre die Darstellung von allen Optionen, die es dem Nutzer erlauben, alle seine Wegentscheidungen auf der Basis von dynamischer Information zu überprüfen.

⁹ Solche Kameras sind in vielen Fällen durch ihren Einsatz in Verkehrsleitzentralen bereits vorhanden.

Fahrtplanungssystem

Eine Weiterentwicklung des zentralen Verkehrsinformationssystems ist das Fahrtplanungssystem. Es dient als entscheidungsunterstützendes *interaktives* System zur Planung von MIV- oder ÖV-Fahrten. Neben der bloßen Darstellung von Information erlaubt es ein solches System dem Nutzer, seine individuellen Wegvorgaben einzugeben. Auf der Basis aktueller Zustandsdaten kann eine vollständige Beschreibung der Handlungsoptionen gegeben werden. Das bedeutet z.B., daß ein solches System auf der Basis einer Prognose eine Reisezeitberechnung für den MIV durchführen und diese einer Berechnung der Reisezeiten im ÖV gegenüberstellen kann. Daneben können auch konkrete Tarifempfehlungen oder der Weg zur nächsten Haltestelle übermittelt werden, da Quelle und Ziel des Weges dem System bekannt gegeben wurden. Die Nutzerschnittstelle könnte über beispielsweise über DATEX-J eingerichtet werden.

Zielgruppenunspezifische Systeme	Abgabe		Charakter		Status		
	vor dem Weg	während der Fahrt	empfehlend	beschreibend	statisch	quasi-dynamisch	dynamisch
Verkehrsfunk	●	—	○	○	—	●	—
Fernsehen	●	—	○	○	—	●	—
Elektron.Fahrplan (DATEX-J, öffentl. Raum)	●	○	●	●	●	—	—
Öffentliche Terminals an Zentral-Rechner	●	○	●	●	—	—	●
TV- Zustandsanzeige*	●	—	—	●	—	—	●
Zentrales Verkehrsinformationssystem*	●	—	○	●	—	—	●
Fahrtplanungssystem*	●	—	●	●	—	○	●

Legende: ●: ja ○:bedingt —:nein *: Konzeption

Tab. 2-6: Eigenschaften von NIS für die Zielgruppe 'alle Nachfrager'

2.4 Verkehrsmanagementsysteme als Umgebung für Nutzerinformationssysteme

Die Möglichkeit zur Schaffung integrierter verkehrsmittelübergreifender NIS, die Daten aus allen Verkehrsteilsystemen verarbeiten und in dynamische Informationen umsetzen, ist in hohem Maße von der ausreichenden Detektion solcher Zustandsdaten und der Verfügbarkeit von zentralen Rechneranlagen abhängig. Diese Voraussetzungen werden zum großen Teil durch die Installation von Verkehrsmanagementsystemen erfüllt, wie sie in vielen großen Städten bereits begonnen wurde.

Ein Beispiel ist die Konzeption der Stadt Köln in ihrem Programm Verkehrstechnik 2000 (PVT 2000), das hier stellvertretend für solche Ansätze in den Abbildungen 2-5 und 2-6 skizziert werden soll. Eine Vielzahl von Projekten unter dem Europäischen DRIVE/ATT-Programm widmet sich dezidiert der Einführung des Integrierten Verkehrsmanagements (eine Zusammenstellung findet sich z.B. bei Keller [1994]).

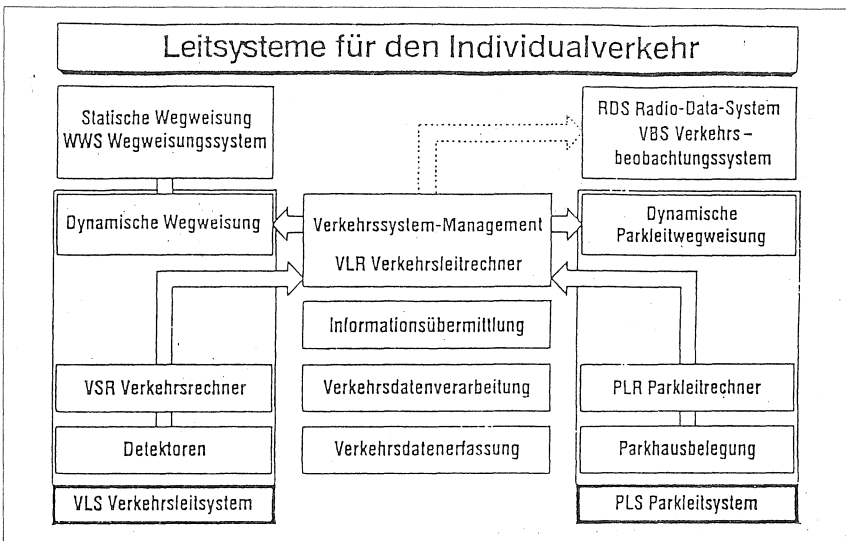


Abb. 2-5
Verkehrsmanagement-Konzeption der Stadt Köln - Teil MIV

[Quelle: Stadtverwaltung Köln]

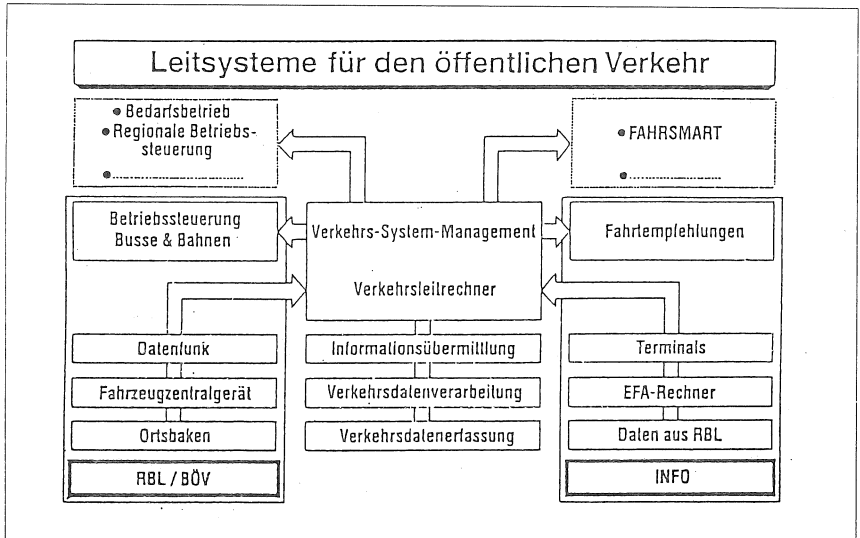


Abb. 2-6
Verkehrsmanagement-Konzeption der Stadt Köln - Teil ÖV

[Quelle: Stadtverwaltung Köln]

Die Zusammenführung der Konzeptionen für MIV und ÖV würde die Voraussetzung für ein integriertes Informationssystem schaffen. Abbildung 2-7 deutet einen derartigen Verbund an.

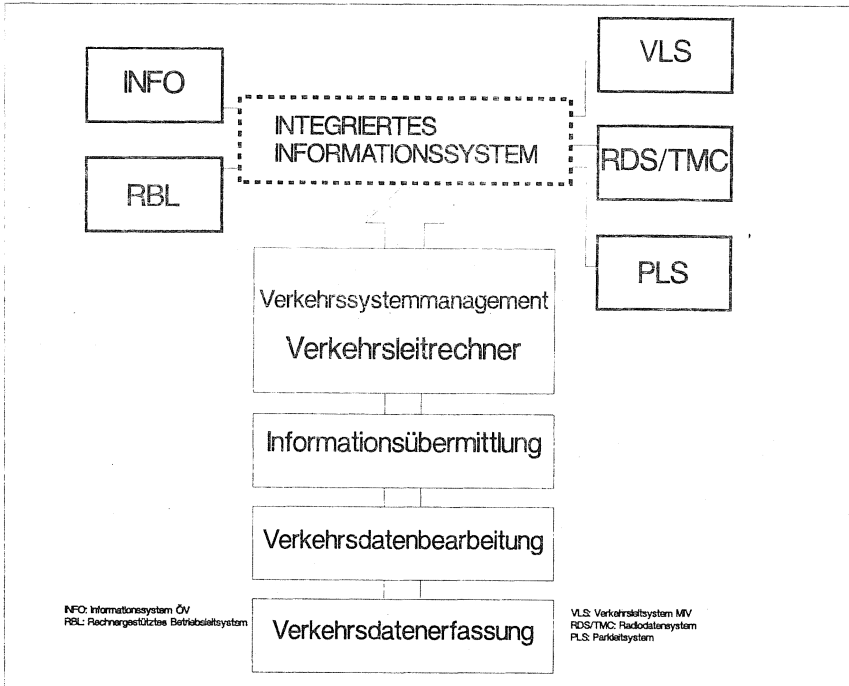


Abb. 2-7
Zusammenführung der Elemente für den MIV und den ÖV zu einem integrierten Informationssystem

3 Konzept zur Abbildung des Verkehrsnachfrageverhaltens

3.1 Verkehrsnachfrage im Haushalts-, Personen- und Wegekontext

Sind Veränderungen der Verkehrsnachfrage Ziel planerischen Handelns, so ist die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen dem Verhalten der Verkehrsnachfrager und der planerischen Maßnahme unerlässlich. Zunkeller [1989;1] beschreibt diesen Sachverhalt sehr treffend: "Die Offenlegung des Zusammenhangs zwischen einer gegebenen oder zu planenden Sachausstattung und dem resultierenden Nutzerverhalten ist eine der zentralen Fragestellungen der Planung."

Das folgt aus der Aufgabe der Verkehrsplanung, Maßnahmen nicht nur inhaltlich auszugestalten, sondern vor der Realisierung einer Maßnahme möglichst treffsicher und umfassend die Auswirkungen dieser Maßnahme abzuschätzen. Das Verhalten der Nutzer vollzieht sich dabei nicht ausschließlich vor dem Hintergrund einer Maßnahme, deren Wirkungsbereich in der Regel nur einen kleinen Ausschnitt der Umwelt umfaßt, die das Verhalten von Personen bestimmt. Das geschieht vielmehr auf der Basis eines komplexen Musters von situativen Gegebenheiten, individuellen Handlungsspielräumen und interpersonellen Verknüpfungen, welche man im weitesten Sinne als Verhaltenskontext bezeichnen kann.

Eine vollständige Erfassung des Kontextes im Sinne einer totalen Durchdringung aller Umstände, die menschliches Verhalten beeinflussen, erscheint nicht möglich. Für eine wirklichkeitstgetreue Abbildung der Reaktion auf Maßnahmen ist es jedoch unabdingbar, zumindest jenen Ausschnitt des Kontextes zu erfassen, der für das Verkehrsverhalten maßgebend erscheint.

3.1.1 Kollektive Verkehrsvorgänge als Resultat individuellen Verhaltens

Verkehrsnachfrage manifestiert sich in einem physikalisch erfassbaren Phänomen, das man umgangssprachlich sehr allgemein mit Verkehr bezeichnet. Dieses Phänomen läßt sich quantifizieren ("viel Verkehr" - "wenig Verkehr") und in Maßeinheiten darstellen (z.B. Personenkilometer). Die Quantitäten von Verkehr ergeben sich dabei je nach Betrachtungsweise des Phänomens sehr unterschiedlich. Beobachtet man z.B. Verkehr an einem Ort als Verkehrsstrom, so ergibt sich die Menge üblicherweise aus der Zahl der sich vorbeibewegenden Fahrzeuge. Man kann hier jedoch aufzeigen, daß auch "mehr Verkehr" oder "weniger Verkehr" nicht eindeutig interpretierbar ist.

Mißt man die Zahl der Fahrzeuge, die einen Straßenquerschnitt in einem gegebenen Zeitintervall passieren, zu zwei verschiedenen Zeitpunkten und ergibt sich zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt eine Zunahme der Anzahl, ist mehr Verkehr zu beobachten.

Würde man dagegen die Zahl der Personen in den Fahrzeugen messen, so ergäbe sich möglicherweise, daß am zweiten Datum weniger Personen den Querschnitt passiert haben, wenn nämlich der Besetzungs-

grad der Fahrzeuge niedriger wäre. Damit ließe sich postulieren, daß der Verkehr abgenommen hat¹⁰. Der beobachtbare Verkehr an diesem imaginären Meßquerschnitt ist also eine durchaus interpretierbare Größe. Solange die Verkehrsplanung die Dimensionierung von Verkehrsnetzen zum vorrangigen Ziel hatte, war die Zahl an Fahrzeugen, die die Netze benutzen würden, als Größe "Verkehr" höchst tauglich und die ausschließlich naturwissenschaftliche Betrachtungsweise von Verkehrsvorgängen erschien adäquat. Angesichts differenzierterer Fragestellungen und gewandelter Zielvorstellungen mußte sich die Sicht auf das Phänomen Verkehr in starkem Maße wandeln.

Verkehr ist ein Aggregat, das sich einstellt, wenn Ortsveränderungen von Individuen sich kollektiv überlagern. Das ließe sich bei nicht ausschließlich quantitativer Messung ebenfalls an dem fiktiven Meßquerschnitt, wenn auch mit größerem Aufwand, beobachten. Würde man alle Fahrzeuge anhalten und ihre Insassen befragen, so könnten diese in jedem Fall angeben, woher sie bei diesem Weg kommen und wohin sie fahren und zu welchem Zweck sie unterwegs sind. Betrachtet über alle Befragten, ergäbe sich ein komplexes Muster an Quellen und Zielen und Fahrtzwecken, bei dem sich das einzelne Fahrzeug nur als das Ergebnis einer Kette von Auswahlentscheidungen seiner Insassen in diesem Strom befindet.

¹⁰ Tatsächlich wird man mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Zunahme beider Größen feststellen, da die Zunahme an Fahrzeugen die Abnahme des Besetzungsgrades übertrifft.

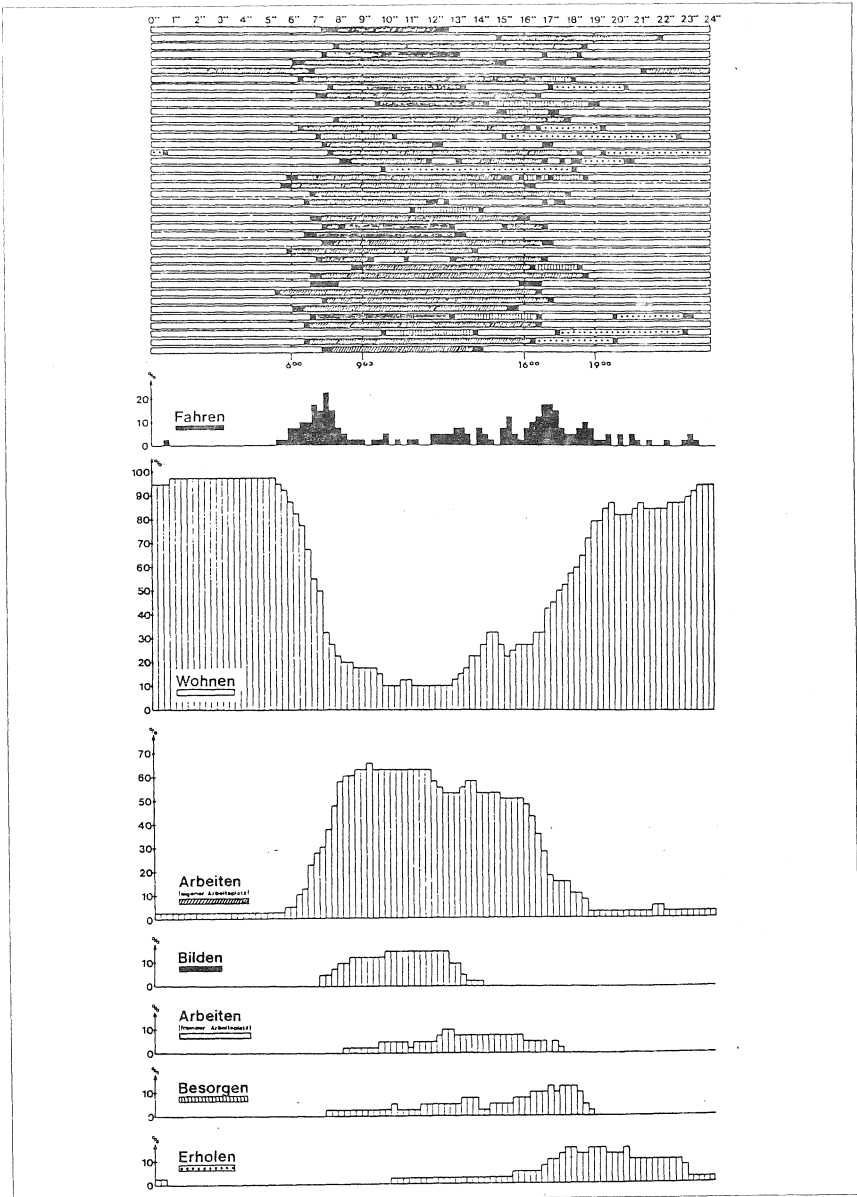


Abb. 3-1
 Verkehr als Ergebnis der Überlagerung von (aushäufigen) Aktivitätenprogrammen - dargestellt an 40
 ausgewählten Aktivitätenprogrammen [Quelle: Harloff, 1979]

Unterzieht man Verkehr einer stärker kausal orientierten Sichtweise, sollte man zunächst von der Verkehrsnachfrage als Nachfrage nach Ortsveränderungen, die allgemein als Wege¹¹ bezeichnet werden sollen, ausgehen. Die Nachfrage nach einem Weg ergibt sich aufgrund eines Bedürfnisses zur Ausübung einer Tätigkeit, die einen Bedarf für eine Ortsveränderung schafft, wenn diese Tätigkeit an einem anderen Ort ausgeführt werden soll als an dem Ort, an dem sich eine Person gerade befindet. Abbildung 3-1 zeigt den Zusammenhang zwischen solcher Aktivitätsnachfrage, die sich für das Individuum zeitlich als Aktivitätsprogramm oder -kette darstellen läßt, und Verkehr (als Aktivität 'Fahren').

Dabei spielt es zunächst keine Rolle, wie, das heißt mit welchem Verkehrsmittel, die Distanz zwischen dem Ausgangsort (Quelle) und dem Aktivitätsort (Ziel) überwunden werden soll. Für die Planung relevant ist das Vorhandensein der Nachfrage, die sich physikalisch unterschiedlich manifestieren kann. Meßbar ist etwa das Verkehrsaufkommen oder die Zahl der Wege, die von den Einwohnern eines betrachteten Gebiets unternommen werden.

Die Länge der Wege bestimmt die Verkehrsleistung¹², die sich aus dem Produkt der Wegezahl mit der Entfernung ergibt. Damit ist die Verkehrsleistung eine aussagefähige Quantifizierung der Verkehrsnachfrage, da sich eine hohe Zahl von Wegen bei entsprechend geringer Entfernung weitaus geringer auswirken kann als eine kleinere Zahl von Wegen mit sehr hohen Entfernungen. Die Vergangenheit hat

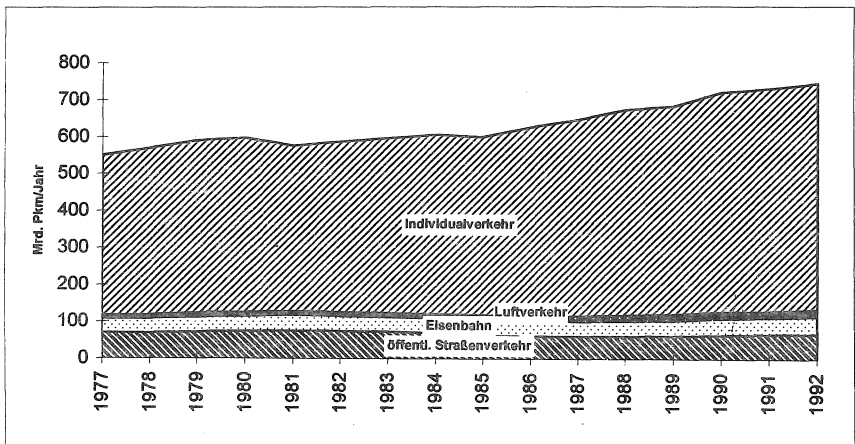


Abb. 3-2
Entwicklung der Verkehrsleistung nach Verkehrsträgern

[Zahlen aus: DIW 1993]

¹¹ der Begriff Weg umfaßt alle Ortsveränderungen im Personenverkehr, also nicht motorisierte Fahrten und Fußwege ebenso wie motorisierte Fahrten

¹² Verschiedene Autoren haben darauf hingewiesen, daß der Begriff Leistung unzulässig ist, da streng genommen ein Produkt aus Zahl der Wege und der Geschwindigkeit vorliegen müßte, und deshalb den ursprünglichen Begriff Verkehrsaufwand vorgeschlagen. Da der Begriff Verkehrsleistung aber inzwischen allgemein gebräuchlich ist, wird er auch in dieser Arbeit verwendet, um die begriffliche Konsistenz mit den diversen Verkehrsstatistiken zu wahren.

gezeigt, daß das Verkehrsaufkommen deutlich geringer angestiegen ist als die Verkehrsleistung, es wurden also längere Distanzen zurückgelegt. Es hat eine Verlagerung der Verkehrsnachfrage von den nicht motorisierten zu den motorisierten Verkehrsmitteln stattgefunden. Durch höhere Geschwindigkeiten wurde die Vergrößerung der Aktionsradien und ein starker Anstieg der Fahrleistung ausgelöst. Die Aufteilung auf die Verkehrsmittel ist deshalb ein weiterer entscheidender Aspekt der Verkehrsnachfrage, sowohl was die Dimensionierung der Infrastruktur als auch die Umweltbelastung angeht. Abbildung 3-2 zeigt die Entwicklung der Verkehrsleistung im Personenverkehr von 1976 bis 1989 nach Verkehrsmitteln. Diese Entwicklung illustriert die Wichtigkeit der Berücksichtigung von Verkehrsnachfrage als verkehrsmittelunspezifische Größe, da in dieser Zeit das spezifische Wegeaufkommen pro Person praktisch unverändert blieb (siehe Abbildung 3-3). Die Verkehrsnachfrage hat sich in erster Linie modal verändert.

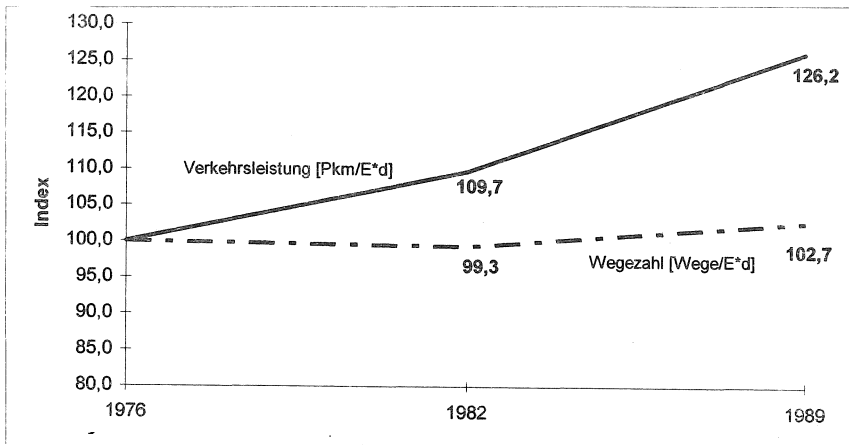


Abb. 3-3
Entwicklung der spezifischen täglichen Verkehrsleistung und der spezifischen täglichen Wegezahl
[Zahlen aus: DIW, verschiedene Jahrgänge]

Von ähnlich hoher Bedeutung ist die zeitliche Verteilung der Verkehrsnachfrage. Der Effekt kollektiver Überlagerung von Verkehrsnachfrage in bestimmten Zeitintervallen (des Tages oder auch des Jahres) führt zu Überlastungserscheinungen der Verkehrsinfrastruktur, während in anderen Zeitabschnitten noch große Kapazitätsreserven vorhanden sind.

Verkehrsnachfrage ist demnach unter verschiedenen Aspekten zu betrachten:

- quantitativ (Zahl der Wege),
- räumlich (Quellen, Ziele, Routen),
- modal und
- zeitlich.

3.1.2 Personen als Träger des Verkehrsverhaltens

Es ist zunächst eine triviale Feststellung, daß mit dem Begriff Verhalten eine Beschreibung menschlichen Handelns verbunden ist und Verkehrsverhalten eine Beschreibung des Handelns von Personen in einem Verkehrssystem ist. Aus dieser Feststellung ergeben sich jedoch wichtige Implikationen für die modellhafte Abbildung von Verkehrsverhalten. Zum einen wird die Frage aufgeworfen, welcher Art das Handeln von Menschen ist und welcher Ausschnitt dieses Handelns abzubilden ist. Zum anderen entsteht die Frage nach einer geeigneten Beschreibung des Sachsystems, in welchem die Personen handeln.

Eine ausführliche Diskussion zum Begriff des Verhaltens findet sich bei Holzapfel [1980]. Er unterscheidet drei wesentliche Wissensgebiete, die sich mit "Verhalten" beschäftigen: die kybernetische Systemtheorie, die Psychologie und die Soziologie. Dabei ist der Beitrag der Systemtheorie naturgemäß im Zusammenhang mit dem Handeln von Menschen am wenigsten aussagekräftig. Die Psychologie arbeitet z.B. mit Erklärungsansätzen auf der Basis von Gefühlen, Triebreizen und Wahrnehmungseffekten, die Motivationsprozesse in Gang setzen, die zu spezifischen Handlungen führen. In der Soziologie gelten soziale Lernprozesse und die individuelle Rolle im Rahmen einer gesellschaftlichen Gruppe als wichtige Grundlagen für menschliches Verhalten.

Beide Ansätze erscheinen von großer Bedeutung für die Erklärung und Beschreibung von Verkehrsverhalten. Definiert man Verkehrsverhalten als die individuelle Durchführung von Wegen, so kann man die Durchführung von Aktivitäten als auslösendes Moment betrachten. Die Nachfrage nach solchen Aktivitäten sind zunächst als das Resultat von individuellen Bedürfnissen (z.B. Versorgen, Rekreation) darstellbar. Daneben wird die Art der Aktivitäten in hohem Maße auch durch individuelle Rollen bestimmt (z.B. Erwerbstätigkeit des Haushaltsvorstandes, Ausbildung der Kinder).

Stark vereinfacht ausgedrückt lösen individuelle Bedürfnisse einen Bedarf zur Ausübung bestimmter Aktivitäten aus, die ihrerseits zu bestimmten Nutzungsansprüchen an das Sachsystem führen, das für die Ausübung solcher Aktivitäten Gelegenheiten bereitstellen muß (siehe Abbildung 3-4).

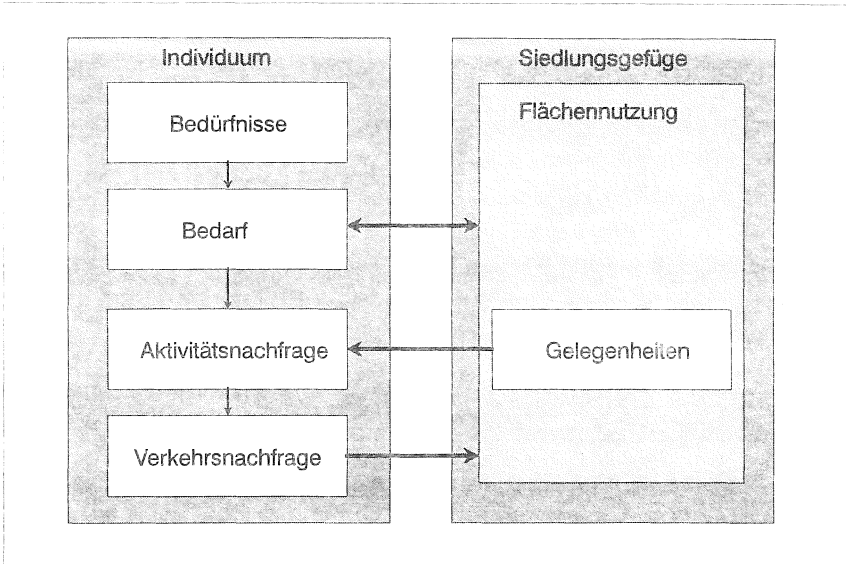


Abb. 3-4
Verkehrsnachfrage als Folge individueller Bedürfnisse

Hier wird auch die Definition des Verkehrssystems, in dem das Individuum handelt, evident. Im weitesten Sinne kann man es als Siedlungsgefüge beschreiben, das durch die Organisation der Flächennutzung Gelegenheiten bereitstellt, an denen die nachgefragten Aktivitäten durchgeführt werden können. Es kommt zur Interaktion zwischen Individuum und Sachsystem, indem das Individuum, der Nutzer, zwischen den Gelegenheiten Wege zurücklegt.

Dabei gilt auch, daß die Flächennutzung nicht ausschließlich den Nutzungsansprüchen folgt, sondern es vielmehr Angebotseffekte gibt, bei denen die Flächennutzung Bedarf und Nachfrage erst auslöst. Auch Gelegenheiten haben Rückkopplungseffekte insofern, als Aktivitäten räumlich verlagert werden bei entsprechendem Angebot an Gelegenheiten. Die eigentlichen Verkehrsnetze, die Infrastruktur des Siedlungsgefüges, sind lediglich verbindendes Element zur Durchführung von Wegen.

Die räumliche, zeitliche und modale Festlegung eines Weges ist Gegenstand individueller Entscheidungen (siehe dazu auch Abschnitt 3.2). Auch wenn diese Entscheidungen durchaus mit dem ein Individuum umgebenden Sachsystem korrespondieren, so ist jedes Individuum grundsätzlich *autonom* im Treffen seiner diesbezüglichen Entscheidungen.

Die Autonomie bedeutet aber nicht, daß sich Individuen grundsätzlich *verschieden* verhalten. Vielmehr lassen sich bei der Analyse von Tätigkeitsmustern Gruppen¹³ segmentieren, die intern sehr ähnliche Verhaltensmerkmale aufweisen. Diese Tatsache wurde von verschiedenen Autoren (Kutter[1972], Schmiedel[1984], Wermuth [1978,1993]) hinlänglich untersucht und fand als Konzept der "Verhaltens-homogenen Gruppen" Eingang in die Verkehrsplanung.

Der Personenkontext bestimmt maßgeblich ihr Verkehrsverhalten und läßt sich durch verschiedene Eigenschaften der Person beschreiben. Wermuth [1978] bezeichnet diese als Faktoren der individuellen Aktivitätennachfrage und unterteilt sie in endogene Faktoren und exogene Faktoren. Die endogenen Faktoren beziehen sich auf die Person und umfassen demographische, sozio-ökonomische und psychologische Eigenschaften von Menschen (siehe Tabelle 3-1).

Demographische Faktoren	
Alter	Geschlecht
Sozio-ökonomische Faktoren	
Ausbildung	Führerscheinbesitz
Stellung im Haushalt	PKW-Verfügbarkeit
Erwerbstätigkeit	Einkommen
Stellung im Beruf	Fahrzeugbesitz (PKW, Fahrrad)
Psychologische Faktoren	
Einstellungen	Motive

Tabelle 3-1: Personenspezifische Faktoren der Verkehrsnachfrage (nach Wermuth [1978])

Wegen der Koppelung von Aktivitäts- und Wege-Nachfrage kann man hier von den personenspezifischen Einflußgrößen der *Verkehrsnachfrage* sprechen. Einige der Faktoren wie Fahrzeugbesitz und -verfügbarkeit betreffen weniger die Aktivitätsnachfrage als vielmehr die Wegdurchführung.

Bei der Verwendung solcher Faktoren zur Eingrenzung verhaltensähnlicher Personenkreise darf nicht übersehen werden, daß es sich um Abstraktionen des Personenkontextes handelt. Diese Abstraktionen können den Kontext nicht vollständig beschreiben, was insbesondere für die psychologischen Faktoren gilt. In der Praxis sind sie nicht oder nur unvollkommen erhebbar. Die Erhebbarkeit solcher Einflußgrößen ist aber die Voraussetzung für den Einsatz in der Abbildung des Verhaltens, das mittels dieser Faktoren den Personen zugeordnet werden kann.

¹³ Strenggenommen handelt es sich nicht um Gruppen im soziologischen Sinne, sondern um Klassen im statistischen Sinn.

Dies läßt sich in der jüngsten Arbeit zur Identifikation verhaltensbestimmender Personenmerkmale, die von Schäfer [1993] vorgelegt wurde, verdeutlichen. Im wesentlichen befaßte er sich mit methodischen Aspekten zur Ballungsanalyse von Haushaltsbefragungsdaten. Anhand der Daten der KONTIV 1989 untersuchte er typische Aktivitätsprogramme mittels eines Vergleichs der Häufigkeit von bestimmten Aktivitätsprogrammen. Aufgrund des Basismaterials können nur Personenmerkmale verwendet werden, die in der KONTIV abgefragt werden. Diese Merkmale wiederum werden wegen ihrer Verfügbarkeit in der Sekundärstatistik und ihrer relativ leichten Abfragbarkeit verwendet. Die Interdependenzen zwischen diesen Merkmalen und dem Nachfrageverhalten sind zwar durch die Ballungsanalyse nachgewiesen, das bedeutet aber nicht, daß sie das Verhalten hinreichend erklären.

Als Näherung zur Beschreibung des Verhaltenskontextes erscheinen sie allerdings tauglich, zumal sie sowohl das psychologische Element der individuellen Bedürfnisse (über die Art der Aktivität) als auch das Element der Rollenprägung des Verhaltens enthalten. Dabei wird das letztere betont, was auch Schäfer aufzeigen konnte, der die Aktivitätsmuster vollzeitbeschäftigter Männer und Frauen an Werktagen verglich. Es ergaben sich dabei signifikante Unterschiede in den Häufigkeiten der Aktivitätsprogramme hinsichtlich der Aktivitäten Einkaufen, die in den Ketten der Frauen deutlich häufiger auftrat, und Freizeit, die wiederum bei Männern stärker anzutreffen war, was auf ein sehr stark rollenspezifisches Verhalten hinweist (siehe Abbildung 3-5).

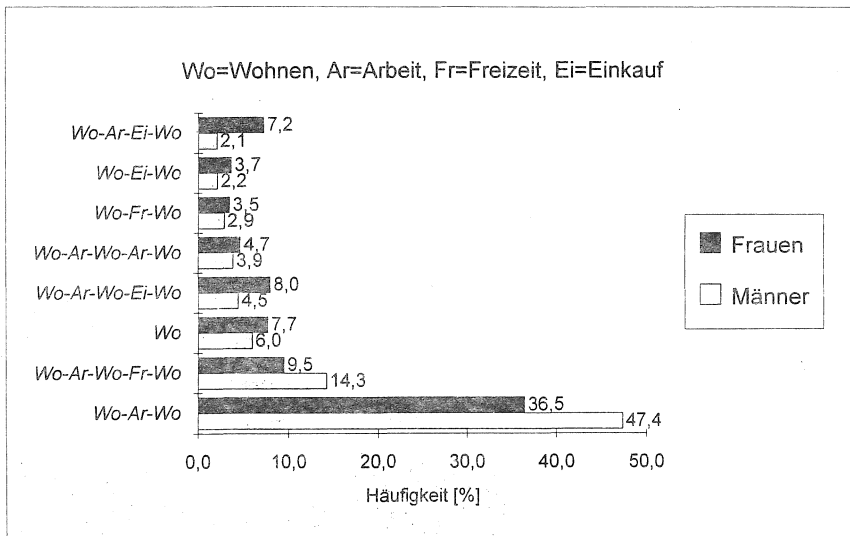


Abb. 3-5
Aktivitätenkettenverteilungen vollzeitbeschäftigter Männer und Frauen an Werktagen [Quelle: Schäfer, 1993]

3.1.3 Der Haushalt als Basis

Die Rolle, die Menschen in ihrer sozialen Umwelt einnehmen, ist also in besonderem Maße verhaltensbestimmend. Die kleinste soziale Einheit dieser Umwelt ist der Haushalt, in dem eine Person eingebunden ist. Der Haushalt setzt wichtige Randbedingungen für das Verhalten einer Person, insbesondere für ihr Verkehrsverhalten. Das ist der Fall aufgrund der Verteilung von Ressourcen, Funktionen und Aufgaben innerhalb eines Haushaltes.

Die Struktur eines Haushaltes ist gegeben durch die Zahl seiner Mitglieder, deren Alter und die interne Rolle seiner Mitglieder wie Eltern, Kinder oder Lebensgefährte sowie durch die externe, gesellschaftliche Rolle seiner Mitglieder wie Erwerbstätigkeit, Rentner, Hausmann/Hausfrau, Schüler oder Student. Ressourcen eines Haushaltes, die mit dem Verkehrsverhalten seiner Mitglieder im Zusammenhang stehen, sind die Wohnsituation im weitesten Sinne, das Einkommen, seine Ausstattung mit Verkehrsmitteln und mit Telekommunikationseinrichtungen. Die Verkehrsmittel werden in der Regel innerhalb eines Haushaltes poolartig genutzt, so steht ein PKW zunächst grundsätzlich allen Mitgliedern mit Fahrerlaubnis zur Verfügung. Telekommunikationseinrichtungen könnten im Zusammenhang mit der verstärkten Nutzung von Verkehrsinformation eine große Rolle spielen, da hier eine Ressource von allen Haushaltsmitgliedern genutzt werden kann. Das verkehrlich bedeutendste Merkmal eines Haushaltes ist sein Wohnstandort, der für die Mitglieder der wichtigste räumliche Bezug ist, und für viele Wege Quelle oder Ziel festlegt.

Der Haushalt ist eine soziale Einheit mit einer internen Aufgabenverteilung, die die aushäusigen Aktivitäten seiner Mitglieder und damit deren Verkehrsverhalten nachhaltig beeinflusst. Aktivitäten wie Arbeiten und Einkaufen dienen in erster Linie der Versorgung des Haushaltes und sind innerhalb eines Haushaltes in der Regel auf bestimmte Mitglieder verteilt. Daneben bestehen Verknüpfungen zwischen den Wegen einzelner Mitglieder, wie zum Beispiel das Holen oder Bringen von Kindern von oder zu deren Aktivitäten. Eine sehr kompakte Umschreibung der internen und externen Verknüpfungen findet sich bei Heidemann: "Die Aufgabenteilung in Haushalten ist rekursiv verkoppelt mit der Arbeitsteilung zwischen spezialisierten Wirkeinheiten (Betrieben, Behörden) auf der Meso- und Makro-Ebene, die wiederum das vorwaltende Geflecht der Produktionsweisen und Produktionsverhältnisse widerspiegeln. Die damit einhergehende Aufsplitterung und Abstufung der Schnittstellen zwischen Haushalten und Umständen hat vielfältige und nachhaltige Rückwirkungen auf Umfang, Ausrichtung und Reichweite der Betätigungen von Haushalten und ihrer Mitglieder." [Heidemann, 1991: 9]

Eine angemessene Berücksichtigung des Haushaltes in der Verkehrsplanung wird von verschiedenen Autoren [Wermuth 1979, Mentz 1984, Zumkeller 1989] gefordert. Recker, McNally und Root [1986] entwarfen ein Modellkonzept für die Abbildung von komplexen Entscheidungsvorgängen im Haushalt, das hier exemplarisch zitiert werden soll (siehe Abbildung 3-6).

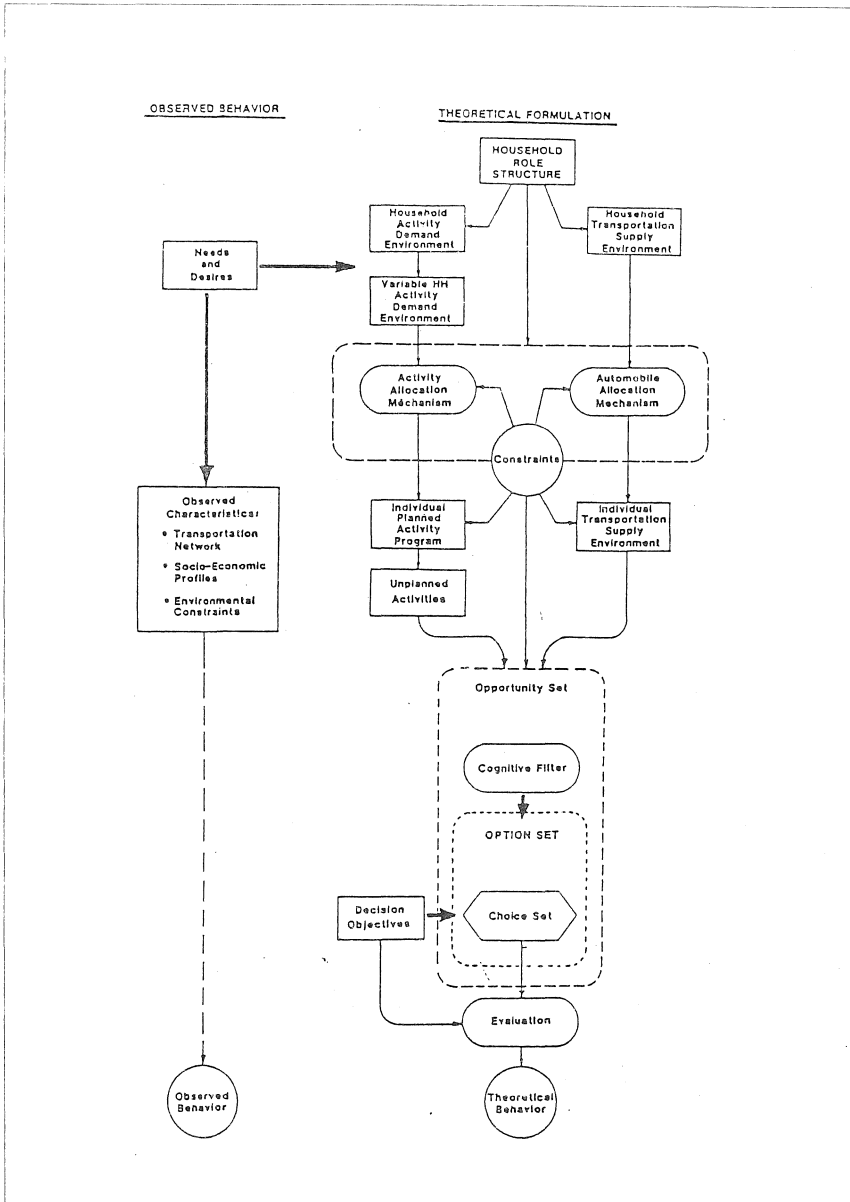


Abb. 3-6
 Theoretisches Modell zur Abbildung von Verkehrsnachfrageverhalten auf Haushaltsbasis
 [Quelle: Recker; McNally; Root, 1986]

Auch diese Autoren greifen auf die soziale Rolle als Determinante des Verkehrsnachfrageverhaltens zurück, indem sie die Rollenstruktur des Haushaltes an den Anfang ihres Modells stellen. Das Ablaufdiagramm illustriert sehr anschaulich die Vorgänge im Haushalt, bei denen das individuelle Aktivitätsprogramm aufgrund eines Allokationsmechanismus im Haushalt auf der Basis einer festen (personen-gebundenen) Aktivitätsnachfrage ('Household Activity Demand Environment') und einer variablen, haushaltsgebundenen Aktivitätsnachfrage ('Variable HH Activity Demand Environment') entsteht. Ähnliches gilt auch für die individuelle Verkehrsmittelverfügbarkeit, die sich in einem Verteilungsprozess aus der Haushaltsausstattung ('Household Transportation Supply Environment') ergibt. Bei einer operationalen Betrachtung lassen sich wiederum Beschreibungsgrößen identifizieren, die das Verkehrsnachfrageverhalten als "endogene, haushaltsspezifische Faktoren" (Wermuth [1976]) beeinflussen.

Demographische Faktoren	
Alter des Haushaltsvorstandes (HHV)	Haushaltsgröße
Geschlecht des HHV	
Sozio-ökonomische Faktoren	
sozialer Status	Ausstattung mit Telekommunikationsmitteln*
Beruf des HHV	Ausstattung mit Fahrzeugen
Wohnverhältnisse	Haushaltseinkommen
Psychologische Faktoren	
Einstellungen des HHV	Einstellungen der Mitglieder

Tabelle 3-2: Haushaltsspezifische Faktoren der Verkehrsnachfrage (nach Wermuth [1976], *hinzugefügt)

Darüberhinaus ist eine starke Beeinflussung des Verkehrsverhaltens der Haushaltsmitglieder über den Wohnstandort mit seinen spezifischen siedlungsstrukturellen und verkehrsinfrastrukturellen Eigenschaften gegeben.

Ein weiterer Aspekt der Betrachtung des Haushaltskontextes liegt in der zeitlichen Entwicklung. Es ergeben sich *Veränderungen* im Zeitverlauf (Lebenszyklus) bei Verkehrsnachfragern, die sich als Änderung des Haushaltsstatus beschreiben lassen, wie z.B.

- Eheschließung (Gründung eines Zweipersonenhaushalts),
- Geburt (Haushaltsvergrößerung),
- Anschaffung von Verkehrsmitteln (PKW, Fahrrad) oder
- Wohnortwechsel.

Die Bedeutung läßt sich an zwei Entwicklungen, die nachhaltigen Einfluß auf das Verkehrsgeschehen ausüben, illustrieren:

- Abnahme der Haushaltsgröße (Tendenz zur Kernfamilie bzw. zum Ein-oder Zwei-Personen-haushalt)
- Verbesserung der Haushaltsausstattung mit PKW

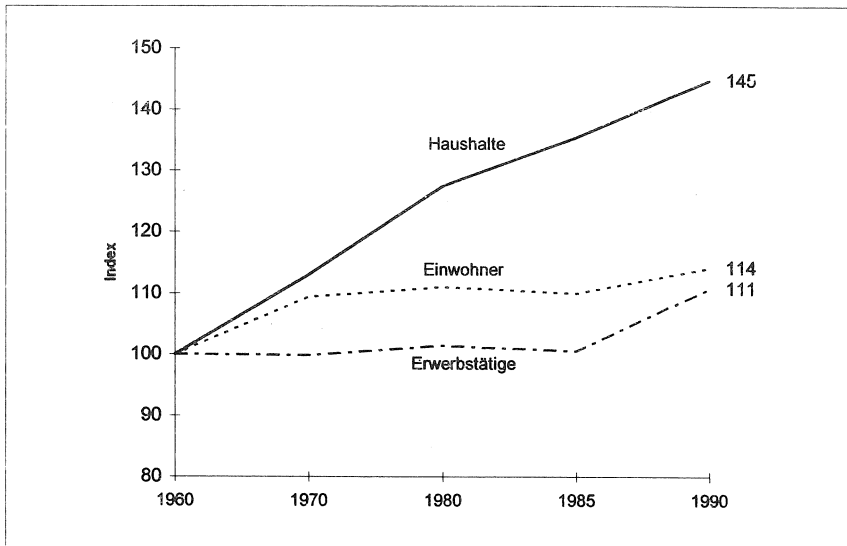


Abb. 3-7
Entwicklung der Haushaltszahl im Vergleich zur Entwicklung der Zahl der Einwohner und der Erwerbstätigen.
[Zahlen aus: Statistisches Jahrbuch der BRD 1992]

Die unübersehbare Entwicklung zu kleineren Haushalten (die durchschnittliche Haushaltsgröße in den alten Bundesländern nahm von 1950 bis 1990 von 2,99 auf 2,25 Personen ab¹⁴) bewirkt eine Erhöhung der Zahl der Haushalte und damit eine verstärkte räumliche Dispersion der Wohnstandorte.

Hinzu tritt eine hohe Verfügbarkeit an Personenkraftwagen in den Haushalten, die 1991 bei 2-Personen-haushalten von Renten- und Sozialhilfeempfängern¹⁵ in immerhin 52,4% der Fälle gegeben war, während sie bei 4-Personenhaushalten von Arbeitern und Angestellten¹⁶ mit mittlerem Einkommen annähernd in 100% der Fälle gegeben ist. Die Verfügbarkeit von motorisierten Verkehrsmitteln ist eine wichtige Voraussetzung zur Ausweitung des Aktionsraumes und damit, wenn auch vielleicht nicht

¹⁴ Quelle: Statistisches Jahrbuch der BRD 1992

¹⁵ Haushaltstyp 1 nach Bundesstatistik

¹⁶ Haushaltstyp 2 nach Bundesstatistik

auslösend, so doch bestimmend für den Anstieg der Verkehrsleistung.

3.1.3 Die Wegekette als Modellgröße

Der Weg ist das Ziel. So könnte man etwas ironisch diesen Abschnitt überschreiben. Tatsächlich ist die individuelle Wegekette die entscheidende Größe des Konzepts zur Abbildung der Verkehrsnachfrage. Die Wegekette repräsentiert die individuelle Verkehrsnachfrage, die sich aus dem Personen- und Haushaltskontext ergibt. Mit ihrer Hilfe läßt sich die Verkehrsnachfrage räumlich, zeitlich und modal und bezogen auf das Individuum auch quantitativ beschreiben. Bei einer Überlagerung der Wegeketten aller Individuen eines Untersuchungsgebiets erhält man ein realistisches Abbild der Verkehrsnachfrage, wenn die Wegeketten die archetypischen Aktivitätenprogramme der Personenkategorien wiedergeben, die im Untersuchungsgebiet vorhanden sind. Die Wege ergeben sich aus der Abfolge von Aktivitäten, da sie explizit die Distanz zwischen den Aktivitätsorten überwinden.

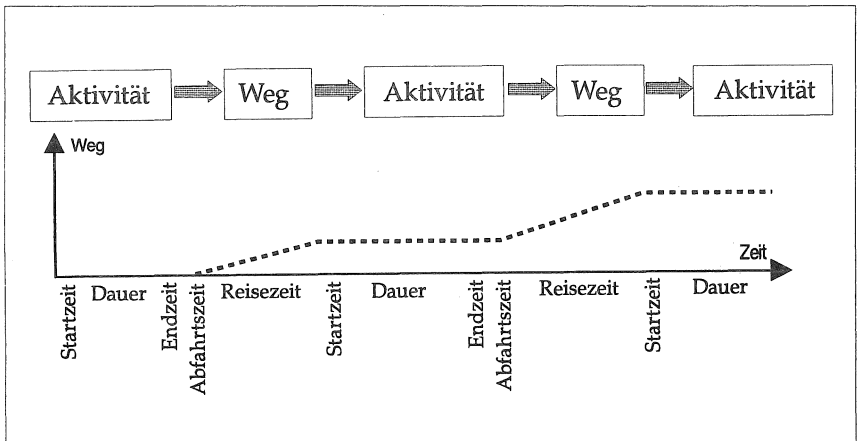


Abb. 3-8
Der Weg als resultierende Größe der Aktivitätskette

Die Eigenschaften des Weges (Quelle, Ziel, Verkehrsmittel, Abfahrtszeit) stehen dabei in engem Zusammenhang mit den Charakteristika der Aktivitäten (Typ, Dauer, Startzeit, Endzeit).

Eigenschaften der Aktivität	bestimmen über	Eigenschaften des Wegs	aus
Ort	Gelegenheit für Aktivitätstypen (z.B. Einkauf) fest für Wohnen und Arbeit	Quelle	Ort der Aktivität i
Typ (Tätigkeit)		Ziel	Ort der Aktivität i+1
Dauer	Lage der Zeitpunkte und Zeitintervalle	Abfahrtszeit	Reisezeit des Verkehrsmittels
Startzeit		Verkehrsmittel	nach Verfügbarkeit und Zeitrestriktionen der Kette
Endzeit		Route	nach Verkehrsmittel und Wissen des Nutzers, bestimmt die Reisezeiterwartung

Tabelle 3-3: Zusammenhänge zwischen Wegen und Aktivitäten

Aufgabe eines Verkehrsnachfragemodells ist es, die Zusammenhänge zwischen Aktivitäten und Wegen auf der Basis

- einer Zuordnung von Aktivitätsketten zu den Einwohnern eines Gebietes (als Funktion von soziodemographischen Eigenschaften),
- einer Zuordnung von Aktivitäten zu Gelegenheiten (als Funktion des Siedlungsgefüges),
- einer Abbildung der Verkehrsinfrastruktur (mit den Eigenschaften von Verkehrsmitteln), abzubilden.

3.2 Wege als Resultat von Nutzerentscheidungen

Die Elemente eines Weges kann man als das Ergebnis individueller Entscheidungsprozesse interpretieren. Ein Weg ergibt sich dabei aus einer Sequenz aus von **Einzelentscheidungen** über

- den **Antritt eines Weges**,
- die Wahl eines **Zieles**,
- die Wahl einer **Route**,
- die Wahl des **Verkehrsmittels** und letztlich
- die Wahl des **Zeitpunkts** des Wegantritts.

Ein Verkehrsnachfragemodell sollte entsprechend so aufgebaut sein, daß es diese Entscheidungen nachbildet. Aus der Aggregation der Ergebnisse solcher Entscheidungen läßt sich dann die Verkehrsnachfrage ermitteln. Diese Aggregation entspricht dem Prinzip der kollektiven Überlagerung, die das Phänomen Verkehr verursacht. Der Zusammenhang zwischen Individualentscheidung und Verkehr ist in zweifacher Hinsicht bedeutsam. Zum einen ermöglicht er eine stärker kausal orientierte Modellierung

von Verkehrsnachfrage und zum anderen definiert er den Handlungsbezug der Verkehrsplanung, die auf eine Änderung des Verkehrsverhaltens zielt. Veränderungen sind nur zu erwarten, wenn Nutzer ihr Entscheidungsverhalten ändern. Die Probleme, die der Verkehr aufwirft, entstehen im engeren Sinne aus bestimmten Nutzerentscheidungen und müssen daher auch auf dieser Ebene bearbeitet werden.

In Tabelle 3-3 sind die Zusammenhänge zwischen der Aggregationsebene und der Individualebene mit den Bezügen zu Problemen und Zielen zusammenfassend dargestellt.

Aggregationsebene (Verkehrssystem)	Probleme	Entstehungsebene (Individuum)	Ziele (Planung)
Verkehrsaufkommen	steigend	Entscheidung über Durchführung eines Weges	Verringerung der Wege
Verkehrsleistung	stetig steigend	Wahl des Zieles	Verkürzung der Entfernungen
Modal Split	Anteil umweltverträglicher Verkehrsmittel zu niedrig	Wahl des Verkehrsmittels	Verlagerung zum Umweltverbund
Verkehrsstärke	Überlastung der Netze	Wahl der Route	Optimierung der Verteilung im Netz
Belastungsganglinien	Dimensionierungsprobleme, umweltverträglicher Verkehrsablauf	Wahl der Abfahrtszeit	Einebnen der Spitzenbelastungen ("peak spreading")

Tabelle 3-4: Zusammenhang zwischen Verkehr und Individualentscheidung

3.3 Handlungsspielräume von Verkehrsnachfragern

Die Tatsache, daß sich Verkehr aus der kollektiven Überlagerung von individuell getroffenen Einzelentscheidungen ergibt, darf jedoch nicht zu der Annahme verleiten, daß sich Verkehrsnachfrage beliebig durch Veränderung dieser Entscheidungen verändern ließe. Zwar ist es richtig, daß sich Veränderungen ausschließlich über Änderungen des Verhaltens von Individuen ergeben können. Innerhalb ihres Verhaltenskontextes sind Individuen jedoch nicht frei in der Wahl der Optionen. Ihre Autonomie beschränkt sich auf einen begrenzten Handlungsspielraum.

Dieses Prinzip wurde erstmals von Hägerstrand [1970] in seiner vielzitierten Veröffentlichung "What about people in Regional Sciences ?" skizziert. Die von ihm aufgezeigten "constraints" waren die erste operationale Formulierung für die allgegenwärtige Tatsache der Einbindung menschlicher Entscheidungen in soziale, räumliche und zeitliche Zusammenhänge.

Diese Zusammenhänge sind von der Planung zu berücksichtigen, da sie entsprechend des Prinzips der kollektiven Überlagerung zu eingeschränkten Spielräumen bei der Wirksamkeit von Planungsmaßnahmen führt. Deshalb muß jedes Konzept zur Abbildung von Verkehrsverhalten solche Spielräume ebenfalls berücksichtigen.

3.3.1 Disponibilität von Wegen

Die Unterlassung eines Weges ist in der Regel gleichbedeutend mit der Unterlassung einer Aktivität. Diese Art von Verkehrsvermeidung setzt die Wahlfreiheit zur Ausübung der Aktivität voraus. In vielen Fällen ist diese Freiheit jedoch nicht gegeben, sondern es ergeben sich durch die soziale Rolle und die Einbindung in den Haushalt Zwänge zur Ausübung von Tätigkeiten (siehe dazu z.B. Holzapfel [1980]). Man kann bei Aktivitäten zwischen Zwangs- oder Pflichtaktivitäten und wahlfreien Aktivitäten unterscheiden. Pflichtaktivitäten müssen ausgeübt werden, um bestimmte soziale Funktionen auszuüben. Dabei müssen Berufstätige die Aktivität Arbeit, Schüler die Aktivität Ausbildung und Hausfrauen (oder -männer) die Aktivität Einkaufen ausüben. Pflichtaktivitäten sind also nicht wahlfrei und die Wege zu diesen Aktivitäten sind nicht disponibel.

Weitere Aktivitäten, deren Ausübung individuell nicht entfallen kann, sind verbundene Aktivitäten, bei denen die Ausübung an andere Personen, in der Regel Haushaltsmitglieder, gebunden ist. Das ist z.B. bei Aktivitäten von Kindern der Fall, die dabei von einem Elternteil begleitet werden müssen. Auch hier ist der Weg nicht disponibel.

Die Mehrzahl aller Wege ist indisponibel, da sie unter die Kategorie der Pflichtaktivität oder der verbundenen Aktivität fällt, wobei die Wege von diesen Aktivitäten nach Hause gleichfalls unverzichtbar sind.

Dabei muß berücksichtigt werden, daß das zeitliche Verschieben einer Aktivität, entweder an eine andere Stelle in der Kette oder auf einen anderen Tag, keinen Wegfall dieser Aktivität darstellt.

3.3.2 Räumliche Festlegungen

Die zweite wichtige Kategorie von Handlungsspielräumen ist die räumliche Festlegung vieler Wege. Dabei muß man von verschiedenen Zeithorizonten der Betrachtung ausgehen. Langfristig, also über Zeitspannen von Jahren, sind alle Wege veränderlich. Kurz- oder mittelfristig, also innerhalb von Wochen oder Monaten, sind jedoch viele Wege räumlich nach Quelle oder Ziel fixiert, da sie der Erreichung von Aktivitäten dienen, deren Orte nicht Gegenstand der Wahl eines Zieles sind, sondern das Ergebnis langfristiger Entscheidungen. Das gilt für Arbeits- und Ausbildungsplätze und für den Wohnstandort.

Lediglich für Freizeit- und Einkaufsaktivitäten kann von einer grundsätzlichen Wahlfreiheit der Ziele ausgegangen werden. Diese Wahlfreiheit wird wiederum durch die Erreichbarkeit der Gelegenheiten eingeschränkt. Dabei spielt die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln eine entscheidende Rolle.

Grundsätzlich wahlfrei ist die Route zu einem Gelegenheitsort, sofern dabei modale und zeitliche Restriktionen eingehalten werden können.

3.3.3 Zeitliche Restriktionen

Eine sehr wichtige Handlungsebene ist die zeitliche Gestaltung einer Wegeketten. Sie ergibt sich aus der Wahl verschiedener Zeitpunkte, bei der der Verkehrsnachfrager eine Vielzahl von Zwangsbedingungen einhalten muß, die sich, in Anlehnung an Hägerstrand¹⁷, aus den Restriktionen

- Verfügbarkeit (von Zeit)
 - Verbundenheit (von Aktivitäten) und
 - äußere Zeitbedingungen
- ableiten lassen.

Diese Restriktionen bestimmen die Lage von Aktivitäten auf der Zeitachse, deren Beginn- und Endzeiten, deren Dauer und deren Abfolge. Dabei steht nur eine begrenzte Zeitspanne zur Verfügung, um eine Aktivitätenkette zu realisieren, die sich aus elementaren menschlichen Bedürfnissen wie z.B. Essen und Schlafen ergibt. Zwischen der Anfangsaktivität Wohnen und der Endaktivität Wohnen sind Aktivitäten durchzuführen, deren Zeiten teilweise festgelegt sind (z.B. Arbeiten) oder nur in sehr begrenztem Maß flexibel (z.B. gleitende Arbeitszeit) sind. Andere Aktivitäten wie Einkaufen oder Inanspruchnahme von Dienstleistungen sind innerhalb von bestimmten Zeitintervallen (z.B. Ladenöffnungszeiten) durchzuführen.

Für die Wegeketten entstehen damit Zeitintervalle, innerhalb derer die Wege zwischen den Aktivitäten zurückgelegt werden müssen. Die Wahl der Abfahrtszeit wird durch diese Zeitfenster bestimmt.

3.3.4 Modale Restriktionen

Die Wahlfreiheit des Verkehrsmittels wird nicht ausschließlich durch die Voraussetzungen Verfügbarkeit bzw. Erreichbarkeit eingeschränkt. Auch hier offenbart die Sicht auf die Zusammenhänge einer Wegeketten weitere Restriktionen, denen Nutzerentscheidungen unterliegen.

Eine dieser Restriktionen ist das "Mitführen" von individuellen Fahrzeugen (Fahrrad oder PKW) über eine Kette oder Teilen davon. Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß das Verlassen des Wohnstandortes mit einem Individualfahrzeug zumindest die Rückkehr mit demselben bedingt. Die Wahl eines Verkehrsmittels erfolgt also nicht sequentiell für jeden Weg einzeln, sondern unter Betrachtung des Tagesprogramms. Mit Ausnahme von Verkehrsmittelwechseln während der Wegeketten wie Park- und Ride legt also die Bevorzugung eines Individualverkehrsmittels für einen Weg dieser heimgebundenen Kette die Benutzung dieses Verkehrsmittels für alle Wege der Kette fest. Umgekehrt ist die Wahl eines Individualverkehrsmittels für Wege, die nicht zu Hause angetreten werden, unmöglich, wenn dieses Individualverkehrsmittel für den ersten Weg der heimgebundenen Kette nicht gewählt wurde.

¹⁷ 'Capability, Coupling, und Authority Constraints'

3.4 Abbildung des Informationsverarbeitungsprozesses beim Verkehrsnachfrager

Die Informationsverarbeitung beim Verkehrsnachfrager ist ein zentraler Prozeß beim Einsatz von Informationssystemen. Die zutreffende Beschreibung der Abläufe beim Nutzer in Folge der Einwirkung von Information ist zum einen eine wichtige Voraussetzung zur effizienten Konzeption von Informationssystemen und zum anderen notwendig, um die Wirkung solcher Systeme zu modellieren.

3.4.1 Routinen und Erfahrungen

3.4.1.1 Routinen

Die Darstellung einer Fahrt als Prozeß von Einzelentscheidungen ist zunächst ein Artefakt, das beim Nutzer so nicht einläuft. Vielmehr handelt es sich um eine Interpretation der Handlungen der Nutzer, die diese in der Regel nicht als Ergebnis von Entscheidungen sondern als **Routine** ausführen. Dabei handelt es sich um habitualisierte Verhaltensweisen, bei denen aus dem theoretisch zur Verfügung stehenden Auswahlset an Handlungsoptionen eine ausgeführt wird, die sich beim Nutzer subjektiv bewährt hat. Solche Routinen bilden sich aufgrund von langfristig gültigen Entscheidungen aus. Daher wird auf der Basis des Tages keine Auswahl im Sinne einer Neuentscheidung getroffen.

Solche Routinen beinhalten in der Regel

- die Aktivitätenketten,
- die Verkehrsmittel zu den Pflichtaktivitäten
- die Abfahrtszeiten zu den Pflichtaktivitäten und
- die Ziele für Einkaufs- und Freizeitaktivitäten¹⁸ sowie
- die Routenwahl für die Wege zu den Pflichtaktivitäten.

Im Unterschied zu den Routinen sind die Effekte zu sehen, die aufgrund subjektiver Wahleinschränkungen entstehen, wie sie z.B. Brög [1979] und Wermuth [1980] beschreiben (Abbildungen 3-9 und 3-10). Hier entscheiden sich Nutzer deshalb für eine Option, weil sie subjektiv über keinen Auswahlset verfügen. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn den Nutzern Routen nicht bekannt sind (sei es im ÖV oder im MIV) oder sie über die Nutzung von Alternativen im ÖV keine Kenntnisse besitzen, obwohl objektiv eine Alternative vorhanden ist.

¹⁸ Die Ziele für Arbeits- und Ausbildungsaktivitäten unterliegen einer langfristigen Festlegung und sind daher nicht den Routinen zuzurechnen, weil es auch objektiv keine Entscheidungsfreiheit gibt.

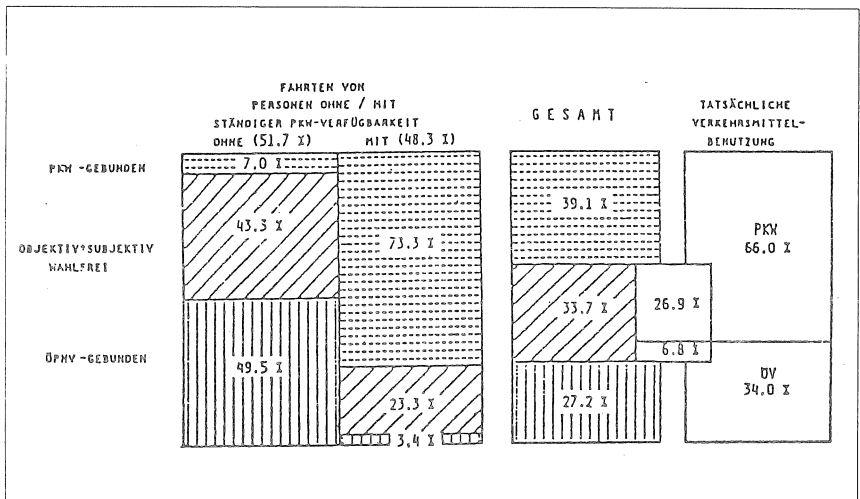


Abb. 3-9
 Subjektive Verkehrsmittelwahlsituation von Personen ohne bzw. mit PKW-Verfügbarkeit
 [Quelle: Wermuth, 1980, Stichprobe der Verkehrsregion Rhein-Neckar mit ca. 500 000 Personenfahrten]

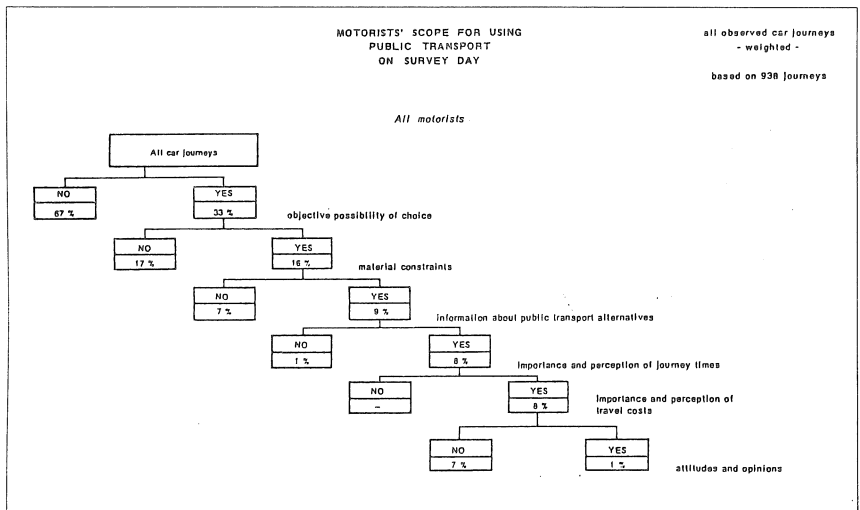


Abb. 3-10
 Spielraum von PKW-Nutzern zur Benutzung des ÖV

[[Quelle: Brög, 1979]]

3.4.1.2 Erfahrungen

Routinen und subjektive Handlungsspielräume stellen also einen wesentlichen Aspekt bei der Modellierung der Verkehrsnachfrage dar. Das Nachfrageverhalten muß grundsätzlich als veränderlich angesehen werden, andernfalls könnte man bei der Erkennung der Routinen die weitere Untersuchung einstellen. Daher gilt es, die den Routinen zugrundeliegenden längerfristigen Entscheidungen und deren Determinanten näher zu betrachten und in einem Entscheidungsmechanismus, der auf täglicher Basis funktioniert, abzubilden. Dabei ist der Begriff der alltäglichen *Erfahrung* hilfreich. Dazu sollen zunächst die Begriffe *Wissen* und *Kenntnis* definiert werden.

Das Wissen ist eine individuelle Eigenschaft, die sich durch neue Information verändert, und soll sowohl die Handlungsoptionen für Wegeentscheidungen als auch deren Eigenschaften enthalten. Das Enthaltensein einer Handlungsoption oder der Eigenschaft einer Option im Wissen soll als Kenntnis bezeichnet werden. Erfahrung definiert sich damit als der Erwerb neuer oder der Veränderung bestehender Kenntnisse (und deren Speicherung) aus der Durchführung von Optionen. Das Wissen eines Nutzers enthält also einen momentanen Zustand für:

- die Handlungsoptionen selbst (z.B. Verkehrsmittel, Routen, Aktivitätsgelegenheiten) und
- die Eigenschaften der Optionen, z.B. Reisezeiten, Kosten oder Komfort (subjektiv erlebte Annehmlichkeit oder Unannehmlichkeit einer Option).

Dieses Gedankenmodell erscheint plausibel, wenn man den einfachsten Weg der Empirie verfolgt, die Selbstbeobachtung. Darüberhinaus findet sich eine Diskussion in EUROTOPP [1990] und bei van Berkum/van d. Mede [1994]. Mit Hilfe des Wissens und der Erfahrung kann die Routine als Entscheidungsprozeß auf täglicher Basis hinreichend beschrieben und abgebildet werden, wenn man den Begriff der Trägheit einführt.

3.4.1.3 Trägheit und Perzeption

Routinen als stabile habitualisierte Handlungen im Verkehrsverhalten sind das Ergebnis von langfristigen angelegten Entscheidungen, deren subjektiver Nutzen aufgrund der immer wieder gemachten Erfahrung bei der Durchführung nicht in Frage gestellt wird. Objektiv sind dabei die Eigenschaften von Optionen (z.B. Reisezeiten oder Kosten) veränderliche Größen. Subjektiv werden sie jedoch in hohem Maße als stabil empfunden. Das liegt zum einen daran, daß kleine Änderungen der objektiven Eigenschaften gegenüber den Kenntnissen dieser Eigenschaften nicht mehr wahrgenommen werden. Zum anderen wirken wahrgenommene Veränderungen der Eigenschaften umso weniger auf die vorhandenen Kenntnisse verändernd ein, je größer die Anzahl der bisher gemachten Erfahrungen ist.

Das läßt sich anhand der Eigenschaft Reisezeit t veranschaulichen. Mit der Durchführung eines Weges und der Benutzung eines bestimmten Verkehrsmittels auf einer bestimmten Route ist beim Nutzer eine Reisezeiterwartung verknüpft. Wird zum Beispiel täglich der PKW bei der Fahrt zur Arbeit benutzt, ergebe sich dabei ein erwarteter Wert t_e , der Reisezeit näherungsweise aus dem arithmetischen Mittelwert der Reisezeiten t_n aller Fahrten n .

$$t_e = \frac{\sum t_n}{n} \quad \text{Gl.3-1}$$

Es wird angenommen, daß kleine Änderungen der Reisezeit bei erneuter Durchführung des Weges aufgrund der eingeschränkten Wahrnehmung keine Änderungen δt_e des Erwartungswertes bewirken. Man kann dies durch die Einführung eines Schwellenwerts η formulieren, der überschritten sein muß, damit eine Änderung der erwarteten Reisezeit eintritt.

$$\delta t_e = 0 \quad \text{wenn} \quad |t_e - t_n| < \eta \quad \text{Gl.3-2}$$

Die Größe des Schwellenwerts η ist unbekannt und mit hoher Wahrscheinlichkeit von individuellen Merkmalen abhängig und damit personenspezifisch. Persönliche Präferenzen für bestimmte Verkehrsmittel beeinflussen ebenfalls die Wahrnehmung und damit den Schwellenwert. Somit ist auch davon auszugehen, daß η verkehrsmittelspezifisch ist. Für die vorliegende Aufgabenstellung wurde jedoch interpersonelle und intermodale Invarianz als erste Näherung angenommen. Für die Quantifizierung wurde angenommen, daß die Größe des Schwellenwerts nur von der Größe des Erwartungswertes t_e und der Häufigkeit n abhängt. Sind die erfahrenen Reisezeiten sehr viel größer oder kleiner als der Erwartungswert, ist die Korrektur des Erwartungswertes von der Häufigkeit der bisher gemachten Erfahrungen abhängig.

$$\delta t_e = f(n) \quad \text{Gl.3-3}$$

Je größer n ist, desto geringer fällt der Einfluß der neuen, abweichenden, Erfahrung auf den erwarteten Wert der Reisezeit aus. Dieser Effekt soll als *Trägheit* bezeichnet werden.

Bleibt man beim Beispiel der täglichen Fahrt zur Arbeit mit dem PKW und geht man beispielsweise von einem Erwartungswert t_e von 15 min aus, so ist eine Abweichung von zwei Minuten offensichtlich gering und wird nicht wahrgenommen. Das entspricht unseren täglichen Erfahrungen. Singuläre Ereignisse, zum Beispiel außergewöhnliche Staus, haben keinen besonderen Einfluß auf diese Erwartung. Erst bei fortschreitender Erhöhung der Reisezeit sind wir bereit, den Wert nach oben zu korrigieren.

Eine funktionale Umsetzung wird durch die Formulierung von η als Standardabweichung σ der Reisezeiten der auf einer Relation mit einem Verkehrsmittel zurückgelegten Wege ermöglicht (siehe Gleichung 3-4):

$$\begin{aligned}
 t_{e,n} &= t_{e,n-1} & \text{wenn } |t_n - t_{e,n-1}| < \sigma &= \sqrt{\sigma^2} \\
 t_{e,n} &= \frac{t_{e,n-1} \cdot (n-1) + t_n}{n} & \text{wenn } |t_n - t_{e,n-1}| \geq \sigma &= \sqrt{\sigma^2}
 \end{aligned}
 \tag{Gl. 3-4}$$

mit

n = Zahl der zurückgelegten Wege (auf einer Relation i-j, in einer definierten Tageszeit)

$t_{e,n}$ = erwartete Reisezeit nach dem n-ten Weg

$t_{e,n-1}$ = erwartete Reisezeit vor dem n-ten Weg

t_n = tatsächliche Reisezeit des n-ten Wegs

σ = Standardabweichung = $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2$

Damit wird die erwartete Reisezeit $t_{e,n}$, die sich nach der Durchführung des n-ten Weges ergibt, zur Funktion der Häufigkeit dieses Weges und der Trägheit, die ihrerseits eine Funktion der Häufigkeit, der Größe der Reisezeit und den erfahrenen Schwankungen der Reisezeiten ist. Die so formulierte Funktion für $t_{e,n}$ ermöglicht die Abbildung von Erfahrung. Die Funktionsweise ist in den Abbildungen 3-11 und 3-12 dargestellt.

Abbildung 3-11 zeigt den Verlauf von t_e , wenn bei kleinen n (also ohne Erfahrung) sehr hohe Reisezeiten auftreten. Auch mit zurückgehenden Schwellenwerten geht die Überschätzung der Reisezeit nur unwesentlich zurück und bleibt vielmehr in fast allen Fällen über der tatsächlichen Reisezeit. Solche Effekte sind z.B. zu beobachten, wenn die Straßenverhältnisse im Winter die Nutzer dazu bringen, kurzfristig auf öffentliche Verkehrsmittel umzusteigen. Die Erwartungen sind zunächst unbesetzt. Wegen der widrigen Umstände, die unter anderem daraus resultieren, daß sehr viele Nutzer in den ÖV umsteigen, entstehen in solchen Situationen sehr hohe Reisezeiten, die die Erwartung der neuen Fahrgäste prägen. In Zeiten ohne Einschränkung ihrer Wahlmöglichkeiten bewerten sie diese Option daher sehr viel schlechter.

Umgekehrt werden auch gute Erfahrungen am Beginn des Prozesses sinngemäß abgebildet. Abbildung 3-12 zeigt den Fall der Reisezeitunterschätzung (bezogen auf den Mittelwert). Dabei wurde die Reisezeit t_n für n Wege variiert und angenommen, daß zu Beginn der Erfahrung (kleines n) kleine Werte für die Reisezeit auftreten. Mit diesen "guten Erfahrungen" bleibt die erwartete Reisezeit t_e beständig unter dem Mittelwert (MW) der Reisezeiten und auch fast immer unter den tatsächlichen Reisezeiten. Durch die Verwendung der Standardabweichung als Wahrnehmungsschwellenwert ergibt sich ein regelrechter "Gedächtnis"-Effekt.

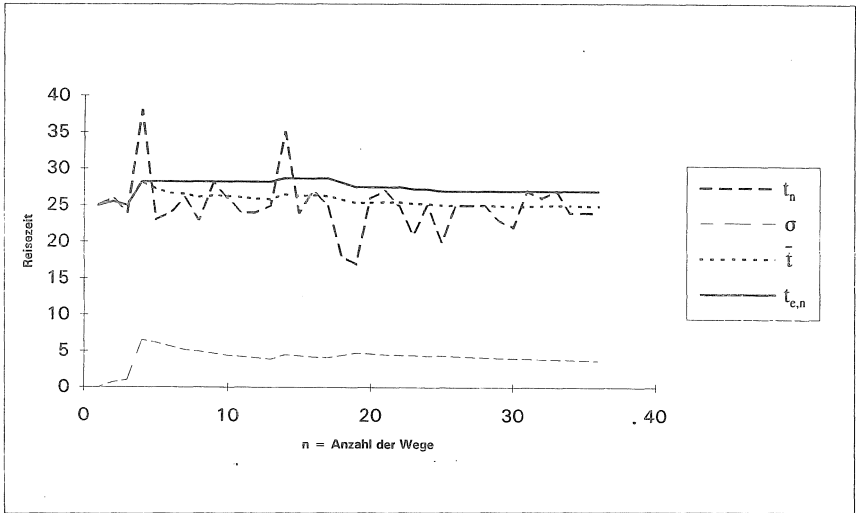


Abb. 3-11
 Bildung der erwarteten Reisezeit ("Überschätzung durch schlechte Erfahrung")

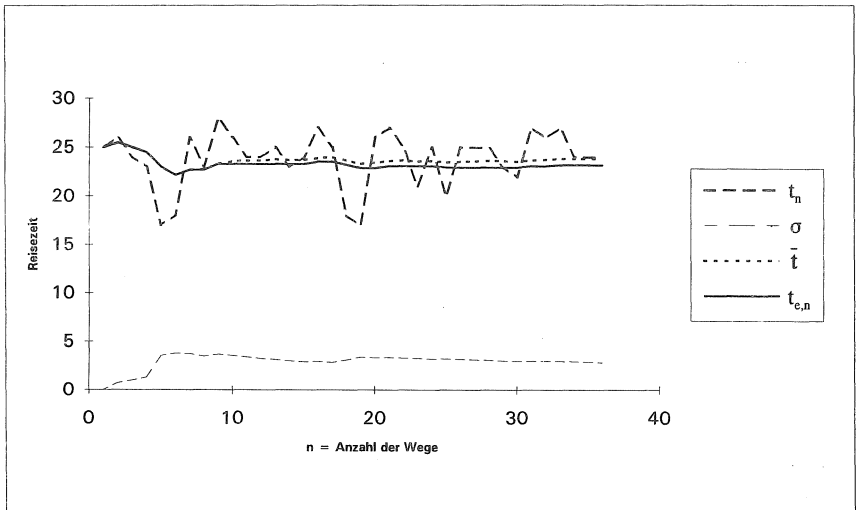


Abb. 3-12
 Bildung der erwarteten Reisezeit ("Unterschätzung durch gute Erfahrung")

Aus dem Verhältnis des sich ergebenden Wertes der erwarteten Reisezeit $t_{e,n}$ und der tatsächlichen Reisezeit t_n läßt sich ein Maß für die Trägheit ableiten:

$$T = 1 - \left| \frac{t_n - t_{e,n}}{t_{e,n}} \right| \quad \text{Gl. 3-5}$$

Diese dimensionslose Größe dient in erster Linie dazu, bei der Ausgabe von Wegen in der Simulation die Wirkung des Erfahrungsmodells nach mehreren Läufen beurteilen zu können, indem die Entwicklung von T mit zunehmenden n beobachtet wird.

3.4.2 Kenntnisse und Information

Der Einsatz von Information zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage zielt auf die Verbesserung der Kenntnisse der Verkehrsnachfrager. Die unterschwellige, weil selten so ausdrücklich geäußerte, Annahme ist, daß Verkehrsnachfrager unvollständige oder mangelhafte Kenntnisse über Handlungsoptionen und deren Eigenschaften haben und deshalb im Sinne der Planenden "falsche" Entscheidungen treffen.

Dieses Prinzip entspricht dem traditionellen Vorgehen der Planung, Verkehrsnachfrage mit objektiv meßbaren Eigenschaften der Optionen zu erklären, z.B. der Reisezeit oder der Entfernung einer bestimmten Verkehrsmittel-Weg-Kombination. Der Erklärungsansatz beruht auf der augenscheinlich plausiblen Annahme, daß die Verkehrsnachfrager ihre Wegentscheidungen so treffen, daß ein für sie mit der Durchführung des Weges und der Aktivität am Zielort verbundener Nutzen maximal wird.

Wermuth [1993:247-248] unterscheidet in seiner Diskussion individueller Entscheidungsmodelle zwischen dem objektiven Nutzenanteil einer Option j

$$u_j = u(S_j, X_j), \quad \text{Gl.3-3}$$

der von situativen Merkmalen S_j und objektiven Qualitätsmerkmalen X_j abhängt und einem (subjektiven) stochastischen Nutzenbetrag z_j , um den der *subjektive* Nutzen y_j einer Alternative vom objektiven Nutzen abweicht:

$$y_j = u_j + z_j, \quad \text{Gl.3-4}$$

Wermuth führt als Grund an, daß "verschiedene Personen mit denselben situativen Merkmalen den Nutzen einer Alternative subjektiv unterschiedlich einschätzen, da nicht alle Personen über die wahren Eigenschaften einer Alternative gleichermaßen informiert sind oder/und die einzelnen Merkmale (. . .) unterschiedlich gewichten"[Wermuth, 1993:247].

Hier steckt einerseits das Dilemma der Planung, die mit objektiven Eigenschaften der Handlungsoptionen operiert, obwohl Nutzerentscheidungen nach möglicherweise ganz anderen Eigenschaften oder anderen Ausprägungen dieser Eigenschaften getroffen werden. Andererseits weckt dieser Sachverhalt die Hoffnung, mit Information das Nachfrageverhalten beeinflussen zu können und die Nutzer zu objektiven und im Sinne der Planung rationaleren Entscheidungen zu bringen.

Der Mechanismus dieser Beeinflussung hat dabei die Aufgabe, das Wissen des Nutzers zu vergrößern. Dazu sind die *Kenntnisse* der Nutzer bezüglich der Eigenschaft einer Handlungsoption zu "objektivieren", das heißt, *durch Information werden vorhandene Kenntnisse modifiziert*, sofern diese sich vom Informationsinhalt unterscheiden. Darüberhinaus entstehen Kenntnisse neuer Handlungsoptionen, sofern es durchführbare Optionen gibt, die im Wissen des Nutzers bis zum Zeitpunkt der Information nicht enthalten waren.

3.4.3 Modell des Informationsverarbeitungsprozesses

Die Beschreibung der Einwirkung von Information auf Entscheidungen ist von wesentlicher Bedeutung für die modellhafte Darstellung der Wirkung von NIS. Der Entscheidungsprozeß muß so abgebildet werden, daß der Entscheidungsmechanismus im Fall der Entscheidung ohne Information auf den gleichen Größen basiert wie im Fall der Entscheidung mit Information. Dazu bedarf es eines Denkmodells zur Informationsverarbeitung, das konsistent ist zur Vorstellung der Nutzerentscheidung auf der Basis individueller Kenntnisse.

Sofern man keine eigenen, insbesondere empirische, Erkenntnisse dazu erarbeitet, was im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war, kann und muß man sich dazu anderer Disziplinen bedienen, die auf dem Feld der Informationsverarbeitung in Entscheidungsprozessen die notwendigen Zusammenhänge zur Verfügung stellen können. Eine Disziplin, die hier aus ähnlicher Interessenslage wesentliche Erkenntnisse erarbeitet hat, ist die Ökonomie, bei der die Verkehrsplanung schon viele Anleihen¹⁹ getätigt hat. Auch hier wird versucht, die individuelle Entscheidung darzustellen, was insbesondere im Marketing eine wichtige Rolle spielt. Hier sind durchaus ähnliche Fragestellungen gegeben. In beiden Gebieten, im Marketing und in der Verkehrsplanung, geht es darum, die Wahl von Alternativen zu beeinflussen, z.B. zugunsten neuer Produkte (im Marketing) oder alternativer Verkehrsmittel (in der Planung).

Bettman [1979] hat dazu eine sehr ausführliche Theorie der Informationsverarbeitung bei der Konsumentenentscheidung formuliert, aus der sich eine vereinfachte Anschauung der Entscheidung unter Informationseinfluß ableiten läßt (siehe Abbildung 3-13). Diese relativ triviale Anschauung ist ausschließlich unter dem Aspekt der konsistenten Modellierung des Entscheidungsprozesses zu sehen und nicht als Versuch der Durchdringung aller Abläufe unter der Einwirkung von Information. Eine kurze Diskussion von Bettmans Theorie soll daher nur dazu dienen, die wesentlichen Einflußgrößen zu identifizieren und sie dem Einsatz von NIS gegenüberzustellen sowie die Konsistenz und Gültigkeit der getroffenen Annahmen der Entscheidungsmodule des Verkehrsnachfragemodells sicherzustellen.

¹⁹ Insbesondere in der Ökonometrie, aus der auch das verbreitete Logit-Modell zur Verkehrsmittelwahl stammt (vgl. auch Ben-Akiva/Lerman, 1985).

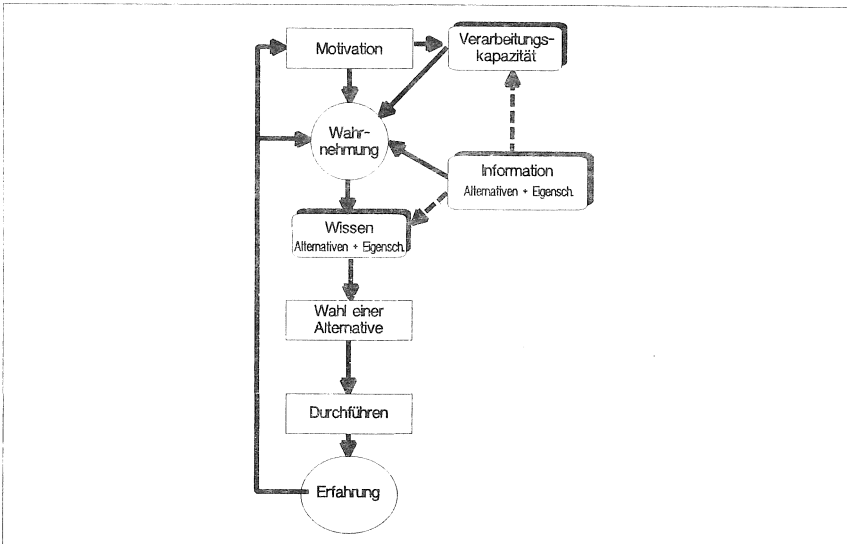


Abb. 3-13
Entscheidung und Information

[vereinfacht nach Bettman, 1979]

Mit gewissen Abwandlungen der Theorie von Bettman, die hauptsächlich begrifflicher Natur sind, läßt sich der Informationsverarbeitungsprozeß mit den bereits eingeführten Elementen Wissen, Erfahrung, und Wahrnehmung beschreiben, wenn man in den Prozeß die Elemente Motivation und Verarbeitungskapazität einführt.

Motivation

Bettman geht davon aus, daß der Entscheidungsprozeß ein Auswahlprozeß ist, bei dem eine Option gewählt wird. Aus der Annahme eines Prozesses ergibt sich, daß die Wahl einer Option ein Übergang von einem Ausgangsstatus zu einem Wunschstatus ist. Dieser Übergang ist mit einem Aufwand verbunden. In der Ökonomie heißt das, vereinfacht ausgedrückt, ohne die Terminologie der Ökonomen anzuwenden, daß der Konsument ein bestimmtes Ziel verfolgt, zu dessen Erreichung er etwas aufwenden und folglich Geld ausgeben muß. Dieser Übergang wird vom Konsumenten mit Hilfe von Strategien und Heuristiken bewältigt. Bettman beschreibt nun die Motivation als einen Satz von Mechanismen zur Kontrolle dieses Prozesses. Der wesentliche Bestandteil der Motivation sind die Ziele, die der Entscheider verfolgt. Bettman beschreibt sie als Zielhierarchie²⁰, wie zum Beispiel beim Kauf einer Waschmaschine. Bettmans Beispiel ist in Abbildung 3-14 wiedergegeben.

²⁰ Bettman benutzt den Begriff "goal", der nicht völlig mit dem Begriff Ziel übereinstimmt. Zum Teil beinhalten die Unterziele vielmehr Teilschritte, die verschiedene Möglichkeiten zur Erreichung eines (Teil-)Ziels sind.

Dabei folgen auf das Oberziel ("Kauf einer Waschmaschine") Unterziele, deren Erfüllung durch Informationsbeschaffung sichergestellt wird, für die weitere Einzelziele in einer Baumstruktur angeordnet sind. Weitere Bestandteile der Motivation sind nach Bettman ein Unterbrechungsmechanismus

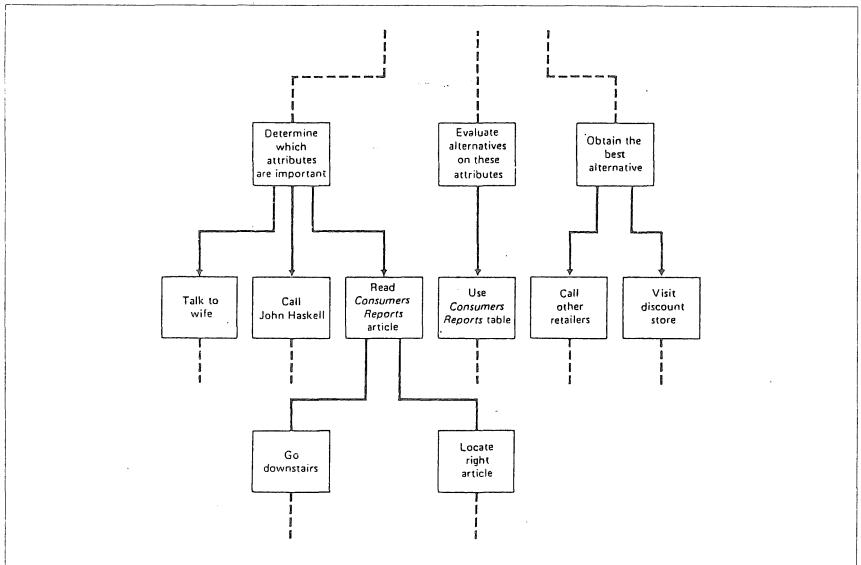


Abb. 3-14
Zielhierarchie beim Kauf einer Waschmaschine

[Quelle: Bettman]

("interrupt mechanism") und ein "Scanner", die es erlauben, die Strategieausführung bzw. die Zielverfolgung den Umgebungsbedingungen anzupassen. Dabei werden Teilziele nicht weiter verfolgt und es findet eine Verlagerung auf andere Teilziele statt, wenn sich antizipierte Entscheidungssituationen nicht einstellen.

Wichtig sind in diesem Zusammenhang zwei Aspekte der Beschreibung Bettmans:

- dem Entscheidungsprozeß unterliegt die Verfolgung von Zielen
- die Zielerfüllungsstrategie basiert auf der Verarbeitung von Kenntnissen, die Eigenschaften der Entscheidungsoptionen beschreiben.

Dadurch wird die klassische Beschreibung der Nutzerentscheidung in der Verkehrsplanung, die auf der Erfüllung von Zielkriterien basiert, konsistent mit der Verarbeitung von Informationen über die Optionen. Damit läßt sich die Entscheidung unter dem Einfluß (externer) Informationen in gleicher Weise beschreiben wie die Entscheidung aufgrund (internen) Wissens.

Verarbeitungskapazität

Die Verarbeitungskapazität ist eine wichtige Steuergröße des Informationsverarbeitungsprozesses. Sie ist in erster Linie eine physiologische Kenngröße von Menschen, deren Fähigkeit zur Aufnahme und Verarbeitung von Signalen durch neuronale Eigenschaften begrenzt ist. Sie hat somit eine einschränkende Funktion für den Einsatz von Information.

"Viele Autoren benutzen die Hypothese, daß Menschen eine begrenzte Kapazität zur Verarbeitung von Informationen haben. Das bewirkt, daß Menschen beim Treffen von Entscheidungen keine komplizierten Berechnungen vornehmen können oder in extensive Verarbeitung eintreten können, ohne dazu erhebliche Anstrengungen zu unternehmen. Auch sind Menschen beschränkt in dem Ausmaß, in dem sie viele Aktivitäten gleichzeitig ausführen können. Diese Erkenntnisse sind sehr wichtig für eine Entscheidungstheorie, weil solche Einschränkungen die Art der Strategien oder Regeln beeinflusst, die Konsumenten in verschiedenen Entscheidungssituationen benutzen können." [Bettman, 1979:S.17-18; Übersetzung durch den Autor]

Dadurch tendieren Nutzer dazu, in Entscheidungssituationen möglichst einfache Entscheidungsregeln zu verwenden, z.B. indem sie nur ein Zielkriterium optimieren, das sie als konform mit den anderen Zielkriterien einschätzen oder die Zahl der Optionen begrenzen, um den Auswahlprozeß zu vereinfachen.

Die Zuteilung von Verarbeitungskapazität wird von der Motivation beeinflusst. Je wichtiger Ziele eingeschätzt werden, desto höher ist der Betrag an Kapazität, der für die Durchführung der Entscheidungsstrategie zur Verfügung gestellt wird.

Im Verkehrsbereich ist die Bedeutung dieser Größe geringer einzuschätzen, da komplexe Entscheidungsstrategien für einzelne Entscheidungen in der Regel nicht notwendig sind, weil die Zahl der Optionen in der Regel klein ist. Wohl aber erklärt die Verarbeitungskapazität den Effekt der Habitualisierung (Routinenbildung). Wegen der Bewährung im Hinblick auf die Zielerfüllung bestimmter Entscheidungsmuster wird keine neue Verarbeitungskapazität zur Verfügung gestellt und eine Informationssuche (wie sie bei Kaufentscheidungen in der Regel erfolgt) unterbleibt.

Mit den Elementen Motivation und Verarbeitungskapazität und den ebenfalls bei Bettman verwandten Elementen Wahrnehmung (Attention and perceptual encoding) und Erfahrung (consumption and learning process) lassen sich die folgenden Thesen zur Informationsverarbeitung bei Verkehrsnachfrageentscheidungen formulieren:

- Nutzer entscheiden aufgrund ihrer Motivation, sie wählen Handlungsoptionen, die ihren Zielen soweit als möglich entsprechen.
- Die Entscheidungsstrategien sind auf die Auswertung der Eigenschaften der Handlungsoptionen abgestimmt.

- Die Einschätzung der Eigenschaften von Optionen erfolgt durch einen Wahrnehmungsprozeß, für den Verarbeitungskapazität zur Verfügung gestellt werden muß.
- Die zur Verfügung gestellte Verarbeitungskapazität beeinflusst die Wahrnehmung und wird ihrerseits durch die Motivation beeinflusst.
- Die Entscheidung wird aufgrund von Kenntnissen getroffen, die entweder mit der Durchführung bisheriger Entscheidungen erworben wurden oder aber aus der Auswertung von Informationen stammen.

Daraus ergibt sich für den gezielten Einsatz von Information, daß sie inhaltlich mit der Motivation korrespondieren und die Kenntnisse vermitteln muß, die den Zielkriterien der Nutzer möglichst nahe kommen und daß sie die entscheidungsrelevanten Eigenschaften der Optionen enthalten sollte. Die Darbietung der Information muß so erfolgen, daß die notwendige Verarbeitungskapazität niedrig bleibt. NIS, wie sie in Kapitel 3 skizziert wurden, erscheinen grundsätzlich geeignet, diese Anforderungen zu erfüllen. Die Wirksamkeit wird jedoch vor dem Hintergrund zu beleuchten sein, *welche* Entscheidungen einer Wegekette sie beeinflussen können.

3.4.4 Wirkungspotentiale

3.4.4.1 Potentialbetrachtung

Die Abschätzung von Potentialen ist ein sehr grundsätzliches Mittel, die planerischen Handlungsmöglichkeiten auszuloten. Es ist der Versuch, über den Zusammenhang zwischen den Maßnahmen und den Wirkungsmechanismen festzustellen, welche Wirkungen eintreten können und in welchem Umfang das zu erwarten ist. Dazu ist es zweckmäßig, zwei Dimensionen des Wirkungspotentials zu betrachten:

- das qualitative Potential und
- das quantitative Potential

Das qualitative Potential beschreibt die prinzipielle Möglichkeit einer Wirkung auf einzelne Elemente der Verkehrsnachfrage, wie zum Beispiel auf die Verkehrsmittelwahl. Eine Wirkung sei in diesem Sinne dadurch gekennzeichnet, daß eine (zunächst beliebig große) Änderung gegenüber einem Zustand ohne Maßnahme eintritt. Läßt eine Maßnahme erwarten, daß sie in einem bestimmten Bereich keine Änderung hervorrufen kann, dann hat sie bezüglich dieses Bereiches kein qualitatives Potential (und demnach auch kein quantitatives). Wirkt beispielsweise eine Information ausschließlich auf die Routenwahl ein, dann weist sie bezüglich der Verkehrsmittelwahl kein qualitatives Potential auf. Es gilt daher, zunächst zu prüfen, welche Systeme eine oder mehrere der Entscheidungen über den Antritt eines Weges, die Zielwahl, die Verkehrsmittelwahl oder die Abfahrtszeitwahl beeinflussen können.

Erst das Vorhandensein eines qualitativen Potentials, also der grundsätzlichen Möglichkeit einer Wirkung auf bestimmte Entscheidungsbereiche, schafft ein quantitatives Potential. Das quantitative Potential bezieht sich auf den theoretisch denkbaren Betrag einer Änderung. Dieser Änderungsbetrag soll mit Wirksamkeit bezeichnet werden. Besteht ein qualitatives Potential, so ist zu prüfen, welche Änderungen maximal erzielbar sind. Quantitative Potentiale beschreiben die maximale Wirksamkeit, die eintreten *könnte*. Die Betonung der Konditionalität ist überaus wichtig, da Potentiale nicht mit Wirksamkeit verwechselt werden dürfen. Die Wirksamkeit ergibt sich aus dem möglichen Grad der Ausschöpfung eines qualitativen Potentials. Das könnte zum Beispiel die sich aus der Maßnahme ergebende maximale Änderung des Modal Splits sein.

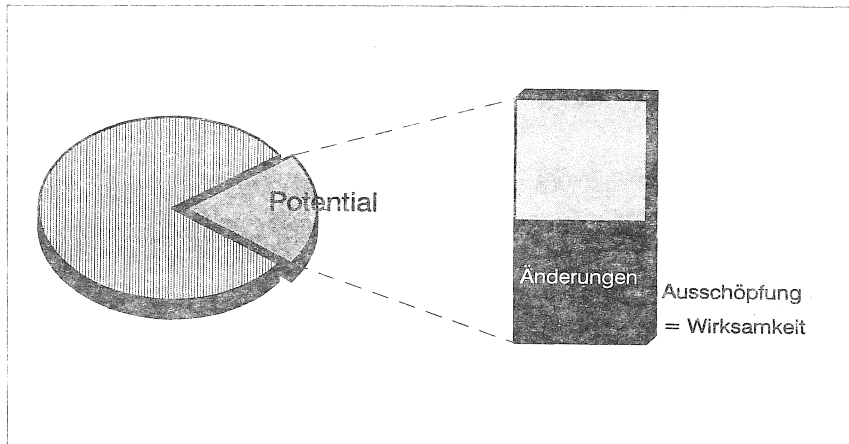


Abb. 3-15
Potential und Wirksamkeit

Die quantitativen Potentiale von NIS sind derzeit noch relativ unbekannt, da neuere dynamische NIS zum größten Teil nur versuchsweise bzw. nicht flächendeckend eingesetzt werden. Eine Reihe von Feldversuchen findet im Rahmen des DRIVE-II-Programms statt, es existieren bis dato aber nur unzureichende Auswertungen. Erste Anhaltspunkte ergeben sich aus verschiedenen Befragungen.

In Southampton wurde bei der Vorstellung eines Haltestelleninformationssystems mit dynamischer Erfassung der Busse und Anzeige der Wartezeiten bis zur Abfahrt des nächsten Busses (STOPWATCH²¹) eine Befragung der Wartenden durchgeführt. Dabei ergab sich ein Anteil von 16% der Befragten, die angaben, sie würden infolge des Systems öfter den Bus benutzen (bei einem Anteil von 22%, die als häufigstes Verkehrsmittel nicht den Bus benutzen). Weitergehende Befragungen und Auswertungen liegen derzeit noch nicht vor.

²¹ STOPWATCH ist Bestandteil des SCOPE-Projekts

Körner und Lindner [1993] ermittelten bei einer Passantenbefragung in der Krefelder Innenstadt zur Einführung einer dynamischen Haltestelleninformation einen Anteil an den befragten MIV-Nutzern (überwiegender Fahrtzweck Einkaufen) von ca. 60%, die als (quantitatives) Potential für den ÖV erschließbar wären.

An anderer Stelle finden sich Erkenntnisse zum quantitativen Potential von RDS/TMC, die aus der Simulation des Verkehrsflusses in einem großen Netz gewonnen wurden. Chen und Anders[1994] simulierten die Entscheidungen der PKW-Fahrer zur Routenwahl unter dem Einfluß verschiedener Informationsquellen (normaler Verkehrsfunk oder RDS/TMC). Dazu wurde die Verkehrssituation im übergeordneten Straßennetz Nord-Rhein-Westfalens an einem Freitagnachmittag abgebildet und eine dynamische Umlegung vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen deutliche Reduktionen der Fahrzeiten für *alle* Nutzer (bei 60% Ausrüstung 9% Reduktion).

Die vorhandenen Zahlen belegen zunächst, daß es beachtliche quantitative Potentiale gibt, reichen jedoch nicht aus, um diese für ein größeres Anwendungsfeld abzuschätzen, ohne die Modellierung der Verkehrsnachfrage in Anspruch zu nehmen. Die Betrachtung muß sich an dieser Stelle daher auf die qualitativen Potentiale beschränken. Sie ist jedoch eine wichtige Voraussetzung für die Formulierung von Anwendungsszenarien für die Modellierung der Wirkung von NIS. Diese Anwendungsszenarien müssen sich auch mit dem Zusammenwirken von verschiedenen NIS beschäftigen.

Bei der qualitativen Potentialbeschreibung empfiehlt es sich, nach Informationen vor dem Antritt eines Weges und solchen während der Fahrt²² zu unterscheiden, da sich hier wegen der unterschiedlichen Entscheidungsbereiche völlig unterschiedliche Potentiale ergeben. Die Potentiale ergeben sich aus den Handlungsoptionen, die zum Zeitpunkt der Information noch disponibel sind und aus verschiedenen Randbedingungen, die entweder die Disponibilität der Entscheidung einschränken oder für die Information gelten müssen, um für den Nutzer verwertbar zu sein:

- Handlungsspielräume beim Nutzer (individuelle Voraussetzungen)
Die Wahl einer Alternative, die den 'Betreiberintentionen' entspricht, aber aufgrund eingeschränkter oder nicht vorhandener individueller Handlungsspielräume für den Nutzer nicht zur Verfügung steht oder nicht durchführbar ist, ist auch durch Informationen über die Alternative nicht erzielbar.
- Entscheidungskonforme Information
Die Information muß aus Kriterien bestehen, die Nutzer üblicherweise zur Entscheidung heranziehen, das sind zum Beispiel Reisezeiten oder Kosten bei der Entscheidung über die Wahl eines Verkehrsmittels.

²² Der Begriff Fahrt wurde bewußt gewählt, da NIS zielgruppenspezifisch nur im motorisierten Verkehr einsetzbar sind.

- Systemvoraussetzungen

Das NIS sollte Eigenschaften aufweisen, die der jeweiligen Entscheidungsstufe angemessen sind, z.B. dynamische Information bei der Wahl der Abfahrtszeit oder systemübergreifende Information bei der Wahl des Verkehrsmittels.

3.4.4.2 Informationen vor Wegeantritt

Erfolgt das Angebot von Informationen vor dem Antritt eines Weges, sind grundsätzlich alle Entscheidungen (siehe Tabelle 3-5) disponibel, d.h. es ergibt sich ein Potential für die Beeinflussung aller Nachfrageelemente:

- Verkehrsaufkommen,
- Verkehrsleistung (über die Zielwahl oder die Routenwahl),
- Modal Split und
- zeitliche Verteilung (Ganglinie)

Entscheidung	individuelle Voraussetzungen	Randbedingungen	Informationen	Systemvoraussetzungen
Wegeantritt	Wegezweck disponibel	(subjektiver) Aktivitätsnutzen	Reisezeiten Kosten Routen	(quasi-dynamisch) dynamisch beschreibend
Ziel	Ziel disponibel	Erreichbarkeit, Verkehrsmittelverfügbarkeit, Aktivitätsgelegenheiten	Reisezeiten Kosten Linien/Routen	dynamisch
Verkehrsmittel	keine Transportzwänge oder Verkettungen	Verkehrsmittelverfügbarkeit, bzw. -erreichbarkeit	Reisezeiten Kosten/ Tarifinformationen Zugang Linien	systemübergreifend
Route	keine	keine	Routen	beschreibend/ empfehlend
Abfahrtszeit	Zeitfenster/ zeitliche Flexibilität	(subjektiver) Aktivitätsnutzen	Reisezeit Linien/Routen Kosten	dynamisch

Tabelle 3-5: Entscheidungen und Information vor Wegeantritt

3.4.4.3 Zielgruppenspezifische Information während der Fahrt

Nach dem Antritt eines Weges ergeben sich zwei relevante Situationen zum Einsatz von NIS: die MIV-Fahrt und die ÖV-Fahrt.

Bei Fahrgästen des ÖV ist das Potential von NIS mehr in der Fahrtunterstützung als in der Entscheidungsbeeinflussung zu sehen. Die Fahrgäste werden in den verschiedenen Stadien einer Fahrt durch Informationen geleitet, wobei es möglich wird, optimale Routen bzw. Linienfolgen leichter aufzufinden (auch bei Betriebsstörungen). Das hat i.d.R. eine unmittelbare Attraktivitätssteigerung des ÖV durch NIS und eine hohe Akzeptanz beim Nutzer zur Folge.

Damit ergibt sich ein gewisses Potential zur Beeinflussung der Verkehrsmittelwahl durch indirekte Effekte. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß Umsteigeeffekte nicht nur vom MIV erfolgen können, sondern daß auch Fahrrad- und vor allem Fußwege auf den ÖV verlagert werden können. Informationssysteme im öffentlichen Raum sprechen auch Fußgänger an, die z.B. Haltestellen passieren.

Umgebung	Entscheidung	Information	System-Voraussetzungen
Haltestelle (Zugang)	Linie	Routen/ Linien- information Reisezeit Wartezeit	dynamisch beschreibend/ empfehend
Fahrzeug	Umsteigen	Anschlüsse/Wartezeit Routen/ Linieninformation	dynamisch empfehend
Haltestelle (Umsteigen)	Linie	Routen/ Linien- information Reisezeit Wartezeit	dynamisch beschreibend/ empfehend
Fahrzeug	Aussteigen	Ziele	keine
Haltestelle (Abgang)	Routenwahl	Routen	statisch

Tabelle 3-6: Entscheidungen und Information bei ÖV-Nutzern

Im MIV sind die Möglichkeiten von NIS dagegen in der Beeinflussung der Fahrt zu sehen (siehe Tabelle 4-3). Neben Systemen, die lediglich dazu dienen, den Fahrer zum gewählten Ziel zu führen und so die Routenwahl nutzeroptimal zu gestalten (entweder statisch oder unter Berücksichtigung der aktuellen Belastungszustände), sind aus planerischer Sicht solche NIS besonders interessant, die, zentral gesteuert, eine am Systemoptimum orientierte Routenwahl veranlassen.

Darüberhinaus sind es vor allem die Steuerung des Parksuchverkehrs und die Verknüpfung mit dem ÖV durch Park&Ride-Empfehlungen mittels fahrzeuginterner Assistenzsysteme oder Wechselverkehrszeichen, die positive Effekte im städtischen MIV versprechen.

Das Potential liegt hier in den Nachfrageelementen:

- Verkehrsleistung (über die Routenwahl),
- zeitliche Verteilung (lokale Streckenganglinien) und
- Verkehrsmittelwahl (nur sehr bedingt durch 'Park & Ride').

Umgebung	Entscheidung	Information	System-voraussetzungen
Fahrzeug	Routenwahl	Routen Zielführung Reisezeiten Verkehrszustände Kosten	quasi-dynamisch/ dynamisch, beschreibend/ empfehlend
Parkplatzsuche	Zielwahl Verkehrsmittelwahl Routenwahl	Stellplatzverfügbarkeit Route Parkgebühren	dynamisch, beschreibend/ empfehlend
Park & Ride (- ÖV-Fahrt)		Stellplatzverfügbarkeit Routen/Linieninformation Tarifinformationen Zugang Reisezeit Wartezeit	dynamisch, beschreibend/ empfehlend, systemübergreifend
Parkplatz (Abgang)	Routenwahl	Routen Parkgebühren	statisch

Tabelle 3-7: Entscheidungen und Information bei MIV-Nutzern

Im Gegensatz zum ÖV ist das Wirkungspotential sehr stark von der Akzeptanz der Systeme abhängig, die ihrerseits von der Nutzensteigerung für den PKW-Fahrer abhängt. In Fällen, in denen die Ausrüstung vom Nutzer durch die Anschaffung entsprechender Geräte selbst mitfinanziert werden muß, steht der individuelle Nutzen zunächst im Vordergrund.

Ist ein solcher Nutzen gegeben, könnten MIV-interne Systeme jedoch ähnlich wie im ÖV eine Steigerung der Attraktivität der MIV-Nutzung bewirken und damit eine möglicherweise nicht gewollte Beeinflussung der Verkehrsmittelwahl durch sekundäre Effekte herbeiführen.

3.4.4.4 Zusammenfassende Betrachtung

Das höchste (qualitative) Potential weisen NIS auf, die vor dem Verlassen des Hauses bzw. vor dem Antritt eines Weges zur Verfügung stehen. Eine hohe Ausschöpfung ist aber nur zu erwarten, wenn die Systeme technisch hoch entwickelt sind. Das heißt, sie müssen verkehrsträgerübergreifend arbeiten und dynamische Informationen liefern, die die Optionen entscheidungskonform beschreiben.

Die Optimierung von MIV-Fahrten durch Fahrerinformationssysteme ist sicher wünschenswert, läßt aber ein großes Potential weitergehender Beeinflussung, insbesondere in der Verkehrsmittelwahl, ungenutzt. Ein modaler Effekt ist direkt nur durch P&R-Verknüpfungen zu erzielen. Ein zeitlicher Effekt bei der Wahl der Abfahrtszeiten ist nur sehr bedingt möglich, da die Nutzung von fahrzeuginnen Systemen voraussetzt, daß der Weg bereits angetreten ist oder zumindest das Fahrzeug bereits bestiegen ist. Verlagerungen im Netz bewirken lediglich lokale Spitzenreduktionen.

Der Einsatz von Fahrgastinformationssystemen spricht primär ebenfalls diejenigen an, die sich bereits für den ÖV entschieden haben und stellt in erster Linie eine Serviceverbesserung dar. Dadurch wirken solche Systeme attraktivitätssteigernd für den ÖV, wodurch sich sekundär Potentiale an neuen Fahrgästen ergeben. Es ist jedoch ungeklärt, ob der Effekt im Bereich des MIV nicht ähnlich ist, was bedeuten würde, daß sich die Wirkungen bei verbreitetem Einsatz von Fahrgast- und Fahrerinformationssystemen kompensieren würden.

Man kann solche Systeme jedoch als Glieder einer Informationskette betrachten, die beim Nutzer schon vor dem Antritt des Weges beginnt und ihn bei der Umsetzung seiner Entscheidungen unterstützt. Dadurch werden alle Optionen innerhalb der Handlungsspielräume der Nutzer erschlossen und umsetzbar. Dabei muß selbstverständlich gelten, daß für die Nutzer attraktive Optionen existieren, deren Nutzung den planerischen Intentionen entspricht. Es darf z.B. nicht übersehen werden, daß die Alternative ÖV in der Verkehrsmittelwahl in vielen Fällen bzw. für viele Nutzer durchaus objektive ungünstigere Eigenschaften aufweist. Information kann Entscheidungsänderungen nur dann bewirken, wenn die Erwartungen von Nutzern tatsächlich von der realen Situation abweichen.

Um das quantitative Potential von NIS zu ermitteln, muß derzeit die Modellierung eingesetzt werden. Sie ermöglicht es, unter Berücksichtigung der Handlungsspielräume der Nutzer und der realen Angebotsstruktur der Verkehrsträger (MIV- und ÖV-Netz), den Einfluß von Information auf die Nutzerentscheidungen abzubilden und das Wirkungspotential aus der Aggregation der Entscheidungen und der Gegenüberstellung zu einem Bezugsfall ohne Maßnahmen zu ermitteln. Dies ist zum einen ein notwendiger Behelf, da ausreichende empirische Erkenntnisse nicht vorliegen. Zum anderen bietet die Modellierung die Möglichkeit, Interdependenzen zwischen verschiedenen NIS einerseits und zwischen den verschiedenen Nachfrageelementen und Verkehrsträgern andererseits abzubilden, was auch in Feldversuchen nicht ohne weiteres möglich wäre.

4 Modellierung der Verkehrsnachfrage unter dem Einfluß von Information

4.1 Modellansatz

Bei Verkehrsnachfragemodellen kann man in grober Gliederung zwei Modelltypen unterscheiden:

- Raumaggregat-Modelle und
- Individualverhaltensmodelle.

Beide Modelltypen wurden und werden noch in der Literatur (vgl. z.B. Wermuth [1983] oder DVWG [1981]) ausführlich und kontrovers diskutiert. Sie sollen hier nur kurz beschrieben werden, soweit eine Diskussion der Frage der Eignung eines der beiden Ansätze für das vorliegende Einsatzfeld dienlich ist.

4.1.1 Raumaggregat-Modelle

Dieser Modelltyp repräsentiert klassisches Ingenieurdenken insofern, als er 'Lastannahmen' auf der Basis deterministisch formulierter Zusammenhänge zwischen den Dimensionierungsgrößen und den Systemgrößen des zu dimensionierenden Gegenstands (Verkehrsnetz) liefert.

Die Raumaggregat-Modelle basieren im wesentlichen auf der Annahme, daß sich die Verkehrsnachfrage als Funktion von Strukturgrößen der betrachteten Raumeinheit deterministisch abbilden läßt.

Aus der Analyse des Verkehrsaufkommens (Quell- und Zielverkehr) der Zellen des Planungsraumes und den dort vorhandenen Strukturdaten, wie Zahl der Einwohner, Zahl der Erwerbstätigen oder Zahl der Arbeitsplätze, werden Gleichungen abgeleitet, die den Quellverkehr bzw. den Zielverkehr einer Verkehrszelle des Planungsgebiets beschreiben. Wegen der Verwendung der Regressionsrechnung sind dies in der Regel lineare Zusammenhänge der Art:

$$\begin{aligned} Q_i &= a_0 + a_1 \cdot S_{1i} + a_2 \cdot S_{2i} + \dots + a_q \cdot S_{qi} \quad \text{bzw.} \\ Z_j &= a_0 + a_1 \cdot S_{1j} + a_2 \cdot S_{2j} + \dots + a_z \cdot S_{zj} \end{aligned} \quad \text{Gl. 4-1}$$

S_{qi} sind die erklärenden Variablen für den Quellverkehr der Zelle i und S_{zj} die erklärenden Variablen für den Zielverkehr der Zelle j .

In der Prognose werden geschätzte Strukturdaten eingesetzt und mit konstant angenommenen Faktoren a_q bzw. a_z die Zahl der Fahrten des Quell- und Zielverkehrs berechnet.

Dieser Ansatz ist eingebettet in ein sequentielles Modellsystem. Das errechnete Verkehrsaufkommen wird zunächst auf die Bezirke verteilt, um so zu Quelle-Ziel-Matrizen zu kommen. Dazu werden naturwissenschaftlich orientierte deterministische Verfahren benutzt, wie zum Beispiel der Gravitationsansatz:

$$F_{ij} = c \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot f(w_{ij}) \quad \text{Gl. 4-2}$$

Dabei entspricht c der Gravitationskonstanten, die Quell- und Zielverkehrsmengen Q_i und Z_j den Massen der betrachteten Verkehrszellen und $f(w_{ij})$ der Entfernungsfunktion zwischen den Zellen i und j . Die Konstante c und die Widerstandsfunktion müssen iterativ anhand der gemessenen Analysematrix bestimmt werden, wobei die Randbedingungen

$$\sum_j F_{ij} = Q_i$$

$$\sum_i F_{ij} = Z_j$$

Gl. 4-3

einzuhalten sind.

Die Fahrten sind dann auf die Verkehrsmittel aufzuteilen, wozu in erster Linie ökonometrische Modelle (z.B. das Logit-Modell) benutzt werden, die Anteilsätze für die einzelnen Quelle-Ziel-Relationen aufgrund von Nutzenbewertungen berechnen. Die dann für einzelne Verkehrsmittel erhaltenen Fahrtenmengen werden in einem Umlegungsmodell im Netz als Belastungen abgebildet.

4.1.2 Individualverhaltensmodelle als Wegemodelle

Individualverhaltensmodelle arbeiten nicht mit Raumaggregaten, sondern auf der Basis der Erkenntnis, daß Wege das Ergebnis individuellen Verhaltens sind. Alle Fahrten im Personenverkehr entstehen, weil Menschen für das Ausüben von Aktivitäten bestimmte Orte aufsuchen. Daraus ergeben sich Aktivitätsketten, die die Sequenz der aushäusigen Aktivitäten über einen Tag repräsentieren. Zwischen jeder Aktivität ergibt sich ein Weg.

Die Verwendung solcher Ketten führt die Verkehrsnachfrage auf die determinierenden Verhaltensmerkmale von Personen zurück, es wird also nicht direkt der Weg modelliert, sondern zunächst die Nachfrage nach Aktivitäten, die die Nachfrage nach einer Ortsveränderung zu deren Ausübung auslöst. Die Zahl der Wege der Einwohner eines Untersuchungsgebiets wird damit zur Funktion der (aushäusigen) Aktivitäten der Einwohner.

Dabei ist es vorteilhaft, die Population des Untersuchungsgebiets in Personengruppen einzuteilen, die in sich ein möglichst homogenes und untereinander ein möglichst heterogenes Verhalten im Hinblick auf die Aktivitätsprogramme aufweisen und sich durch eindeutige soziodemographische Merkmale abgrenzen lassen. Solche Gruppen können aus Verkehrsverhaltensbefragungen identifiziert werden durch den Einsatz von statistischen Trennverfahren (z.B. die Clusteranalyse), wie Kutter [1972] und Schmiedel [1984] es getan haben. Beide verwendeten die Zeitbudgets für werktägliche außerhäusige Aktivitäten bzw. für werktägliche Verkehrsaktivitäten als Klassifizierungsmerkmal.

Die Beschreibung der Gruppen ähnlichen²³ Verhaltens erfolgt mittels Merkmalen wie Geschlecht, Status oder Alter. Diese soziodemographische Beschreibung ermöglicht eine modellgerechte Repräsentation der Bevölkerung im Planungsraum, da die Merkmale zum einen in den Befragungen zur Verfügung stehen und zum anderen aus der Sekundärstatistik entnommen werden können.

Die von den Einwohnern erzeugten²⁴ Wege lassen sich damit wie folgt abbilden:

$$F_i = \sum_g f_g \cdot p_{gi} \quad \text{Gl. 4-4}$$

- mit F_i = Zahl der Wege, die von den Einwohnern der Zelle i nachgefragt werden
- g = Personengruppe mit ähnlichem Verhalten (gruppenspezifische Fahrtenhäufigkeit)
- f_g = Fahrtenhäufigkeit der Gruppe g
- p_{gi} = Anzahl der Personen der Gruppe g in der Zelle i

Man beachte dabei, daß die Ausgabegröße des Ansatzes die Zahl der Wege ist, die von den Einwohnern der betrachteten Gebietseinheit nachgefragt werden, ohne daß diese Wege als Quell- oder Zielverkehr einer bestimmten Zelle definiert sind. Tatsächlich gilt, daß F_i den Quellverkehr, den Zielverkehr und den Binnenverkehr der Zelle teilweise enthält, ohne daß eine dieser Verkehrsarten eine echte Teilmenge von F_i wäre.

$$F_i = Q_i + Z_i + D_i \quad \text{Gl. 4-5}$$

Eine Verfeinerung dieses Ansatzes ergibt sich aus der Verwendung von Fahrtenhäufigkeiten für bestimmte Fahrtzwecke, was zu einer fahrtzweckspezifischen Abbildung der Anzahl von Wegen führt:

$$F_i = \sum_k F_{ki} \quad \text{mit} \quad F_{ki} = \sum_g f_{gk} \cdot p_{gi} \quad \text{Gl. 4-6}$$

- wobei F_{ki} = Zahl der Wege des Fahrtzwecks k , die von der Bevölkerung in der Zelle i nachgefragt werden
- g = Personengruppe mit ähnlichem Verhalten (gruppenspezifische Fahrtenhäufigkeit)
- f_{gk} = Fahrtenhäufigkeit mit Fahrtzweck k der Gruppe g
- p_{gi} = Anzahl der Personen der Gruppe g in der Zelle i

In diesem Fall ist eine teilweise Zuordnung nach Quelle und Ziel möglich, da bestimmte Fahrtzwecke an die Zelle i gebunden sind, sei es als Ziel (nach Hause) oder als Quelle (zur Arbeit), wobei im letzteren Fall die Zuordnung nicht eindeutig ist, da implizit angenommen werden müßte, daß alle Wege zur Arbeit zu Hause beginnen. Die Zuordnung der Wege zur Kette der Aktivitäten geht als Information verloren,

²³ Kutter führte den Begriff der "verhaltenshomogenen Personengruppen" ein. Tatsächlich ist die Forderung nach Homogenität des Verkehrsverhaltens zu weitgehend, weshalb man eher von Verhaltensähnlichkeit sprechen sollte, wie Schmiedel es tat.

²⁴ Der Begriff Verkehrserzeugung ist nach wie vor sehr gebräuchlich zur Umschreibung von Modellen, die das Verkehrsaufkommen bestimmen sollen. Da aber Individuen Verkehr nicht erzeugen, sondern Ortsveränderungen nachfragen, erscheint der Gebrauch des Begriffs Verkehrsnachfrage oder Verkehrsentstehung angemessener.

wenn bei Auswertung der Stichprobe die Angaben zu den Wegen der Individuen in Fahrtenhäufigkeiten transformiert werden. Wegen der fehlenden Zuordnung der Quellen und Ziele ist die Berechnung der Verkehrsverteilung außerordentlich problematisch.

4.1.3 Individualverhaltensmodelle als Wegekettensmodelle

Die Forderung, Verkehrsnachfragemodellen ein höheres Maß an Kausalität und innerer Widerspruchsfreiheit zu geben und am Individualverhalten zu orientieren und dabei den Kontext des Verkehrsverhaltens (siehe Kap. 3) zu behalten, führte zur Entwicklung von Individualverhaltensmodellen, die Verkehrsverhalten auf der Basis von Einzelpersonen und deren Wegekettens²⁵ abbilden. Solche Modelle wurden z.B. von Kutter [1972], Schmiedel [1984] und Zunkeller [1989] formuliert und angewandt.

Die Basis der Modellbildung ist der Ersatz von deterministischen Funktionen durch die Simulation des Verhaltens einzelner Personen. Dabei werden stochastisch-numerische Methoden, in erster Linie die Monte-Carlo-Simulation, verwendet. Wegen vielfältiger Restriktionen durch die Kapazität der einsetzbaren Rechner und die zur Verfügung stehenden Befragungsdaten²⁶ ist es nicht möglich, die Population eines Planungsraumes vollständig nachzubilden. Deshalb behilft man sich mit einer Simulationsstichprobe und überträgt die Eigenschaften der Grundgesamtheit, die aus einer Befragungsstichprobe abgeleitet sind, über die Abbildung der Merkmalsverteilungen auf die Simulationsstichprobe.

Dabei kommt ebenfalls das Konzept der verhaltensähnlichen Gruppen zur Anwendung. Die Simulationsstichprobe entspricht in ihrer soziodemographischen Zusammensetzung der Grundgesamtheit des Untersuchungsraumes. Die Merkmale der Grundgesamtheit, die zur Typisierung der Gruppen herangezogen werden, treten in der Simulationsstichprobe in der gleichen Verteilung auf, wie sie im Untersuchungsraum festgestellt werden kann.

Den simulierten Personen werden gruppenspezifisch Aktivitätenketten zugeordnet. Die Häufigkeitsverteilung der Aktivitätsmuster wird aus der Verteilung der Befragungsstichprobe der jeweiligen Gruppe bestimmt. Die Aktivitätenketten werden nach Zahl, Art und Sequenz der Aktivitäten in der Kette unterschieden. Das Modell arbeitet dann die Aktivitäten ab. Zwischen allen Aktivitäten werden die Wege modelliert, wobei ein Zielwahlmodell das Ziel der jeweils nächsten Aktivität bestimmt. Ein Verkehrsmittelwahlmodell ordnet dem Weg ein Verkehrsmittel zu.

Der Ansatz erfordert Modelle, die im Personenkontext anwendbar sind. In der Zielwahl werden Gelegenheitsmodelle verwendet, die die Wahrscheinlichkeit der Wahl eines Zieles in Abhängigkeit von der Zahl

²⁵ Auch hier wird die Aktivitätsnachfrage als auslösendes Moment der Verkehrsnachfrage betrachtet, und deshalb die Bildung von Aktivitätenketten der Ausführung von Wegen vorangestellt, weshalb der Begriff Aktivitätenkettenmodell ebenso zutreffend wäre.

²⁶ Unter der Annahme, daß die Population eines Untersuchungsraumes vollständig in der Simulation abbildbar wäre, ergäbe sich das Problem, daß das Verhalten der Population unter üblichen finanziellen und organisatorischen Rahmenbedingungen nicht vollständig erhebbar ist.

der Gelegenheiten im Verhältnis zum Aufwand, das Ziel zu erreichen, verwenden. Die Zuordnung erfolgt mittels der Monte-Carlo-Simulation. Die formale Darstellung eines solchen Modells lautet wie folgt:

$$p_{ji}^k = \frac{\frac{G_j^k}{(w_{ij})^{a_k}}}{\sum_j \frac{G_j^k}{(w_{ij})^{a_k}}} \quad \text{mit} \quad \sum_j p_{ij}^k = 1 \quad \text{Gl. 4-7}$$

- mit
- p_{ji}^k = Wahrscheinlichkeit, von der Zelle i aus die Zelle j zum Zweck k aufzusuchen
 - G_j^k = Maß für die Gelegenheiten der Zelle j zur Ausübung des Zwecks k
 - w_{ij} = Widerstand zwischen der Zelle i und der Zelle j
 - a_k = Eichungsfaktor für Fahrtzweck k, $a_k \geq 1$

Damit sind alle Wege nach Quelle und Ziel eindeutig bestimmt, wobei der Kontext der Wegekette berücksichtigt wird, da die Ziele der folgenden Aktivität auf der Basis des jeweiligen Standortes bestimmt werden.

In der Verkehrsmittelwahl werden in der Regel analog zu den aggregierten Modellen ökonomische Modelle angewandt, wobei hier Wahrscheinlichkeiten nicht auf Zellenaggregate bezogen werden, sondern für die Personen einzeln angewandt werden.

4.2 Konzept des EUROSCOPE-Modells

Dieses Kapitel beschreibt die Ausgangssituation zur Modellierung der skizzierten Maßnahmen, indem das EUROSCOPE-Modell als Plattform beschrieben wird. Die Teile des Modells, die im besonderen Maße auf die vorliegende Fragestellung ausgerichtet sind, werden in eigenen Abschnitten beschrieben. Bei der Konzeption des Modells sieht man sich besonderen Fragestellungen gegenüber, was die Anforderungen an das zu entwickelnde Modell betrifft:

- Die Maßnahmen, deren Einwirkungen es zu modellieren gilt, sind im wesentlichen nicht konkret formuliert, sondern vielmehr Ideen zum Einsatz von Information, die in parallel verlaufenden Projekten zu Maßnahmen zu entwickeln waren.
- Die Art und der Umfang der Auswirkungen sind empirisch unbekannt, da es aufgrund des angestrebten Innovationsniveaus noch keine Anwendungen im großen Maßstab gibt.
- Die Maßnahmen wirken in hohem Maße auf individuelle Nutzerentscheidungen ein.

Es galt daher, ein Modell zu entwickeln, das universale Eigenschaften und ein hohes Auflösungsvermögen hinsichtlich der Nutzerentscheidungen aufweist. Deshalb erscheint ein mikroskopischer Modellansatz adäquat, da die Verwendung von Aggregaten per Definition keine Möglichkeit bietet, interpersonell variierende und subjektive Informationseinflüsse abzubilden. Das wäre nur möglich, wenn es Abschätzungen über globale Verhaltensänderungen gäbe, die sich z.B. als Übergangswahrscheinlichkeiten aus der 'Messung' bei Einführung solcher Maßnahmen bereits ergeben hätten. Mikroskopische Individualverhaltensmodelle ermöglichen es, den Kontext des Verkehrsverhaltens beizubehalten und bieten daher in einem begrenzten Rahmen die Möglichkeit, durch die Verwendung von individuell wirkenden Regeln auch ohne bekannte Übergangswahrscheinlichkeiten solche Prozesse abzubilden, d.h. individuelle Entscheidungen zu modellieren.

4.2.1 Soziodemographische Parameter der Verkehrsnachfrage

Der Prozeß der Verkehrsentstehung wurde in Kapitel 3 diskutiert. Das EUROSOCPE-Modell versucht, diesen Prozeß abzubilden, um eine ursächlich ausgerichtete Verhaltensdarstellung zu erreichen, d.h. das Modell setzt nicht in erster Linie bei den momentan beobachteten Verhaltensweisen an, sondern konstituiert auf einer höheren Stufe die eigentlichen Akteure dieses Verhaltens.

Dabei ist bedeutsam, den Kontext individueller Aktivitätsnachfrage abzubilden. Der Ansatz der verhaltenshomogenen Gruppen greift diesen Zusammenhang auf. Das EUROSOCPE-Modell geht jedoch weiter, indem es differenzierte Haushalte zusammen setzt, Personen erzeugt und fortschreibt.

4.2.2 Modellaufbau

Der EUROTOPP-Modellansatz ist weitgehend an der zeitlichen Struktur von Nutzerentscheidungen orientiert. Dabei wird von langfristigen, mittelfristigen und kurzfristigen Entscheidungen ausgegangen: Langfristige Entscheidungen betreffen z.B. die Wohnort- und die Arbeits- bzw. Ausbildungsortwahl oder die Fahrzeuganschaffung.

Mittelfristige Entscheidungen betreffen die Art und Sequenz von Verhaltensmustern (Aktivitätenketten). Kurzfristige Entscheidungen finden auf täglicher Basis statt und betreffen die klassischen Gegenstände von Verkehrsnachfragemodellen wie die Wahl des Verkehrsmittels, der Abfahrtszeit und die Wahl von Zielen für Aktivitäten wie Einkaufen oder Freizeit, die aus Nutzersicht, im Gegensatz zu täglich unveränderlichen Zielen wie dem Arbeitsort, variabel sind.

Das Modell gliedert sich damit inhaltlich in vier Hauptelemente:

- Stichprobenerzeugung,
- Langfrist-Simulation,
- Mittelfrist-Simulation und
- Kurzfristsimulation.

4.2.3 Die Populationsstichprobe

Die Anwendung von Individualverhaltensmodellen setzt das Vorhandensein einer Stichprobe von Individuen voraus. Diese Stichprobe muß die Realpopulation des Untersuchungsraumes in verschiedener Hinsicht repräsentieren:

- demographische Struktur,
- räumlicher und
- zeitlicher Bezug.

Die Mindestanforderung an die Struktur der Stichprobe ist die Wiedergabe der Verteilung jener soziodemographischen Merkmale der Population, die als determinierend für das Verkehrsverhalten festgestellt wurden. Damit werden alle Individuen der Stichprobe mit Eigenschaften ausgestattet, die die Zuordnung eines spezifischen Aktivitätsmusters erlauben.

Der Ansatz des EUROSCOPE-Modells sieht jedoch eine weitgehende Abbildung des Verhaltenskontexts sowie eine Möglichkeit zur modellimmanenten Fortschreibung der Stichprobe vor. Deshalb enthält die Stichprobe eine Abbildung der Haushaltsstruktur. Daraus ergeben sich zunächst zwei Ebenen der Stichprobe, die *Haushalte* und die *Personen*.

Die Haushaltsstichprobe repräsentiert die Einwohner des Untersuchungsgebiets nach ihrer Haushaltsstruktur, das heißt die Verteilung der Haushaltsgrößen und der Haushaltstypen (nach Merkmalen der Haushaltsvorstände, soweit diese Merkmale wie Alter und Berufstätigkeit aus der Sekundärstatistik zu gewinnen sind). Alle Personen der Stichprobe sind einem Haushalt zugeordnet und müssen ihrerseits die Verteilung persönlicher Merkmale wie Alter, Geschlecht und Berufstätigkeit wiedergeben.

Die Tabellen 4-1 und 4-2 geben die Merkmale von Haushalten und Personen, wie sie im Modell verwendet werden, wieder.

Merkmal	Ausprägung
Zellnummer	1 bis 84 ²⁷
Haushaltstyp	Verheiratet, Ledig, Geschieden, Verwitwet, Wohngemeinschaft
Altersklasse männlicher Haushaltsvorstand	Keiner, 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, ..., 65-69, 70+
Altersklasse weiblicher Haushaltsvorstand	dito
Altersklasse 1. Kind	Keines vorhanden, 0-4, 5-9, 10-14, 15-19, 20-24
Altersklasse 2. Kind	dito
Altersklasse 3. Kind	dito
Altersklasse 4. Kind	dito

Tabelle 4-1: Beschreibung des Datensatzes eines Haushaltes

Merkmal	Ausprägung
Personennummer	1 bis Anzahl Personen
Geschlecht	0:männlich 1:weiblich
Alter	0 bis 70
Personennummer der Mutter	1 bis Anzahl Personen
Personennummer des Vaters	1 bis Anzahl Personen
Haushaltsnummer	1 bis Anzahl Haushalte
Haushaltstyp	0:verh. 1:Single 2:gesch. 3:verw. 4:WG
Familienstand	0:bei Eltern 1:Ledig 2:verh. 3:gesch. 4:verw. 5:WG 6:verstorben 7:Waise
Dauer des gegenwärtigen Familienstands	0 bis 70
Höchster Bildungsabschluss	0:keiner 1:Hauptsch. 2:Realsch. 3:Abitur 4:Hochsch.
Beruf	0:keine Arbeit 1:Prim. Sekt. 2:Arbeiter 3: Angest./Beamter 4:Manag./Techn. 5:Selbstst. 6:in Ausb.
Arbeitszeit	0:keine 1:Teilzeit 2:Vollzeit
Gleitzeitarbeit	0:Nein 1:Ja
Schichtarbeit	0:Nein 1:Ja
Einkommensklasse	0 bis 5
Bezirksnummer des Arbeitsplatzes	1 bis 84, oder Nr. Außenzelle
Bezirksnummer der Wohnung	1 bis 84
Stellplatz bei der Wohnung	0:Nein 1:Ja
ÖPNV Zeitkartenbesitz	0:Nein 1:Ja
Führerschein	0:Nein 1:Ja
Anzahl der Pkw (Besitz)	0, 1, 2 oder mehr
Pkw verfügbar	0:Nein 1:Ja

Tabelle 4-2: Beschreibung des Datensatzes einer Person

²⁷ Die Zahl der Zellen ist anwendungsfallspezifisch. Die vorliegende Pilotanwendung Köln basiert auf 84 Zellen.

Die Stichprobe muß Haushalte und Personen in räumlich richtiger Verteilung wiedergeben. Der räumliche Bezug ist von essentieller Bedeutung für die Nutzbarkeit eines Verkehrsmodells. Die Merkmale der Personen und Haushalte sind in einem Untersuchungsgebiet nicht gleichmäßig verteilt, so daß sich bei einer Betrachtung des Gesamtgebiets und eines Teilgebiets beträchtliche Unterschiede ergeben. Beispielsweise ist der Anteil von Single-Haushalten im Kerngebiet von Städten deutlich höher als in den Randgebieten. Die Einteilung des Untersuchungsgebiets in Verkehrszellen muß sich daher nicht nur an der verkehrlichen Abgrenzbarkeit von Teilgebieten orientieren, sondern auch an der trennscharfen Verfügbarkeit von sekundärstatistischen Daten für die Verkehrszelle. Die soziodemographische Struktur der Stichprobe muß damit sowohl für das Gesamtgebiet als auch für die Verkehrszellen mit der realen Struktur übereinstimmen. Da Verkehrszellen disjunkte Teilmengen des Gesamtgebiets sind, ist diese Forderung aus dem Aufbau einzelner Zellen widerspruchsfrei zu erfüllen, erfordert jedoch einen sehr großen Stichprobenumfang, womit sich für die maximal mögliche Zahl der Zellen bei gegebener demographischer Abbildungsgenauigkeit Einschränkungen ergeben.

Von großer Bedeutung ist der zeitliche Bezug. Die Stichprobe muß den Bezugszeitraum repräsentieren. Die in der Analyse gewonnene Stichprobe ist für die Prognose ungeeignet, wenn sie nicht die Veränderungen der soziodemographischen Struktur beinhaltet, die sich bis zum Prognosezeitraum **voraussichtlich** ergeben werden. Neben der Erhöhung oder Reduktion der Einwohnerzahl, die sich allein durch geänderte Hochrechnungsfaktoren berücksichtigen ließen, sind räumliche und strukturelle Verschiebungen zu berücksichtigen. Das gilt z.B. für die Altersstruktur der Population, die in hohem Maße veränderlich ist.

4.2.3.2 Eingangsdaten

Der Aufbau der Simulationsstichprobe erfolgt auf der Basis sekundärstatistischer Informationen des Untersuchungsgebiets über jedes Merkmal der Stichprobe und dessen räumliche Verteilung. Für den Anwendungsfall wurden die in Tabelle 4-3 aufgeführten Informationen eingeholt.

Bezug	Beschreibung der Information
Population	Geschlechterproportion Haushaltsgrößen Motorisierung (PKW)
Haushalte	Alter des männlichen Haushaltvorstandes in Abhängigkeit vom Haushaltstyp (Verheiratet, Single, Geschieden, Verwitwet, Wohngemeinschaft) Alter des weiblichen Haushaltvorstandes (Single-Haushalt) Alter des weiblichen Haushaltvorstandes (Geschiedenen-Haushalt) Alter des weiblichen Haushaltvorstandes (Verwitweten-Haushalt) Alter des weiblichen Haushaltvorstandes in Abhängigkeit vom Alter des männlichen (Haushaltstyp "Verheiratet") Alter des ersten Kindes in Abhängigkeit vom Alter der Mutter Alter der weiteren Kinder in Abhängigkeit vom Alter des vorhergehenden Wohnstandorte (Häufigkeiten nach Bezirken und Haushalt-Größen)
Personen	Ausbildungsgrad Kinder nach Alter Ausbildungsabschluß in Abhängigkeit vom Alter Berufstyp in Abhängigkeit vom Ausbildungsabschluß Einkommen in Abhängigkeit vom Berufstyp männliche Erwerbstätige Einkommen in Abhängigkeit vom Berufstyp weibliche Erwerbstätige Proportion Gleitzeit/Festarbeitszeit Proportion Normalarbeit/Schichtarbeit Führerscheinbesitz ÖV-Zeitkarten-Verfügbarkeiten Arbeitsplätze (Häufigkeiten nach Bezirken und Wohnstandort) Schul- und Ausbildungsplätze (Häufigkeiten nach Bezirken und Wohnstandort)

Tabelle 4-3: Eingangsdaten für die Erzeugung der Stichprobe Köln

4.2.3.3 Generierung der Stichprobe

Die Erzeugung der Stichprobe erfolgt in zwei Stufen:

- Erzeugung der Haushalte und
- Erzeugung der Personen auf der Basis der Haushalte.

Dazu werden die sekundärstatistischen Eingangsdaten in Wahrscheinlichkeitstabellen umgesetzt, die die Verteilungen der Merkmale wiedergeben. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation werden die Merkmale den Haushalten bzw. Personen zugeordnet²⁸.

Der räumliche Bezug wird durch die Verwendung bezirksspezifischer Verteilungen mit getrennter Erzeugung der Bezirke sichergestellt. Die Gesamtstichprobe wird entsprechend der Verteilung der

²⁸ Erläuterung: Es wird eine (ein- oder mehrdimensionale) Verteilungsfunktion $F(x)$, $0 \leq F(x) \leq 1$, des Merkmals x gebildet. Die entsprechende Merkmalsausprägung x_i des jeweiligen Elements der Simulationsstichprobe wird durch die Ziehung einer Zufallszahl z ($0 \leq z \leq 1$) ermittelt, indem $x_i = x$ für $z = F(x)$ eingesetzt wird. Bei genügend großer Zahl an Ziehungen entspricht $F(x)$ der Simulationsstichprobe der Verteilungsfunktion der Grundgesamtheit.

jeweiligen Haushaltstypen nach Bezirken zusammengesetzt, das heißt, für jeden Bezirk ergibt sich die Zahl der zu erzeugenden Haushalte als Anteil an der Gesamtzahl der in der Stichprobe zu erzeugenden Haushalte entsprechend dem Anteil in der realen Bevölkerung.

4.2.4 Die Langfristsimulation

Die Langfristsimulation trägt der Forderung nach dem zeitlichen Bezug der Stichprobe Rechnung. Die originär auf Basis der Sekundärstatistik generierte Stichprobe wird mittels der Simulation auf einen anzugebenden Bezugszeitraum fortgeschrieben (gealtert). Damit werden die Veränderungen der Rahmenbedingungen im Planungsgebiet in den Bereichen

- soziodemographische Struktur (z.B. Altersverteilung, Haushaltsgrößenverteilung, Motorisierung),
- Siedlungsstruktur (Wohnortverteilung, Gelegenheitsverteilung),
- Migrationseffekte (Zu-, Ab- u. Binnenwanderung)
- ökonomische Entwicklung (Erwerbstätigkeit, Arbeitsplatzbesatz).

berücksichtigt.

Die Berücksichtigung solcher Entwicklungen ist für eine treffsichere Prognose von Planungsfällen mit zukünftigen Maßnahmen unabdingbar. Darüber hinaus ergibt sich hier die Möglichkeit für eine Nutzung des Modells zur Darstellung verschiedener Zukunftsoptionen, indem der Modellnutzer verschiedene Entwicklungsszenarien durch entsprechende Eingriffe in die Basisdaten des Modells auf ihre Auswirkungen auf die zukünftige Verkehrsnachfrage überprüft. Damit ist auch eine grundsätzliche Eignung als Instrument zur 'Verkehrsverträglichkeitsprüfung' in der Bauleitplanung gegeben.

Die mikroskopische Struktur der Stichprobe wird mit Vorteil genutzt, um über die Fortschreibung eine personenbezogene Entwicklung in Abhängigkeit vom Alter direkt abbilden zu können:

Eine Person, die zum Zeitpunkt t ein Alter x aufweist, weist zum Zeitpunkt $t + \delta t$ ein Alter von $x + \delta t$ auf. Definierte soziodemographische Veränderungen, die im Zeitraum δt auftreten können, werden durch eine Wahrscheinlichkeit des Eintreffens beschrieben. Wenn diese Person zum Zeitpunkt t bestimmte Eigenschaften $E_i = (E_1, E_2, E_3 \dots E_n)$ mit den Ausprägungen $A_{E_i} = (A_{E_1}, A_{E_2}, A_{E_3} \dots A_{E_n})$ aufweist, dann ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit p_i für jedes E_i , daß sich A_{E_i} im Zeitraum δt ändert, die sich als Funktion von x , E_i , A_i und δt beschreiben läßt: $p_i = f(x, E_i, A_{E_i}, \delta t)$, $0 \leq p_i \leq 1$, $\delta t \geq 0$.

Die p_i lassen sich auf zwei Arten gewinnen. Entweder werden sie aus der Sekundärstatistik abgeleitet durch die Übernahme historischer Entwicklungen, d.h. die Fortschreibung bisheriger Trends. Ein Beispiel ist die Übernahme von Fertilitätsziffern (bezogen auf den simulierten Zeitschritt δt) aus der Einwohnerstatistik:

$p_i =$ Wahrscheinlichkeit ein Kind zu gebären $= f(\text{Alter der Person zum Zeitpunkt } t, \text{ Geschlecht, Zahl der bisherigen Kinder, Zeitschritt}) =$ beobachtete Häufigkeit einer Geburt nach Alter und Zahl der Kinder.

Die zweite Möglichkeit ist die Schätzung der p_i auf der Basis von Annahmen. Das betrifft insbesondere Entwicklungen, die in starkem Maße individuellen Entscheidungen unterliegen. Dazu zählt z.B. die Motorisierung, die durch die kollektive Überlagerung individueller Wahrscheinlichkeiten, einen (weiteren) PKW anzuschaffen oder einen PKW abzuschaffen, bestimmt wird.

Durch die Simulation von Veränderungen, die in der Zeit δt eintreten, wie

- Änderung des Wohnstandortes oder
- Änderung des Haushaltstyps (z.B. Heirat, Scheidung, Verwitwung, Geburt von Kindern)
- Neugründung eines Haushalts,
- Erwerb einer Fahrerlaubnis,
- Erwerb eines PKW,
- Änderung der Berufstätigkeit (Übergang Ausbildung, Rente etc.),
- Neuwahl des Arbeitsplatzes oder auch
- Tod

wird die Änderung der Rahmenbedingungen für die Verkehrsnachfrage der Population zum Prognosezeitpunkt $t + \delta t$ abgebildet.

Die Langfristsimulation kommt in der aktuellen Fragestellung nicht zum Einsatz, da es sich zum einen nicht um einen realen Planungsfall handelt und zum anderen eine Überlagerung der direkten Maßnahmewirkungen durch die eventuelle Änderung der Rahmenbedingungen unterbunden werden soll. Daher wird eine detailliertere Diskussion an dieser Stelle nicht vorgenommen. Weitere Angaben sind z.B. EUROTOPP [1990,1991] zu entnehmen.

4.2.5 Die Mittelfristsimulation

4.2.5.1 Modellgegenstand

Die Bezeichnung Mittelfristsimulation wurde aus der ursprünglichen Bezeichnung 'medium term' des entsprechenden Elements des EUROTOPP-Modells übernommen und beibehalten, um die Konsistenz zu wahren und den Entwicklungsanspruch zukünftiger Versionen zu dokumentieren. Sie ist insofern unzutreffend, als dieses Modellelement keine Veränderung mittelfristiger Festlegungen simuliert.

Solche Festlegungen sind zum Beispiel:

- Nutzungsrechte an den Fahrzeugen eines Haushalts
- Aktivitäten und deren Ziele (Einkaufs- und Freizeitgewohnheiten)
- Zeitliche Restriktionen von Ketten (Zeitfenster)

Die derzeitige Version des EUROSOCPE-Modells führt lediglich

- eine Zuweisung von Verhaltensdaten an die Personen der Simulationsstichprobe,
- eine Zielwahl für kurzfristig disponible Aktivitäten (Freizeit, Dienstleistung, Einkaufen) und
- eine Zuweisung der zeitlichen Merkmale der Aktivitäten

durch.

Nachdem die Stichprobe generiert bzw. fortgeschrieben wurde, weisen die Personen der Stichprobe noch keine Aktivitätsketten auf. Diese Ketten werden in der Mittelfristsimulation nach den soziodemographischen Merkmalen der Personen mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation auf der Basis der Häufigkeitsverteilungen der Ketten in den identifizierten Personengruppen zugewiesen.

Der Begriff der Mittelfristigkeit bezieht sich dabei auf die vermutete Veränderlichkeit solcher Ketten bei einzelnen Personen. Die Annahme der Veränderlichkeit ist jedoch empirisch ungesichert²⁹. Erkenntnisse, unter welchen Umständen Personen zum Beispiel auf bestimmte Aktivitäten verzichten, existieren nicht oder auf solch kleiner Stichprobenbasis, daß die Umsetzung in ein Modell nicht möglich erscheint. Deshalb wird von festen Häufigkeiten der Ketten ausgegangen und es erfolgt keine Modellierung mittelfristiger Entscheidungen. Die wesentlichste Einschränkung durch dieses Vorgehens liegt darin, daß das Wegeaufkommen einer Population in einem Simulationszeitschritt unter allen simulierten Maßnahmen konstant bleibt, da es sich nur mit der soziodemographischen Zusammensetzung ändern kann. Die Mittelfristsimulation umfaßt auch ein Zielwahlmodell, das den Aktivitäten, deren Ziele nicht durch langfristige Entscheidungen (Arbeitsplatz, Wohnort, Ausbildungsplatz) festgelegt sind, Ziele zuordnet. Daneben werden den Aktivitäten Beginnzeiten und Dauern zugeordnet, um die zeitlichen Restriktion in der Kurzfristsimulation abbilden zu können.

4.2.5.2 Ein-/Ausgabe-Struktur

Die Mittelfristsimulation hat modelltechnisch zwei wesentliche Funktionen, sie ist:

- Verknüpfungsmodul zwischen der Lang- und der Kurzfristsimulation und
- Eingabeschmittstelle für die Aktivitätsdaten.

Entsprechend dieser Funktion weist die Mittelfristsimulation eine spezielle Ein-/Ausgabestruktur auf, die aus einem modellinternen Input (der Personenstichprobe aus der Langfristsimulation) und einem modellexternen Input (Aktivitätsketten und deren Merkmale) sowie dem Output einer Wegedatei für die Kurzfristsimulation besteht (siehe Abb. 4-1).

²⁹ Veränderungen der Ketten bezogen auf einzelne Personen ohne Änderungen wesentlicher soziodemographischer Merkmale sind aus Querschnittsbefragungen wie der KONTIV nicht ableitbar. Dazu wären z.B. Panelbefragungen notwendig, die derzeit nicht zur Verfügung stehen, aber in Vorbereitung sind (Vgl. dazu Zumkeller/Blechingner/Chlund/Seitz [1994]).

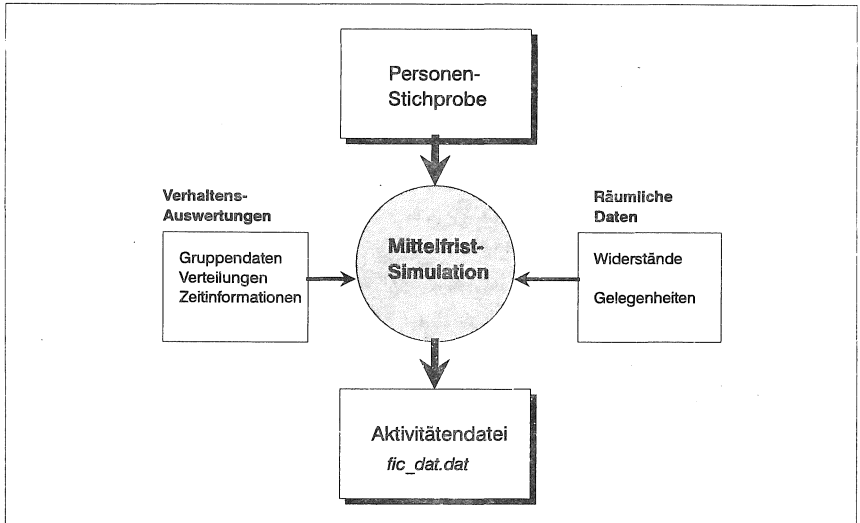


Abb. 4-1
Die Ein-/Ausgabe-Struktur der Mittelfristsimulation

4.2.5.3 Methodik

Aus Haushaltsbefragungsdaten werden mittels einer Ballungsanalyse verhaltensähnliche Gruppen identifiziert und die Häufigkeitsverteilungen der Aktivitätenketten in den jeweiligen Gruppen bestimmt. Das Verfahren wurde von Schäfer[1993] entwickelt und ist auf die Dateistruktur des EUROSCOPE-Modells einerseits und das KONTIV-Befragungs-Design andererseits abgestimmt. Auf die zugeordneten Aktivitätenketten werden die Zeitmerkmale der Aktivitäten abgebildet, indem die Verteilungen der Beginnzeiten nach Aktivitätstypen aus den Befragungsdaten ausgewertet werden und mittels der Monte-Carlo-Simulation den Aktivitäten der zugeordnet werden. Für die Zuordnung der disponiblen Ziele wird eine Zielwahl durchgeführt, die wie in Gl. 4-7 beschrieben auf Zielwahlwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Attraktivitäten der Zielzellen beruht:

$$Att_{ji}^k = \frac{G_j^k}{(w_{ij})^{\alpha k}}$$

Gl. 4-8 (vgl. Gl. 4-7)

mit Att_{ji}^k = Attraktivität der Zelle j, von der Zelle i zum Zweck k aufgesucht zu werden
 G_j^k = Maß für die Gelegenheiten der Zelle j zur Ausübung des Zwecks k
 w_{ij} = Widerstand zwischen der Zelle i und der Zelle j
 a_k = Eichungsfaktor für Fahrtzweck k, $a_k \geq 1$

4.2.6 Die Kurzfristsimulation

Die Kurzfristsimulation ist der Kern des Modells und umfaßt die Abbildung der Nutzerentscheidungen auf der Wege-Ebene (Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl) sowie eine Schnittstelle zu Umlegungsprogrammen, mit deren Hilfe die Wegewahl durchgeführt und die Fahrdurchführung simuliert wird. Wegen der Bedeutung für die hier untersuchte Fragestellung wird die Methodik in Abschnitt 4.3 ausführlicher erläutert und an dieser Stelle nur der Ansatz und der Aufbau skizziert.

4.2.6.1 Ansatz

Bislang gebräuchliche Planungsmodelle verwenden bei der Abbildung von Wegeentscheidungen häufig deterministische Ansätze, wenn auch oft mit simulativen Elementen und einschränkenden Randbedingungen ergänzt. Die Vorteile dieses Vorgehens sind in der guten Abbildungsgenauigkeit und der relativ einfachen Handhabbarkeit zu sehen.

Ein Beispiel ist der Einsatz eines Logitmodells zur Verkehrsmittelwahl, das auf der Basis einer logistischen Funktion (siehe dazu auch Kapitel 5) Wahrscheinlichkeiten für die Wahl eines Verkehrsmittels aus einem Satz von zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln berechnet. Diese Wahrscheinlichkeiten sind sowohl auf Kollektive aus Aggregatmodellen als auch auf einzelne Personen anwendbar, wenn man im letzteren Fall zusätzlich die Monte-Carlo-Simulation einsetzt. Der Input sind Quelle-Ziel-Matrizen mit allen Wegen der Stichprobe und der Output Quelle-Ziel-Matrizen nach Verkehrsmitteln. Die Voraussetzung ist die Wegewahl zur Bestimmung der verkehrsmittel- und quell-ziel-spezifischen Widerstände. Der Output wird dann Umlegungsprogrammen zur Bestimmung der Strecken- bzw. Linienbelastungen zugeführt.

Der Nachteil ist im eingeschränkten Abbildungsumfang solcher Modelle zu sehen, da sie ausschließlich Eigenschaften der Verkehrsmittel, aber nicht den vollständigen Kontext der Person und des zugehörigen Weges berücksichtigen. Dies ist nur durch einen hohen modelltechnischen Aufwand zu erreichen, zum Beispiel durch die Einbettung des Logit-Modells in einen Modellalgorithmus, der personenspezifische Eigenschaften im Auswahlatz repräsentiert. Die Abbildung der Wahl der Abfahrtszeit ist dabei jedoch sehr schwierig.

Solche Einschränkungen lassen sich durch einen *regel-orientierten* Ansatz mildern, wenn die Kontext-Information der Person und des Weges *direkt* im Modellalgorithmus berücksichtigt wird.

Der verwendete Ansatz versucht daher, Entscheidungen auf der Basis von Regeln abzubilden, die aus dem Personen- und Aktivitätenkontext abgeleitet werden können. Es wurde jedoch darauf verzichtet, Entscheidungen *während* eines Weges in die Modellbildung einzubeziehen.

Statt dessen wurde eine Schnittstelle zu Umlegungsmodellen geschaffen, die zum einen die Wegewahl durchführen und damit die Widerstände für die Entscheidungsmodulare bestimmen und zum anderen die Fahrt im Netz modellieren. Belastungszustände werden mittels der Umlegung ermittelt und die Eigenschaften der Verkehrsmittel nach Zeitintervallen und quell-ziel-spezifisch an das Wahlmodell zurückgegeben, das die Wahl des Verkehrsmittels und der Abfahrtszeit simultan durchführt.

4.2.6.2 Ein-/Ausgabe-Struktur

Input der Kurzfristsimulation ist die Aktivitätendatei (*fic dat.dat*) aus der Mittelfristsimulation, die für jede Person Angaben über ihre soziodemographischen Merkmale enthält, ihre Aktivitätenkette und die Merkmale der Aktivität sowie eine Liste der verfügbaren Fahrzeuge (siehe Tabelle 4-4).

Block	Hauptelemente	Beschreibung der Hauptelemente
Personenmerkmale	Haushalt	Größe, Zusammensetzung, Wohnzelle
	Person	Alter, Geschlecht, Status
Aktivitätenkette	Aktivitäten	Typ, geplante Beginnzeit, Dauer, Zeitfenster (früheste u. späteste Beginn- und Endzeit), Funktionsparameter
Fahrzeugliste	Fahrzeuge	Auflistung der verfügbaren Individualfahrzeuge (PKW, Rad)

Tabelle 4-4: Elemente der Eingabedatei für die Kurzfristsimulation

Mit dem Umlegungsprogramm werden nach Zeitintervallen und Verkehrsmitteln Matrizen für die Reisezeiten und die Kosten bestimmt, die ebenfalls Input des Kurzfristmodells sind.

Der Output der Kurzfristsimulation ist eine Wegedatei (*daily.routes*), die die relevanten Angaben zu den Wegen der untersuchten Stichprobe enthält (Tabelle 4-5).

Die Aggregation dieser Datei zu verkehrsmittel- und evtl. tageszeitspezifischen Matrizen erlaubt die Weiterbehandlung der Information in Umlegungsprogrammen und die Ermittlung von Netzbelastungen. Dabei ergeben sich Möglichkeiten zur dynamischen Rückkopplung zwischen dem Umlegungsprogramm und dem Nachfragemodell.

Abbildung 4-2 zeigt die Ein-/Ausgabe-Struktur der Kurzfristsimulation.

Feldbezeichnung	Inhalt
Wochentag	Wochentag, an dem die betreffende Fahrt durchgeführt wurde
Quelle	Verkehrszelle, in der die Fahrt beginnt
Ziel	Verkehrszelle, in der die Fahrt endet
Pkwbesitzer?	Verfügt die betrachtete Person über einen Pkw?
Fahrradbesitzer?	Verfügt die betrachtete Person über ein Fahrrad?
Verkehrsmittel	Verkehrsmittel, mit dem die betreffende Fahrt durchgeführt wurde
Tageszeit	Zeitabschnitt, in dem die Fahrt durchgeführt wurde
Geplante Anfangszeit	Geplante Beginnzeit der am Zielort durchgeführten Aktivität
Abfahrtszeit	Abfahrtszeitpunkt der betreffenden Fahrt
Erwartete Reisezeit	Geschätzte Reisezeiterwartung für die betreffende Fahrt
Tats Reisezeit	Tatsächliche Reisezeit für die Fahrt (= entsprechender Wert der Widerstandsmatrix)
Zielzweck	Am Zielort durchgeführte Aktivität
Trägheit?	Wirksamkeit des Trägheitsprinzips [ja, nein]
Trägheitsbetrag	Betrag der Trägheit [-]
Routennummer	Nummer der benutzten Route
Person	Identifikation der Person, die die Fahrt durchführt (Zuordnung Stichprobe)
Nummer	intern benutzte Nummer der Person, die die Fahrt durchführt

Tabelle 4-5: Inhalt der Ausgabedatei der Kurzfristsimulation

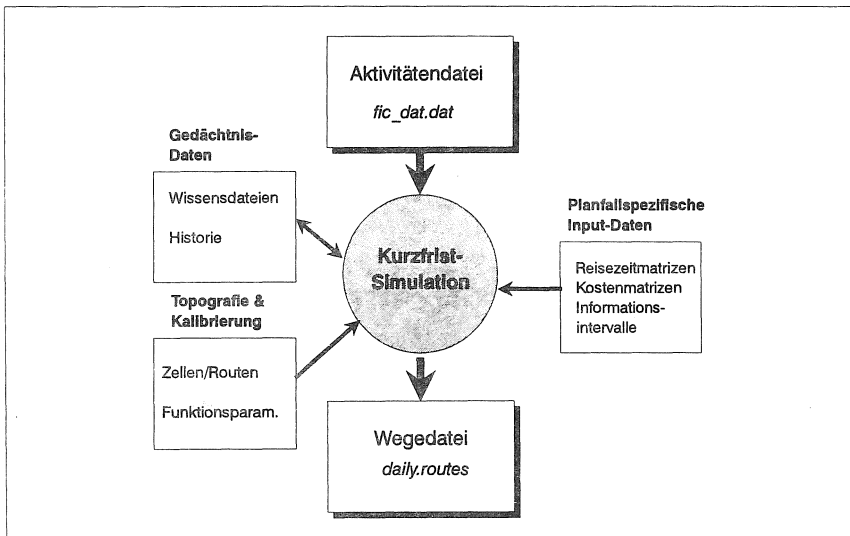


Abb. 4-2
Ein-/Ausgabe-Struktur der Kurzfristsimulation

4.3 Modellierung der Wegeentscheidungen

Hier wird der für die vorliegende Aufgabenstellung wichtigste Teil des Modells beschrieben. Die Modellierung der Wegeentscheidungen über die Wahl des Verkehrsmittels und der Abfahrtszeit bilden den Kern des Modells, der zur Abbildung des Informationseinflusses benutzt wird. Es wird ausführlich auf den Aufbau und den Ansatz sowie die momentane Implementierung der Teilmodelle einzugehen sein.

4.3.1 Aufbau

Die Modellierung der Wegeentscheidungen in der Kurzfristsimulation ist als Prozeß dreistufig aufgebaut:

- Vor der Abarbeitung der Aktivitätenkette erfolgt eine Sequenzprüfung, die die zeitlichen und modalen Restriktionen des Nutzers in einen Verkehrsmittelauswahlsatz überträgt, der mehrere unter genau diesen Restriktionen realisierbare Verkehrsmittelfolgen enthält.
- Die Aktivitätenkette wird auf der Basis des Auswahlsatzes sequentiell abgearbeitet, dabei erfolgt die endgültige Verkehrsmittel- und die Abfahrtszeitwahl.
- Nach der Abarbeitung der Kette erfolgt eine Fortschreibung der Erfahrung.

4.3.2 Die Tagessequenzprüfung

Die Tagessequenzprüfung wurde den eigentlichen Wahlalgorithmen vorgeschaltet, um sicherzustellen, daß die zeitlichen und modalen Restriktionen aus dem Wegekontext einer Person und der Verkehrsmittelverfügbarkeit abgebildet werden (siehe Abschnitte 3.3.3 und 3.3.4).

Die Tagessequenzprüfung baut darauf auf, daß die Entscheidung für ein Individualverkehrsmittel, das die Benutzung eines Individualfahrzeugs (PKW, Rad) voraussetzt, für (irgend) einen Weg eines Ausgangs³⁰ die Benutzung dieses Verkehrsmittels für den ganzen Ausgang vorgibt. Umgekehrt schließt die Entscheidung für ein öffentliches Verkehrsmittel oder das Zu-Fuß-Gehen für den ersten Weg eines Ausgangs die Benutzung eines Individualfahrzeugs für den Rest des Ausgangs aus. Dabei werden die der Person zur Verfügung stehenden Individualfahrzeuge berücksichtigt, indem diese zusammen mit den immer zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln 'Zu-Fuß-Gehen' und 'ÖV'³¹ den Auswahlsatz der Tagessequenzprüfung bilden.

³⁰ Mit dem Begriff Ausgang sollen die Teilketten einer täglichen Wegekette bezeichnet werden, die zu Hause beginnen und dort enden ("heimgebundene Ketten"). Dabei wird angenommen, daß alle täglichen Aktivitätenketten mit der Aktivität Wohnen (zu Hause) beginnen.

³¹ Fälle, in denen der ÖV nicht oder nur schwer erreichbar ist, werden durch entsprechende Widerstände berücksichtigt. Für die Pilot-Anwendung konnte jedoch von ÖV-Verfügbarkeit in allen Fällen ausgegangen werden.

Durch die Betrachtung der *ganzen Aktivitäten- bzw. Wegeketten* in der Tagessequenzprüfung werden die zeitlichen Restriktionen abgebildet. Bei einer rein sequentiellen Abarbeitung der Wege wäre das nicht möglich, da hier der erste Weg der Kette entscheidend für die Verkehrsmittelwahl der restlichen Wege wäre. Tatsächlich kann aber auch ein anderer Weg eines Ausgangs die Wahl des Verkehrsmittels des ersten Weges beeinflussen, wenn die Einhaltung der zeitlichen Restriktion für diesen Weg die Wahl eines bestimmten Verkehrsmittels voraussetzt.

Die Tagessequenzprüfung besteht aus zwei wesentlichen Elementen, dem Permutationsbaum, der für die Wegeketten auf der Basis der Ausgänge zulässige Verkehrsmittelkombinationen festlegt, und den zeitlichen Regeln, die auf der Basis der zeitlichen Merkmale der Aktivitätenketten für die Verkehrsmittelwahl den Auswahlprozess bestimmen.

4.3.2.1 Zulässige Verkehrsmittelkombinationen

Für jede Person wird festgestellt, ob persönliche Verkehrsmittel (PKW, Fahrrad³²) verfügbar sind und eine Aufteilung der Wegeketten in Ausgänge vorgenommen. Für jeden Ausgang wird ein Permutationsbaum (siehe Abb. 4-3) für die Verkehrsmittel dieses Ausgangs aufgebaut, der für jedes verfügbare Verkehrsmittel einen Zweig enthält. Jeder Ast dieses Baumes stellt eine zulässige Verkehrsmittelkombination für die Wege des Ausgangs dar. Die Kombinationen werden dann mit Hilfe der Zeitregeln auf Durchführbarkeit überprüft.

³² Die Verfügbarkeit eines Fahrrads ist nicht so selbstverständlich, wie man möglicherweise annehmen könnte. Insbesondere bei Personen höheren Alters ist sie stark eingeschränkt. Die Haushaltsbefragung in Köln ergab eine mittlere Verfügbarkeit von ca. 68 %, darunter beispielsweise in der Altersklasse 20 bis 30 Jahre ca. 80%.

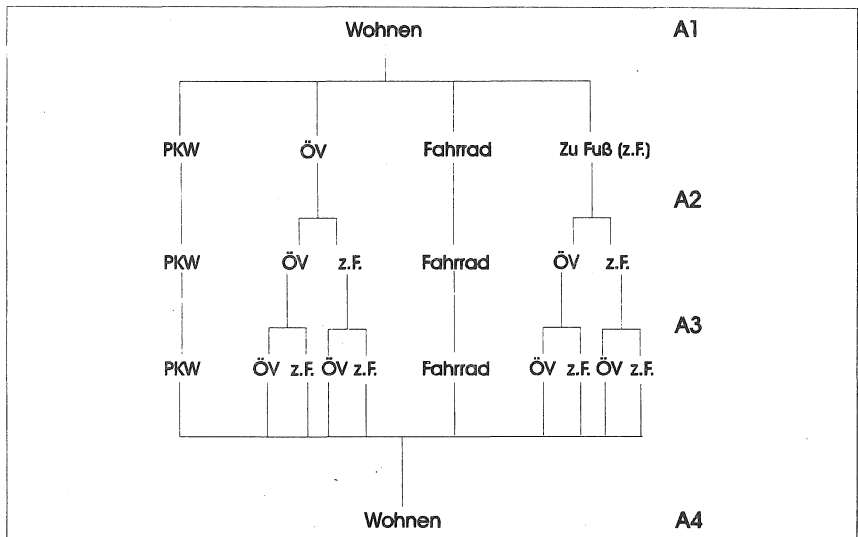


Abb. 4-3
 Beispiel für einen Permutationsbaum der Tagessequenzprüfung (Anzahl der Aktivitäten des Ausgangs = 4)

4.3.2.2 Zeitregeln

Die Bestimmung des Verkehrsmittelauswahlsatzes, d.h. einer Abfolge von Verkehrsmitteln für die Wege eines Ausgangs, erfolgt auf der Basis einer einfachen und plausiblen Annahme:

Nutzer planen einen Ausgang so, daß sie die Aktivitäten A_i dieses Ausgangs rechtzeitig zu einer geplanten Ankunftszeit PST_i erreichen, zumindest aber so, daß die Ausübung dieser Aktivitäten noch sinnvoll möglich ist.

Zwischen den Aktivitäten verbleiben dabei Zeitfenster, die Zeitintervalle angeben, die zur Überwindung der Distanz zwischen den Aktivitäten zur Verfügung stehen und mithin die maximale Reisezeit des Weges von einer Aktivität A_i zur Aktivität A_{i+1} definieren.

Das Prinzip der Zeitfenster ist in Abb. 4-4 wiedergegeben.

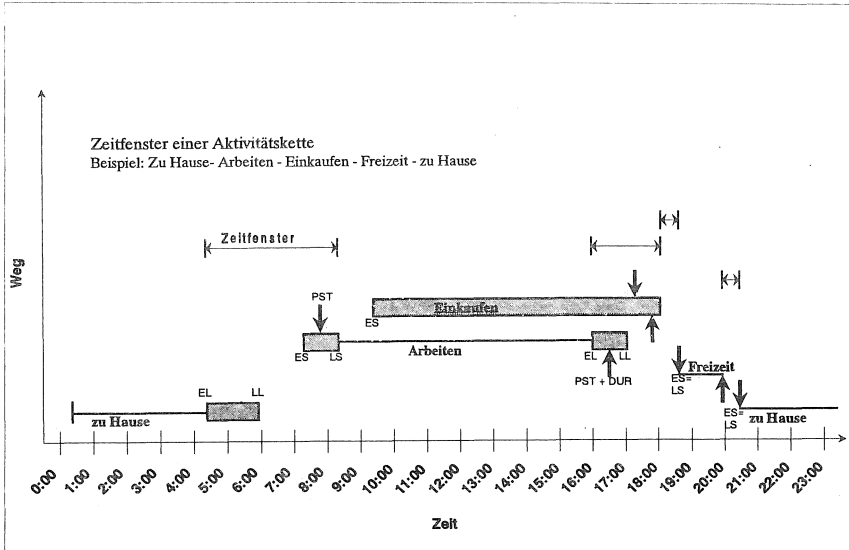


Abb. 4-4
 Zeitfenster für die Wege zwischen Aktivitäten

Dabei stehen die Bezeichnungen³³

- PST für geplante Ankunftszeit (Planned Start Time),
- EL für früheste Endzeit (Earliest Leave) bzw. LL für späteste Endzeit (Latest Leave),
- ES für früheste Beginnzeit (Earliest Start) bzw. LS für späteste Beginnzeit (Latest Start) und
- DUR für die Dauer (Duration) einer Aktivität.

$ETT_{i,i+1}$ steht für die erwartete Reisezeit (Expected Travel Time) zwischen den Orten der Aktivitäten A_i und A_{i+1} . Diese Größe ist Bestandteil des *Wissens* und wird modellintern in entsprechenden Dateien abgelegt und beim Ausführen der Tagessequenzprüfung abgefragt.

Die Tagessequenzprüfung für eine Kette A_1 bis A_n wird mit zwei Regeln durchgeführt:

$$EL_1 + ETT_{1,2} \leq LS_2 \quad \text{und} \quad \text{Gl. 4-9}$$

$$EL_1 + ETT_{1,2} + \sum_{i=2}^n ETT_{i,i+1} + \sum_{i=2}^{n-1} DUR_i \leq LS_n \quad \text{Gl. 4-10}$$

³³ Die englischen Originalbezeichnungen des EUROTOPP-Modells (vergl. EUROTOPP [1990] wurden beibehalten.

Die Aktivität A_2 muß vor der spätesten Beginnzeit (ES_i) erreicht werden (Startbedingung) und die Summe der Reisezeiten nach der Aktivität A_2 und den Dauern der Aktivitäten A_2 bis A_{n-1} darf nicht größer sein als die Zeit vom Beginn der Aktivität A_2 bis zur spätesten Beginnzeit der letzten Aktivität A_n .

Verkehrsmittelkombinationen, die eine der Regeln nicht erfüllen, werden verworfen, d.h. für die aktuelle Aktivitätenkette nicht weiter berücksichtigt. Die verbleibenden Kombinationen bilden den Auswahlatz für die Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl.

4.3.3 Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl

4.3.3.1 Ansatz

Die endgültige Verkehrsmittel- und die Abfahrtszeitwahl bilden den Kern der Kurzfristsimulation. Beide sind als simultaner Prozeß ausgebildet. Das folgt aus der Bedeutung der Reisezeit als wesentlicher Eigenschaft eines Verkehrsmittels auf einer Relation $i - j$ für die Abfahrtszeit, die den Zeitpunkt des Wegeantritts so bestimmen muß, daß das Ziel rechtzeitig erreicht wird.

Das Modell nutzt die mit den Aktivitäten definierten geplanten Beginnzeiten PST zur Abbildung der Abfahrtszeit. Dabei wird die Aktivitätenkette sequentiell betrachtet, nachdem die Tagessequenzprüfung sicherstellt, daß die Zeitfenster eingehalten werden.

Das Modell baut auf der Annahme auf, daß Nutzer bei der Entscheidung über das Verkehrsmittel

- den Aufwand des Weges minimieren und
- diesen Aufwand gegen den Nutzen abwägen, den sie aus der Ausübung der Aktivitäten beziehen, wobei sowohl die anstehende als auch die vorhergehende Aktivität betrachtet wird.

Dabei ist die Reisezeit, die sich bei der Benutzung eines bestimmten Verkehrsmittels einstellt, eine wesentliche Aufwandsgröße. Der Aufwand bemißt sich aus weiteren Größen, die ebenfalls Eigenschaften eines Verkehrsmittels (in Abhängigkeit des Weges) sind. Dazu zählen in erster Linie die Kosten, aber auch subjektive Kriterien wie der Komfort eines Verkehrsmittels.

Der Begriff des Nutzens spielt in den üblichen Verkehrsmittelwahlmodellen (wie in der Ökonometrie überhaupt) eine große Rolle. Er hat jedoch einen entscheidenden Nachteil, er stellt ein gedankliches Konstrukt dar und ist daher nicht absolut quantifizierbar³⁴, zumindest nicht außerhalb eines Modells und nicht interpersonell. Es handelt sich also um eine abstrakte Hilfsgröße, die dazu dient, relative Einschätzungen von Eigenschaften von Handlungsoptionen vorzunehmen. In diesem Sinne läßt sich lediglich intrapersonell eine Nutzendifferenz identifizieren, die die Aussage liefert, daß eine Option einen höheren oder niedrigeren Nutzen aufweist. Die Nutzendifferenz ist strenggenommen nicht quantifizierbar, da sie

³⁴ Was würde man wohl antworten, wenn man gefragt würde, wie hoch der Nutzen einer bestimmten Aktivität ist ?

objektiv quantifizierbare Nutzen voraussetzt. Interpretiert man sie jedoch als Maß der Unterscheidbarkeit eines abstrakten Nutzens als Eigenschaft von Handlungsoptionen, läßt sie sich als Modellparameter heranziehen, insbesondere wenn der Nutzen wie im vorliegenden Modell zur Bestimmung des Verkehrsmittels und der Abfahrtszeit für die Aufstellung einer Entscheidungsregel benutzt wird, bei der er nicht als Eigenschaft des Verkehrsmittels fungiert, sondern als funktionale Beschreibung dieser Regel. Abbildung 4-5 zeigt die funktionale Darstellung des Regelmechanismus zur Abfahrtszeitwahl.

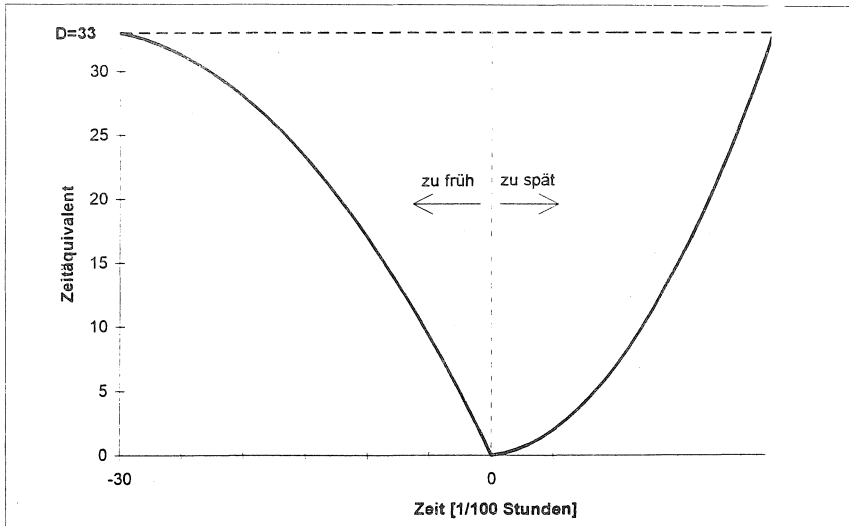


Abb. 4-5
Funktionale Darstellung des Regelmechanismus zur Abfahrtszeitwahl

Unter der Annahme, daß der Nutzer die nächste Aktivität zum Zeitpunkt PST, der in der Abb.4-5 als Nullpunkt der Zeitachse dargestellt ist, erreichen will, ergibt sich ein Aufwand (wenn man so will, ein Nutzenentzug) für ihn, wenn:

- die Aktivität zu früh erreicht wird (das schmälert den Nutzen der vorhergehenden Aktivität) oder
- die Aktivität zu spät erreicht wird.

Der Aufwand wird in Zeit ausgedrückt, die den Aufwand Reisezeit vergrößert. Dabei wird die zu frühe Ankunft degressiv bewertet, d.h. relativ kleine Reisezeitgewinne bewirken zunächst keine Verschiebung (Es wird beispielsweise der Aufwand, 6 min zu früh einzutreffen, mit dem Äquivalent (Reisezeitgewinn) von 10 min bewertet.)

Zu spätes Ankommen wird progressiv bewertet. Dabei sind kleine Zeitbeträge über dem Ankunftszeitpunkt noch "akzeptabel", während sehr spätes Eintreffen sehr hoch bewertet wird. Auch ist durch die Funktion der maximale Betrag des "Zuspätkommens" kleiner als bei dem frühen Eintreffen (15 min).

Die Funktionen für zu frühes bzw. zu spätes Eintreffen sind wie folgt definiert:

$$\text{Zu früh:} \quad E(t) = \alpha \cdot t^2 + \epsilon \cdot t \quad \text{mit} \quad \alpha = -0,03, \quad \epsilon = 2 \quad \text{Gl.4-11}$$

$$\text{Zu spät:} \quad L(t) = \gamma \cdot t^2 + \beta \cdot t \quad \text{mit} \quad \gamma = 0,06, \quad \beta = 0,1 \quad \text{Gl.4-12}$$

wobei α, β, γ und ϵ Funktionsparameter sind, die in der Modellkalibrierung³⁵ eingestellt werden und den Funktionsverlauf progressiv zunehmend oder degressiv abnehmend festlegen.

Das Maximum des Zeitäquivalents wird über die Zeitkonstante D festgelegt. Mit D wird das Suchintervall für die Abfahrtszeitwahl festgelegt:

$$\frac{\sqrt{\epsilon^2 + 4 \cdot \alpha \cdot D} - \epsilon}{2 \cdot \alpha} \leq t \leq \frac{\sqrt{\beta^2 + 4 \cdot \gamma \cdot D} - \beta}{2 \cdot \gamma} \quad \text{Gl. 4-13}$$

Der maximale Zeitaufwand³⁶ beträgt $D = 33$ [1/100 h], damit ergibt sich ein Suchintervall von (-30, 23). Das entspricht der getroffenen *Annahme*³⁷, daß der maximale Aufwand bei der Verschiebung der Ankunftszeit 20 min betrage. Das wiederum entspricht den durch die Verschiebung erzielbaren Reisezeitgewinnen. Die Größe von D ist vom Anwendungsfall abhängig, da sie in Relation zu den Reisezeiten im Untersuchungsgebiet steht.

An dieser Stelle wäre der Einwand denkbar, daß Aktivitätsdauern nicht fixiert sind und es durchaus 'nutzbringend' sein kann, eine Aktivität früher zu beginnen oder später zu beenden. Dazu muß gesagt werden, daß die Beginnzeiten PST empirisch aus Befragungsdaten (Ankunftszeiten) abgeleitete Größen sind, die als tatsächlich gewünschte und geplante Beginnzeiten interpretiert werden. Erst die Modellierung der Sequenzplanung einer Aktivitätskette, die als Weiterentwicklung der Mittelfristsimulation vorstellbar wäre, würde diese Interpretation verzichtbar machen und eine Neubewertung dieses Algorithmus notwendig werden lassen. Ohne diese Erweiterung des Modells erscheint es jedoch sinnvoll, die PST als Fixpunkte der Zeitplanung zu benutzen, da andernfalls die simulierten Wegeketten sich von den realen unzulässig stark unterscheiden würden.

³⁵ Die Funktionen entsprechen Annahmen, deren Validität als gegeben erachtet wird, wenn die Ergebnisse der Nullfall-Simulation mit der Analyse übereinstimmen.

³⁶ Aus programm- und rechentechnischen Gründen muß die Zeit dezimal abgebildet werden.

³⁷ Diese Annahme läßt sich aus der Analyse (vgl. Fußnote 35) nicht verifizieren. Die Funktionsparameter sind damit empirisch nicht gesichert.

4.3.3.2 Abbildung der Entscheidungskriterien

Die Verkehrsmittel werden durch ihre Eigenschaften Reisezeit und Kosten abgebildet. Dabei ist die Reisezeit eines Verkehrsmittels auf einer Relation eine *Funktion der Zeit*. Die Reisezeit ist sowohl im MIV zeitlich variabel infolge tageszeitlich unterschiedlicher Belastungen als auch im ÖV, dessen Angebot ebenfalls nach Tageszeiten unterschiedlich gestaltet ist.

Damit läßt sich das Entscheidungskriterium Reisezeit verkehrsmittelspezifisch im Abfahrtszeitmodell abbilden, das erst dann die Abfahrtszeit verschiebt, wenn innerhalb des Suchintervalls unterschiedliche Reisezeiten zu erwarten sind.

Die Kosten für ein Verkehrsmittel m werden ebenfalls als Zeitaufwand ausgedrückt³⁸ und addiert.

Die gewählte Ankunftszeit *und das Verkehrsmittel* ergibt sich dann aus:

$$\text{MIN } [E(t) + ETT_m(t) + KOSTEN_m, L(t) + ETT_m(t) + KOSTEN_m] \quad \text{Gl.4-14}$$

für alle Verkehrsmittel m

In Abbildung 4-6 ist die Überlagerung der Verkehrsmiteigenschaften mit der Regel zur Wahl der Ankunftszeit für ein Verkehrsmittel dargestellt.

Die Abfahrtszeit ergibt sich aus der gewählten Ankunftszeit abzüglich der erwarteten Reisezeit für das gewählte Verkehrsmittel.

³⁸ Ohne Diskussion der damit verbundenen Problematik, für einzelne Gruppen oder die Gesamtheit der Verkehrsteilnehmer die adäquate Abbildung zu finden (vgl. Fußnote 34).

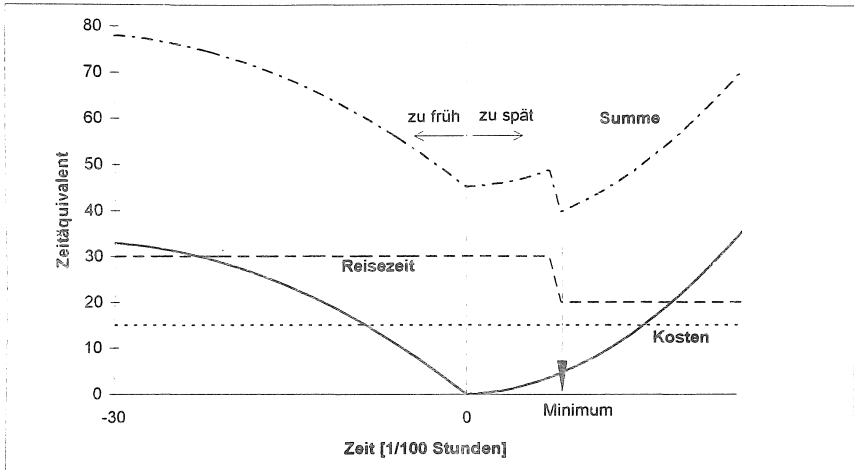


Abb. 4-6
Überlagerung der Aufwände zur Wahl der Ankunftszeit

4.3.3.3 Abbildung der Information

Die Wahl des Verkehrsmittel beruht in der Ausgangslage auf der erwarteten Reisezeit ETT. Diese ergibt sich aus der Erfahrung des Nutzers und ist als zeitabhängige Variable abgelegt. Dabei werden für jeden Weg nach Quelle, Ziel und Verkehrsmittel drei verschiedene Zeitbereiche unterschieden:

- Morgenspitze (6:00 - 10:00),
- Abendspitze (15:00 - 19:00) und
- Off-Peak (alle anderen Zeitintervalle).

Dabei wird davon ausgegangen, daß Nutzer diese Zeitbereiche in ihrer Erfahrung unterscheiden, ohne dabei eine feinere Auflösung vorzunehmen.

Für einen Planungsfall mit Verfügbarkeit von Information vor dem Weg wird die Erfahrung durch die Information ersetzt. Dabei ist eine Auflösung auf stundenfeine Werte möglich, was dynamischer Information entspricht. Hierbei werden die ETT nicht nur durch "reale" Werte ersetzt, sondern die Entscheidung selbst tageszeitabhängig.

Damit wird die Wahrscheinlichkeit der Wahl einer anderen Abfahrtszeit oder eines anderen Verkehrsmittels deutlich erhöht, da in den Suchintervallen mit größerer Wahrscheinlichkeit unterschiedliche Eigenschaftsausprägungen der Verkehrsmittel auftreten.

Bei der Anwendung besteht das Problem in der Gewinnung der Erfahrung für die Ausgangslage einerseits und der für den Informationsfall bereitzustellenden "Realwerte" andererseits.

Dieses Problem wurde durch die Benutzung zweier Umlegungsprogramme behandelt. Für den MIV und für den ÖV wurden die Umlegungsprogramme VISUM-IV und VISUM-ÖV³⁹ benutzt, um die Reisezeiten für die Erfahrungswerte und für die Informationswerte zu gewinnen. Dabei wurde für den MIV davon ausgegangen, daß die Erfahrungen sich aus den realen Werten ergeben, die sich aus wiederholter Umlegung und Mittelung für die Zeitperioden ergaben.

Im Fall der Information werden die Reisezeitwerte durch die Werte aus Stundenintervallen ersetzt.

Für den ÖV kann man nicht davon ausgehen, daß weitreichende Erfahrungen vorliegen, die die reale Situation hinreichend wiedergeben. Nichtnutzer des ÖV verfügen in der Regel über sehr schlechte Kenntnisse der Reisezeiten. Würde man entsprechende Erfahrungen zur Verfügung stellen, errechnete das Modell sozusagen "automatisch" einen höheren ÖV-Anteil. Umgekehrt kann man für die Personen mit PKW-Verfügbarkeit, die allein für die Wahl des MIV in Frage kommen, sehr wohl von entsprechenden Kenntnissen ausgehen.

Das ÖV-Umlegungsprogramm, das auf den genauen Netz- und Fahrplandaten des Untersuchungsgebiets aufbaut, liefert sehr genaue ÖV-Reisezeiten für alle Beziehungen, die als Erfahrungswerte untauglich sind. Als Informationswerte in der Simulation erscheinen sie jedoch ausgesprochen geeignet.

Daher wurden die Reisezeiten im ÖV stundengenau ermittelt, um so den Informationsfall zu simulieren. Für den Erfahrungsfall wurden sie über die Zeitperioden gemittelt und um 25% erhöht, um so die Reisezeitüberschätzung durch mangelnde Erfahrung abzubilden.

4.3.4 Erfahrungsfortschreibung

Am Ende der Kurzfristsimulation steht die Erfahrungsfortschreibung, die die im Wissen des Nutzers (*knowledge-file*) abgelegte Erfahrung modifiziert. In Abhängigkeit von der bisherigen Zahl der Wege mit einem Verkehrsmittel in einer bestimmten Zeitperiode und auf einer definierten Relation wird der Erfahrungswert der Reisezeit durch einen neuen Wert ersetzt. Die Methodik folgt dem in Abschnitt 3.4.1.3 beschriebenen Ansatz, näheres findet sich in EUROTOPP[1989].

³⁹ © PTV-System Karlsruhe

Ein konsequenter Einsatz dieses Moduls ist im vorliegenden Anwendungsfall jedoch aus zwei Gründen noch nicht möglich:

- Die zur Verfügung stehende EDV-Anlage⁴⁰ ist kapazitativ nicht in der Lage, für die vorhandene Stichprobengröße dynamisch die Fortschreibung vorzunehmen.
- Für den ÖV würden sich aufgrund des genauen Umlegungsmodells konstante, genaue Werte einstellen, die jedoch keineswegs die reale Erfahrungssituation wiedergeben.

Deshalb wurde die Erfahrung extern abgeleitet (vgl. 4.3.3.3).

⁴⁰ SUN-Spare Station mit RISC-Prozessor

5 Pilotanwendung

5.1 Analysefall Köln

5.1.1 Rahmenbedingungen

Im Rahmen des SCOPE-Projektes war das EUROTOPP-Modell für eine Anwendung in der Stadt Köln vorgesehen. Die Intentionen des Projektes waren dabei andere als die dieser Arbeit. Im Vordergrund standen zwei Aspekte:

- die Bereitstellung eines Planungsinstrumentes im Rahmen der Schaffung eines strategischen Informationssystems⁴¹ (SIS), das sich durch einen Datenverbund aus einem statistischen Informationssystem und einem geographischen Informationssystem herleitete und
- die Verknüpfung dieses Planungsinstrumentes mit dem SIS zur automatisierten Bereitstellung von Inputdaten für das Planungsmodell und zur Abgabe von Outputdaten in das SIS nicht nur für die Planung im engeren Sinn, sondern auch für Politikberatungszwecke.

Diese Intentionen bedingten gleichwohl die Weiterentwicklung von EUROTOPP und insbesondere die Erstellung eines Analysefalls für die Stadt Köln, da die Anwendbarkeit des Modells Voraussetzung für die Integration in das SIS ist.

Das EUROTOPP-Modell wurde vor dem Hintergrund der Anwendung in Köln zu seinem derzeitigen Zustand, wie er in Kapitel 4 beschrieben ist, weiterentwickelt, wobei eine Vielzahl von Modifikationen hauptsächlich im Bereich des Softwarecodes vorzunehmen waren, die hier nicht zu diskutieren sind.

Wichtig ist vielmehr die Feststellung, daß im Rahmen des SCOPE-Projektes eine applikable Version des Modells entstand, die nach den Validierungsarbeiten, die für die spezifische Situation in Köln vorgenommen wurden, in der Lage ist, die Verkehrsnachfrage der Einwohner der Stadt Köln abzubilden. Dieser Analysefall Köln ist damit geeignet, in einer ersten Anwendung die Wirkungen von Maßnahmen zu schätzen und zwar bezogen auf die derzeitige Verkehrssituation der Stadt Köln. Daraus ergibt sich unmittelbar die Möglichkeit, den Einfluß von NIS in einer Pilotanwendung in Köln zu schätzen, indem entsprechende Annahmen über die Implementierung solcher Systeme getroffen werden.

Abbildung 5-1 zeigt den Aufbau des Modell-Konzept und seine Integration im Kölner SIS.

⁴¹ Diese Bezeichnung illustriert den Terminologiekonflikt zwischen der Verkehrsplanung und der Informatik, infolgedessen die in dieser Arbeit untersuchten Informationssysteme mit dem Begriff 'Nutzer' ergänzt wurden.

5.1.2 Zur Situation in der Stadt Köln

Zur Einschätzung der Situation sollen zunächst einige Eckdaten⁴² der Stadt Köln zur geographischen Ausdehnung, zur Einwohnersituation und zu den Verkehrssystemen vorgestellt werden.

Die Stadt Köln weist eine Fläche von 40 512 ha auf. Die maximale Ausdehnung des Stadtgebiets in Ost-West-Richtung beträgt ca. 21 km und in Nord-Süd-Richtung ca. 25 km.

Die Zahl der Einwohner beträgt ca. 1 000 000 (1990: 998 600), die in ca. 480 000 Haushalten leben (davon 210 000 Ein-Personen-Haushalte und 130 000 Zwei-Personenhaushalte). Die Motorisierungsrate beträgt ca. 450 PKW/1000 Einwohner und liegt damit unter dem Durchschnitt der alten Bundesländer.

Köln verfügt über ein Straßennetz (alle Kategorien) von ca. 2000 km Länge, wovon ca. 500 km klassifizierte Straßen ausmachen.

Dem steht das ÖV-Netz gegenüber, das überwiegend von den Kölner Verkehrsbetrieben (KVB) zur Verfügung gestellt wird. Es besteht aus ca. 270 km Straßenbahnlinienlänge (ober- und unterirdisch) und 410 km Buslinienlänge, wobei der mittlere Haltestellenabstand im Schienenverkehr ca. 670 m und im Busverkehr ca. 590 m beträgt. Die durchschnittliche tägliche Beförderungsleistung der KVB beträgt ca. 3 Millionen Personenkilometer.

5.2 Empirische Auswertungen

5.2.1 Datenbedarf

Neben den sekundärstatistischen Eingangsdaten zur Erstellung der Stichprobe, die in Kapitel 4 beschrieben sind, werden für die Modellanwendung Informationen zum *Verkehrsnachfrageverhalten* benötigt.

Diese Informationen werden üblicherweise aus Haushaltsbefragungen abgeleitet. Haushaltsbefragungen enthalten Informationen zu Wegen, die von Personen an einem Stichtag zurückgelegt werden. Dabei werden die Zwecke, Zeiten und Verkehrsmittel der Wege sowie die soziodemographischen Merkmale der Personen und Haushalte erhoben. Durch den Abgleich der Personen- und Haushaltsmerkmale mit der Sekundärstatistik und eine entsprechende Gewichtung der Wege kann so ein repräsentativer Querschnitt des Verkehrsverhaltens an einem Stichtag ermittelt werden. Wobei die Annahme gilt, daß dieser Querschnitt an allen gleichartigen Tagen (z.B. Werktagen) gültig ist, zeitliche Unterschiedliche im Nachfrageverhalten im Querschnitt also ausgeglichen werden.

⁴² Quelle Stadt Köln: Statistisches Jahrbuch 1990

Eine derartig ermittelte Wegedatei dient als wesentliche Grundlage zur Erstellung des Verhaltensinput in das Modell und als Mittel zur Validierung und Kalibrierung.

Der Input ergibt sich aus der Ermittlung der Häufigkeitsverteilungen von Aktivitätsketten nach verhaltensähnlichen Personengruppen, wie in Kapitel 4 beschrieben, aus der Wegedatei, wobei die wesentlichen Merkmale der Aktivitäten ebenfalls ausgewertet werden müssen, um die Mittelfristsimulation zu validieren.

Gleichzeitig dient die Auswertung der Haushaltsbefragung als Analyse der aktuellen Verkehrsnachfragesituation. Erst durch diese Analyse wird es möglich, die Outputinformation mit der (vermuteten) Realität zu vergleichen und die Kalibrierungen vorzunehmen, die das Modell prognosetauglich machen.

Die wesentlichen Informationen über die untersuchte Population sind

- das Wegeaufkommen,
- die Quelle-Ziel-Matrix,
- die Verkehrsmittelwahl (nach Quell-Ziel-Beziehung) und
- die Ziele nach Wegzwecken.

Während das Wegeaufkommen, die Quelle-Ziel-Matrix und die Verkehrsmittelaufteilung in erster Linie dazu dienen, den Output des Modells auf seine Übereinstimmung mit den realen Verhältnissen zu überprüfen, werden die Ziele dazu benutzt, das Zielwahlmodell zu validieren, indem die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten und Attraktivitäten ermittelt werden.

5.2.2 Gültigkeit ortsunspezifischer Daten

Haushaltsbefragungen sind sehr aufwendig, kostenintensiv und stoßen auf datenschutzrechtliche Bedenken. Vor diesem Hintergrund ist es ausgesprochen schwierig, statistisch gesicherte Informationen zum Verkehrsverhalten zu erlangen. Zumkeller/Seitz [1992] widmeten sich daher der Frage, ob für die Planung mit Individualverhaltensmodellen nicht auf vorhandene Befragungen wie die KONTIV oder die Volkszählung (VZ '87) zurückgegriffen werden kann. Sie wiesen anhand statistischer Test und der exemplarischen Anwendung eines Modellfalls nach, daß die Nutzung vorhandener globaler Erhebungen für lokale Planungsfälle mit befriedigender Genauigkeit möglich ist. Insbesondere konnte durch Auswertungen der KONTIV '89 nachgewiesen werden, daß

- die Mobilität,
- die Anzahl Wege,
- das Zeitbudget und
- die Aktivitätsmuster⁴³

pro Personengruppe *räumlich invariant* sind.

⁴³ mit Ausnahme der Personengruppe 'Studenten'

Damit werden Informationen aus der KONTIV räumlich übertragbar, insbesondere wenn entsprechende Auswertungen in Teilmengen der KONTIV (nach Ortsgröße differenziert) vorgenommen werden.

5.2.3 Haushaltsbefragung Köln

Für die Kölner Verkehrsbetriebe (KVB) wurde 1992 eine Haushaltsbefragung der Einwohner der Stadt Köln durch die Firma Socialdata durchgeführt, deren Ergebnisdateien (Haushalte, Personen und Wege) im Anwendungsfall Köln zur Verfügung standen.

Die Stichprobe umfaßte ca. 1000 Haushalte mit entsprechend 2200 Personen und 6500 Wegen. Die Wege lagen entsprechend der Sekundärstatistik gewichtet vor.

Ausgewertet wurden

- die Quelle-Ziel-Matrix
- die Verkehrsmittelnutzung (siehe Abbildung 5-2)
- die Zielwahlwahrscheinlichkeiten (nach Zelle und Wegzweck) und
- die zeitlichen Merkmale der Aktivitäten (Beginnzeiten, Dauern).

Die Auswertung zeigte die begrenzte Verwertbarkeit der Haushaltsbefragung, die sich aus der Stichprobengröße ergibt. Am Beispiel der Quelle-Ziel-Matrix läßt sich dieser Sachverhalt leicht illustrieren.

Auf der Basis von 84 Stadtteilen, die sowohl der Befragung zugrunde liegen als auch das räumliche Bezugssystem des Modells bilden, ergibt sich eine Matrix, ohne Außenzellen, mit 7056 Elementen, die mit der erhobenen Zahl der Wege in vielen Fällen unbesetzt bleibt. Damit läßt sich auch die Gewichtung der Quell-Ziel-Beziehungen nicht zuverlässig ermitteln, da Beziehungen mit der Stärke Null nicht notwendigerweise tatsächlich 0 betragen. Eine korrekte Wiedergabe der realen Situation ist nur für die Matrix-Randsummen-Verteilung (Quellverkehr, Zielverkehr) zu erwarten.

Das gleiche gilt für den Modal Split, der nur global geschätzt werden kann und für die Zielwahlwahrscheinlichkeiten.

Die Haushaltsbefragung erschien auch nicht geeignet, die Personengruppen zu identifizieren und die Aktivitätsmusterhäufigkeiten zu ermitteln und zuzuordnen, da sich wegen der Stichprobengröße statistisch gesicherte Zuordnungen nicht oder nur auf der Basis sehr weniger Gruppen ergeben hätten.

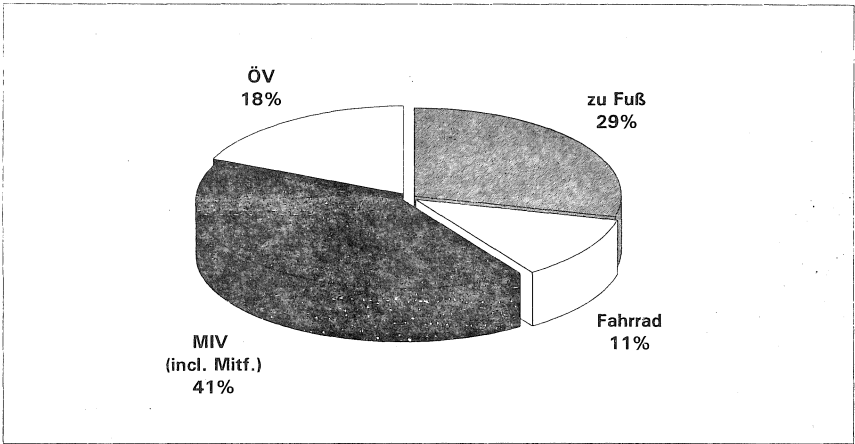


Abb. 5-2
 Modal Split der Einwohner der Stadt Köln (Auswertung der Haushaltsbefragung)

5.2.4 KONTIV '89

Wegen der statistischen Unsicherheiten der Haushaltsbefragung wurde für den Input der verhaltensähnlichen Personengruppen und deren Verteilung und Art der Aktivitätetenketten die KONTIV '89 benutzt. Die Identifikation der Gruppen erfolgt damit auf der Basis der Ergebnisse von Schäfer (siehe Abbildung 5-3).

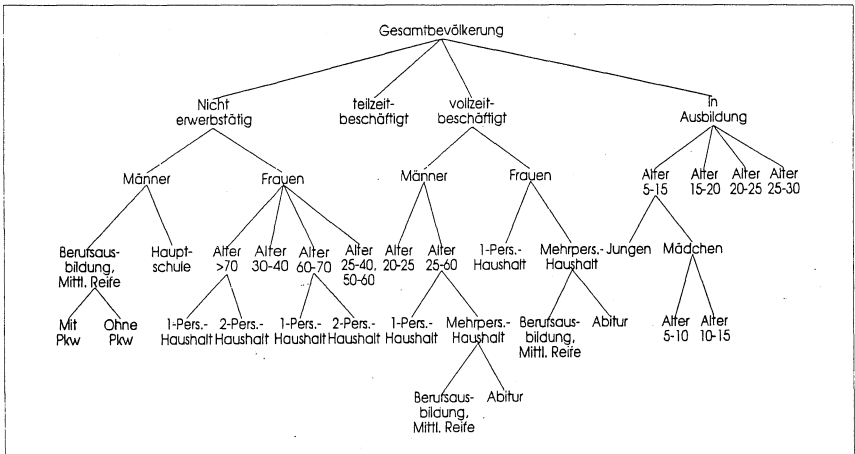


Abb. 5-3
 Einteilung der verhaltensähnlichen Gruppen (Werktage)

(Quelle: Schäfer[1993])

5.3 Modellvalidierung und -kalibrierung

Der Einsatz eines Modells zur Abschätzung von Maßnahmewirkungen setzt die Abbildung des gegenwärtigen Zustands im Untersuchungsgebiet voraus, was sowohl für den Input als auch für den Output des Modells gilt. Auf der Basis gültiger Werte des Analysezustands sollen für einen Prognosezustand Aussagen gemacht werden, die nur dann als valide eingeschätzt werden können, wenn die notwendige Bedingung eingehalten ist, daß das Modell Outputinformationen liefert, die mit den entsprechenden Analysewerten ausreichend übereinstimmen.

Dies wird nach der *Modellbildung* durch die *Validierung* und die *Kalibrierung* erreicht. Die Schritte sollen am Beispiel des Logit-Modells⁴⁴ zur Abbildung der Verkehrsmittelwahl veranschaulicht werden:

a) Modellbildung

Unter der Annahme, daß Nutzer über ein Verkehrsmittel so entscheiden, daß die getroffene Wahl den Aufwand zur Überwindung der Distanz zwischen einer Zelle i und einer Zelle j minimiert, lassen sich Auswahlwahrscheinlichkeiten für die Benutzung eines Verkehrsmittels ableiten, die sich aus k definierten spezifischen Eigenschaften X_{mk} der Verkehrsmittel m ergeben.

Die Modellformulierung lautet:

mit den Nutzenfunktion $N_m = c_1 \cdot X_{m1} + c_2 \cdot X_{m2} + \dots + c_k \cdot X_{mk}$

beträgt die Wahrscheinlichkeit zur Wahl eines Verkehrsmittels n:
$$P_n = \frac{e^{N_n}}{\sum_m e^{N_m}}, \quad \sum_n P_n = 1$$

oder anschaulicher für den Fall der Entscheidung zwischen zwei Verkehrsmitteln (für $m=1,2$):

$$P_1 = \frac{e^{N_1}}{e^{N_1} + e^{N_2}} = \frac{1}{1 + e^{N_2 - N_1}}, \quad P_2 = 1 - P_1$$

Der Modellinput umfaßt die Eigenschaften X_{mk} der Verkehrsmittel bezogen auf den Weg i-j, die ermittelbare Größen eines meßbaren Zustands (Analyse) und eines geplanten Zustandes (Prognose) sind und die Eigenschaft haben müssen, Veränderungen darzustellen.

b) Validierung

Die Validierung umfaßt zum einen die geeignete Auswahl der X_{mk} nach den Kriterien inhaltlicher Zusammenhang und Abbildungsfähigkeit von Veränderungen. Beispielsweise sind Reisezeiten und

⁴⁴ Das Logit-Modell wird ausschließlich zur Erläuterung des Sachverhalts dargestellt. Wegen der Anschaulichkeit wurde ein einfacher Aufbau gewählt. Es soll keine Diskussion vorgenommen werden.

Kosten inhaltlich wichtige Einflußgrößen der Verkehrsmittelwahl und damit in der Regel Grundelemente der Nutzenfunktionen. Beeinflußt eine abzubildende Maßnahme zum Beispiel die Umsteigehäufigkeit oder den Komfort eines öffentlichen Verkehrsmittels, sind auch hier geeignete Größen zur Darstellung dieser Eigenschaften in das Modell aufzunehmen.

Zum anderen besteht die Validierung darin, die Inputgrößen der Analyse zu bestimmen und in das Modell einzufügen.

c) Kalibrierung

In der Kalibrierung sind die Modellgrößen zu ermitteln, die sich nicht als Meßgrößen darstellen, sondern in der Modellbildung als Anpassungsgrößen formuliert wurden, um die Gewichtung der Einflußgrößen und den Modelloutput durch die Analyse einzustellen.

Beim Logit-Modell werden die Konstanten c_k der Nutzenfunktionen ermittelt, indem die Abweichungen zwischen den beobachteten Auswahlanteilen der Verkehrsmittel und den im Modell errechneten Auswahlwahrscheinlichkeiten für alle Beziehungen i-j minimiert werden.

5.3.1 Populationsstichprobe

Die Validierung der Populationsstichprobe ist im wesentlichen in Kapitel 4 beschrieben. Eine Kalibrierung des Modells erübrigt sich insofern, als die Simulation direkt den Modellinput abbildet (in Form der Merkmalsverteilungen). Bei der Modellanwendung zeigen sich jedoch Abweichungen in einigen Verteilungen der Modellstichprobe gegenüber der Realpopulation, die auf statistische Ungenauigkeiten der Inputdaten und Unsicherheiten durch nicht ausreichende Stichprobengröße zurückgehen. Die Validierung umfaßt eine Korrektur der Werte jener Verteilungen, die sich durch eine Erhöhung der Stichprobengröße nicht verbessern lassen.

Es wurde mit einer Stichprobe gearbeitet, die auf der Erzeugung von 15 000 Haushalten basiert und 32000 Personen enthält. Das entspricht einem Hochrechnungsfaktor von 31,3 bzw. einer relativen Stichprobengröße von 3,2 %.

5.3.2 Verkehrsnetze und Zellensystem

Die Darstellung der Verkehrsnetze erfolgte mittels der Umlegungsprogramme VISUM-IV und VISUM-ÖV. Die Validierung umfaßt die Kodierung der Netze in geographischer und verkehrlicher Hinsicht und die Umsetzung in Dateien, die für die Umlegungsprogramme lesbar sind.

Die Stadt Köln, wie alle denkbaren Untersuchungsgebiete, hat verkehrliche Verknüpfungen mit ihrem Umland. Die Außenverflechtungen sind im Fall Köln sogar besonders stark, u.a. da die Stadt deutlich mehr Arbeitsplätze aufweist, als es Erwerbstätige unter ihrer Bevölkerung gibt. Bei der Abbildung der

Verkehrsmengen in den diversen Netzen sind also die Nichteinwohner zu berücksichtigen. Dazu bedarf es der Einbeziehung von Außenzellen, die zum als Zielzellen für den Quellverkehr der Stadt Köln und zum als Quellzellen für den Zielverkehr dienen. Das Verkehrsaufkommen dieser Außenzellen wurde in erster Linie aus den Daten der VZ'87 und deren Abgleich mit vorhandenen Matrizen ermittelt und in die vorhandene Matrix eingerechnet.

Im Fall des Individualverkehrs wurden die Hauptstraßen der Stadt Köln aus dem Lageplan entnommen und in eine entsprechende Netzdatei umgesetzt, die Anbindungen an das Straßennetz des Umlandes enthält und entsprechend der Einteilung des EUROSCOPE-Modells (siehe Abbildung 5-4) 84 Quell- bzw. Zielanbindungen.

Bei der Kalibrierung des Modells ist es erforderlich, die Capacity-Restraint-Funktionen des Umlungsprogramms so einzustellen, daß sich bei der Umlegung realistische Querschnittsbelastungen ergeben. Auf der Basis von Zählwerten an den Rheinbrücken, die in Köln höchste Bedeutung für den MIV haben, wurden die Widerstandsfunktionen mit mehreren Umlegungen⁴⁵ eingestellt.

Das ÖV-Netz, bestehend aus einer Kodierung der Bus- und Schienennetze und den Fahrplan- bzw. Liniendaten konnte direkt aus einer Installation für die Kölner Verkehrsbetriebe übernommen werden. Eine Kalibrierung war hier nicht vorzunehmen, insbesondere weil die Widerstandsbestimmung mit ÖV-Umlungsprogrammen weitgehend belastungsunabhängig ist.

Der nicht motorisierte Verkehr wird ausschließlich über die Widerstandsmatrizen abgebildet, die zunächst aus der Wegewahl des IV-Umlungsprogramms abgeleitet worden waren und dann durch manuelle Wegemessungen im Lageplan ergänzt wurden.

⁴⁵ Die Umlegungen erfolgen in VISUM nach dem Gleichgewichtsverfahren.

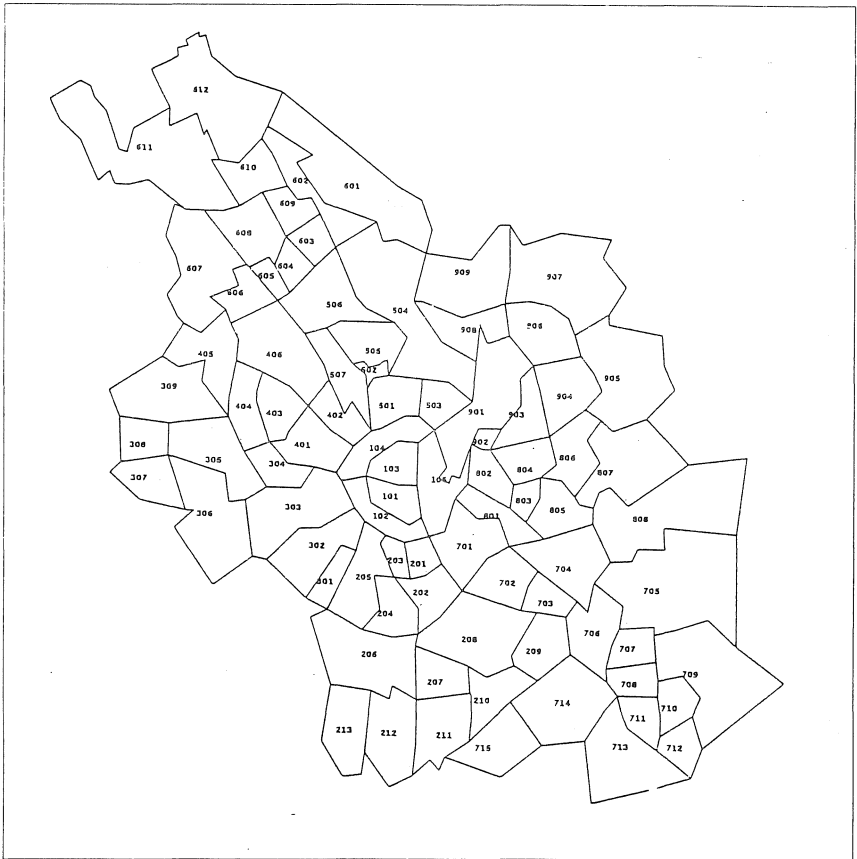


Abb. 5-4
Die Zelleneinteilung für die Stadt Köln (Die Außenzellen sind nicht dargestellt.)

5.3.3 Aktivitätenketten

Nachdem die Aktivitätenketten nach ihrer Zusammensetzung aus der KONTIV '89 abgeleitet worden waren, mußte eine Validierung der Ketten hinsichtlich der zeitlichen Eigenschaften der Aktivitäten vorgenommen werden.

Die Beginnzeiten und Dauern der Aktivitäten wurden aktivitätstypspezifisch aus der Haushaltsbefragung in Köln ausgewertet und als Verteilungen aufbereitet. Mittels der Monte-Carlo-Simulation wurden dann die Aktivitäten entsprechend validiert. Dieses Vorgehen sollte die direkte Abbildung der Beginnzeiten

der Aktivitäten in Köln sicherstellen, um so möglichst ortsspezifische Verteilungen zu berücksichtigen. Bei der Validierung der Aktivitätenketten ist die korrekte Wiedergabe der Gesamtzahl der Wege in der Simulation ein wichtiges Kriterium. Die Methode der Identifikation verhaltensähnlicher Gruppen liefert jedoch für jede Gruppe nur eine begrenzte Anzahl von unterschiedlichen Aktivitätenketten, da die Häufigkeit bestimmter Ketten zu den Kriterien des Verfahrens zählt. Dabei werden nur ca. 90 % aller Aktivitätenkettentypen berücksichtigt. Durch die Normierung auf 100% entsteht ein systematischer Fehler, weil der Anteil der unberücksichtigten Ketten gerade solche Ketten enthält, die besonders viele Wege aufweisen und wegen der Variabilität bei vielen Aktivitäten extrem selten vorkommen und sich deshalb nicht mehr in der Verteilung abbilden lassen. Da aber diese Wege überproportionalen Anteil am Verkehrsaufkommen und der Verkehrsleistung haben, können sie nicht unberücksichtigt bleiben. Deshalb müssen die Verteilungen der Mittelfristsimulation mit synthetischen Ketten ergänzt werden.

5.3.4 Zielwahl

Die Validierung der Zielwahl erfolgte für die Aktivitätentypen

- geschäftliche Erledigung,
- Einkauf,
- persönliche Erledigung,
- Freizeit und
- Holen/Bringen von Personen

auf der Basis der Zielhäufigkeiten in der Haushaltsbefragung, wobei die Attraktivitäten (siehe Gleichung 5-8) über die Randsummenverteilung der Quell-Ziel-Matrix und die Verteilung der Häufigkeit für jede Zielzelle geschätzt wurde. Auch hier trat das Problem der unbesetzten Matrixelemente auf, das eine Schätzung verlangt, da davon ausgegangen werden muß, daß keine Zielzelle die Attraktivität Null aufweist. Daher wurde in den Fällen unbesetzter Zielzellen die Verteilung der Zielhäufigkeiten für jede Quellzelle (entsprechend einer Zeile der Quelle-Ziel-Matrix) nur über die Zielzellen eines Stadtbezirks gebildet und auf die Stadtteile widerstandsproportional verteilt. Dieses Vorgehen lag auch deshalb nahe, weil, insbesondere in den Innenstadtbezirken, viele Nennungen nicht stadtteilfein, sondern lediglich nach Bezirken vorlagen.

Die Pflichtaktivitäten (Arbeiten, Ausbildung) unterliegen nicht der Zielwahl, da die Ziele in der Langfristsimulation festgelegt werden.

5.3.5 Verkehrsmittelwahl

Die Validierung der Verkehrsmittelwahl erfolgte in erster Näherung auf der Basis der Haushaltsbefragung. Nach der Wegewahl zur Darstellung der Verkehrsmiteleigenschaften (Widerstände) wurde die Verkehrsmittelwahl simuliert und die Verkehrsmittelanteile wurden mit den beobachteten Werten verglichen, um einen validen Nullfall zu schaffen.

Dabei weist das Verkehrsmittelwahlmodell insofern ein Problem auf, als es nicht im üblichen Sinne kalibrierbar ist, da es auf Regeln basiert und, außer für die Abfahrtszeitwahl, über keine Funktionsparameter verfügt, die eine Einstellung des Outputs zulassen.

Deshalb ist der Wegewahlinput in das Modell von entscheidender Bedeutung für die Aussagegenauigkeit. Einzig die Kostenmatrizen lassen eine gewisse Kalibrierung zu, da sie Anteile enthalten können, die man als "generalized costs" bezeichnen kann, mit denen nicht objektiv messbare und quantifizierbare Eigenschaften einbezogen werden können. Diese Kostenmatrizen wurden benutzt, um die Verkehrsmittelanteile einzustellen.

Bei der Auswertung der Haushaltsbefragung nach der Verkehrsmittelwahl zeigte sich ebenfalls das Problem der kleinen Stichprobe. Angesichts des sehr geringen ÖV-Anteils stellte sich die Frage, ob der Fußweg-Anteil in der Haushaltsbefragung nicht überrepräsentiert war. Auch ohne die Zellenbinnenwege (d.h. Wege innerhalb der Stadtteile) ergab sich lediglich ein Anteil von 21 % für den ÖV, während der Fußweganteil immer noch bei 24 % lag (bei annähernd gleichen Anteilen der anderen Verkehrsmittel). Da die Gewichtung der Wege nicht überprüfbar war, wurde eine weitere Informationsquelle zur Überprüfung der Modellwerte herangezogen. Dazu wurde die Verkehrsleistung im ÖV, wie sie von den Verkehrsbetrieben angegeben worden war, der Verkehrsleistung, die die Modellrechnung lieferte gegenüber gestellt. Es zeigte sich, daß der simulierte Wert von 2,96 Mio. Pkm sehr gut mit der mittleren täglichen Verkehrsleistung aus der Statistik übereinstimmt (ca. 3 Mio.), die aus der jährlichen Verkehrsleistung ermittelt wurde. Die Verkehrsmittelanteile für das Fahrrad und den PKW entsprechen relativ genau denen der Haushaltsbefragung, wobei mit einem konstanten Mitfahreranteil beim MIV gerechnet wurde.

Mit dem Anteil der Haushaltsbefragung wäre diese Verkehrsleistung nur mit einer ca. 35 % höheren durchschnittlichen Fahrtweite zu erreichen. Die simulierte Fahrtweite beträgt im Mittel 8,9 km, ist damit relativ hoch, so daß davon ausgegangen wurde, daß der ÖV in der Haushaltsbefragung unterschätzt wird. Daher wurde der Nullfall als valide angenommen mit den in Tabelle 5-1 angegebenen Werten.

Verkehrsmittel	Anteil Simulation
PKW (incl. Mitfahrer)	42,0 %
Fahrrad	12,5 %
ÖV	24,5 %
zu Fuß	20,9 %

Tabelle 5-1: Modal-Split nach der Kalibrierung

Die Parameter der Abfahrtszeitfunktion wurden so eingestellt, daß sich die Abfahrtszeiten entsprechend den Ergebnissen der Haushaltsbefragung ergaben. Eine Unterscheidung der Abfahrtszeiten nach Verkehrsmittel war jedoch nicht möglich, da die Fallzahl in der Befragung dazu nicht ausreicht.

5.4 Anwendungsfälle von Nutzerinformationssystemen

Wie die Diskussion denkbarer NIS-Konzeptionen zeigt, kommen eine Vielzahl von Konstellationen zur Anwendung von NIS in Betracht. Berücksichtigt man nur die Systematik der NIS, ergeben sich aus der Zahl der Ausprägungen der Merkmale Zielgruppe, Bezug, Status und Charakter 54 unterschiedliche Systemansätze.

Aus der Diskussion der Potentiale von NIS läßt sich jedoch eine Reduktion ableiten, die sich an zwei Aspekten orientiert:

- Abschätzung der maximalen Veränderungen im Sinne der planerischen Zielsetzungen
- Untersuchung der Interdependenzen zwischen Systemen unterschiedlicher Zielgruppen.

Es ist sicherlich sinnvoll, das quantitative Potential von NIS abzuschätzen und dazu solche Ansätze zu untersuchen, die das größte qualitative Potential aufweisen. Solche Systeme sind NIS, die dynamisch, verkehrsträgerübergreifend und beschreibend Information zur Verfügung stellen.

Daneben erscheint es, vor allem interessant, wie Systeme mit unterschiedlichem Bezug und unterschiedlichen Zielgruppen zusammenwirken. Dabei ist die Frage kompensatorischer Effekte von besonderer Planungsrelevanz. Die Einführung zielgruppenspezifischer Systeme im Bereich des MIV steht unmittelbar bevor. Sie zeichnet sich dadurch aus, daß sie auf der Basis wirtschaftlicher Interessen erfolgt. Es dürfte daher auch interessant sein, ob die Wirkungen planungskonform sind und welche Initiativen von Seiten der Betreiber des öffentlichen Verkehrs möglicherweise notwendig sind, um einen relativen Attraktivitätsverlust abzuwenden.

Für die Untersuchung dieser Fragen wurden fünf verschiedene Fälle der Informationsanwendung unterschieden.

Fall 1 (F1) :

Ein allgemein verfügbares (in allen Haushalten, am Arbeitsplatz, im öffentlichen Raum) NIS mit verkehrsträgerübergreifender Information, die dynamisch Verbindungen im MIV und ÖV mit den Eigenschaften Reisezeiten und Kosten vermittelt.

Fall 2 (F2):

Ein allgemein verfügbares ÖV-Informationssystem, mit dynamischer Information über Verbindungen und Eigenschaften

Fall 3 (F3):

Ein allgemein verfügbares MIV- Informationssystem, mit dynamischer Information über Routen, Reisezeiten und Kosten

Fall 4 (F4):

Die Ausrüstung aller Fahrzeuge mit einem dynamischen MIV-Informationssystem (RDS/TMC).

Fall 5 (F5)

Kombination F2 und F4

Der Fall F1 stellt dabei die Maximalkonstellation dar, die sich unter Ausschöpfung aller Datenquellen in einem voll-integrierten Verkehrsmanagementsystems und der Benutzung moderner Telekommunikationsmittel wie DATEX-J, Internetanschluß oder Videotext ergeben würde. Technisch ist diese Konstellation durchaus realisierbar und die bereits vorhandenen Ausrüstungsgrade von Privathaushalten mit Telekommunikationsendgeräten moderner Prägung lassen auch die organisatorische Realisierung möglich erscheinen. Die vollkommene Verfügbarkeit in allen Entscheidungssituationen ist eine Annahme, die für die Abschätzung des quantitativen *Potentials* unabdingbar ist.

Die Fälle F2 und F3 sind Unterfälle von F1, insofern sie sich von diesem nur durch den Bezug unterscheiden. Ihre Untersuchung verspricht Aussagen darüber, welcher Informationsbezug bei eingeschränkter Datenverfügbarkeit für die Umsetzung der Planungsziele günstigere Wirkungen erwarten läßt. Die Wirkung zielgruppenspezifischer Information wird in F4 untersucht. Ein Vergleichsfall für den ÖV wurde nicht definiert, da die Wirkungen hier nicht direkt aus veränderten Entscheidungssituationen abgeleitet werden können und entsprechende Untersuchungen zur Wirkung nicht zur Verfügung stehen. Eine gesicherte Abbildung wäre nicht möglich gewesen.

Der letzte Untersuchungsfall untersucht die Wirkung der gleichzeitigen Anwendung eines MIV-gebundenen Systems (Zielgruppe und Bezug) und eines ÖV-bezogenen Systems. Hier soll vor allem die mögliche Ergänzung oder Kompensation erfaßt werden.

Bei allen Untersuchungsfällen gilt jedoch, daß eine Wirkung im Sinne der planerischen Intentionen nur stattfinden kann, wenn die Handlungsoptionen entsprechend ausgestaltet sind. Es ist nicht zu erwarten, daß eine aus Nutzersicht ungünstigere Handlungsoption gewählt wird, nur weil sie durch Information dem Nutzer näher gebracht wird.

5.5.2 Zusammenstellung der Simulationsfälle

In Tabelle 5-2 sind alle Simulationsfälle und die zugrundeliegenden NIS-Annahmen zusammengestellt.

Fall	Systemeigenschaften				Informationsdarstellung
	Zielgruppe	Bezug	Status	Charakter	
F0	Vergleichsfall ohne Information				Erfahrungswerte für drei Tageszeiten
F1	alle	übergfhd.	dynamisch	beschreibend	IV: 24 untersch. Matrizen ÖV: 24 untersch. Matrizen
F2	alle	ÖV	dynamisch	beschreibend	IV: wie F0 ÖV: 24 untersch. Matrizen
F3	alle	MIV	dynamisch	beschreibend	IV: 24 untersch. Matrizen ÖV: wie F0
F4	MIV-Nutzer	MIV	dynamisch	empfehlend	IV: geänderte Erfahrungswerte (Reduktion Spitzenzeit) ÖV: wie F0
F5	MIV alle	MIV ÖV	dynamisch	empfehlend beschreibend	IV: geänderte Erfahrungswerte (Reduktion Spitzenzeit) ÖV: 24 untersch. Matrizen

Tabelle 5-2: Zusammenstellung der Simulationsfälle

Die Simulation erfolgte jeweils auf der gleichen Personenstichprobe und der gleichen Ausgabedatei der Mittelfristsimulation (*fic dat.dat*). Es wurden für alle Simulationsfälle Ausgabedateien (*daily.routes*) für einen Werktag erzeugt und ausgewertet.

5.6 Auswertung

Die Auswertung erfolgte mit Hilfe von Standardsoftware wie dem Datenbankprogramm 'MS ACCESS'⁴⁶ und dem Tabellenkalkulationsprogramm 'MS EXCEL'. Ausgewertet wurden drei Kriterien:

- die Verkehrsmittelwahl
- die Verkehrsleistung im motorisierten Verkehr und
- Veränderungen der Abfahrtszeiten im MIV.

Veränderungen des Verkehrsaufkommens wurden nicht abgebildet, da, wie in Kapitel 4 ausgeführt, solche Änderungen auf der Basis einer nicht fortgeschriebenen Stichprobe nur aufgrund von Maßnahmen nicht abbildbar sind.

⁴⁶MS ACCESS™ und MS EXCEL™ sind eingetragene Warenzeichen der Microsoft Corporation

5.6.1 Verkehrsmittelwahl

Die Auswertung der Verkehrsmittelwahl (nach Anzahl der Wege) zeigt zunächst, daß Information sehr wohl Wirkungen bei der Verkehrsmittelwahl ausübt. Abbildung 5-5 zeigt den Modal Split für die Simulationsfälle und den Vergleichsfall.

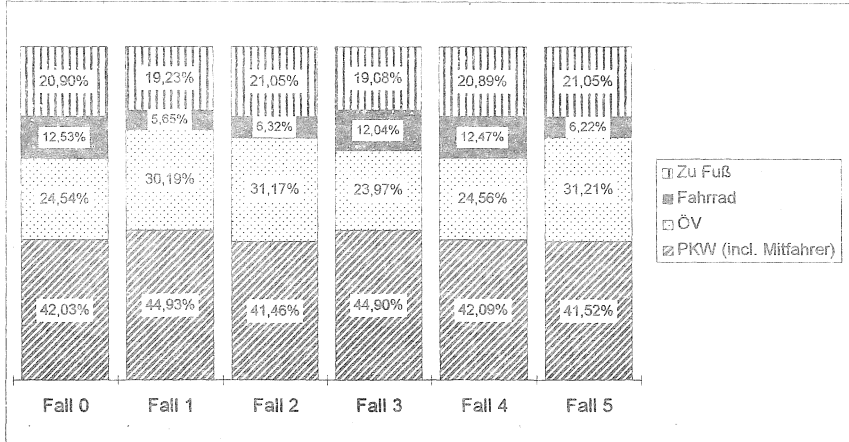


Abb. 5-5
Modal Split der Simulationsfälle im Vergleich

Es zeigt sich im einzelnen, daß MIV-Information vor der Fahrt (F1, F3) die Nutzung des Verkehrsmittels PKW steigert, wobei zwischen F1 und F3 kein Unterschied besteht, was bedeutet, daß die gleichzeitige Verfügbarkeit von ÖV-Information (F1) darauf keinen Einfluß hat.

Dies ist sicherlich in der Tatsache begründet, daß der MIV in vielen Fällen *objektiv günstigere* Eigenschaften aufweist als der ÖV.

Besonders bemerkenswert ist jedoch die Tatsache, daß der ÖV-Anteil in allen Fällen mit ÖV-Information deutlich ansteigt (in F 2 immerhin um mehr als 20% bezogen auf den ursprünglichen Anteil) und dies vor allem zu Lasten des Verkehrsmittels Fahrrad. Reduktionen des MIV zugunsten des ÖV sind dagegen praktisch nicht zu beobachten⁴⁷.

Der Einsatz von Information während der MIV-Fahrt bewirkt zunächst keine Änderung des Modal Split (F4). Das mag darin begründet liegen, daß die Reduktion der Spitzenreisezeiten zu gering ist, um signifikante Attraktivitätssteigerungen im MIV auszulösen. Tatsächlich erscheint es wahrscheinlich, daß MIV-Nutzer solche Systeme annehmen werden, um die vorhandene Nutzung zu optimieren, ohne daß Nutzer anderer Verkehrsmittel auf den MIV umsteigen.

⁴⁷ Reduktionen von 0,5% Anteil liegen mit Sicherheit unterhalb der Abbildungsgenauigkeit des Modells

Ein Grund für die insgesamt geringe Reaktion des MIV ist wohl auch darin zu sehen, daß die modalen Restriktionen der Wegeketten in vielen Fällen die Benutzung des ÖV ausschließen, wohingegen die Nutzer des flexiblen Verkehrsmittel 'Zu-Fuß-Gehen' sehr leicht zum ÖV wechseln können.

5.6.2 Verkehrsleistung

Die Verkehrsleistung des motorisierten Verkehrs wurde mit den O-D-Matrizen für den MIV und den ÖV auf der Basis der Entfernungsmatrix MIV und der Beförderungsweitenmatrix ÖV, die jeweils mit dem Umlegungsprogramm ermittelt wurden, berechnet. Für den nicht motorisierten Verkehr wurde keine Berechnung vorgenommen.

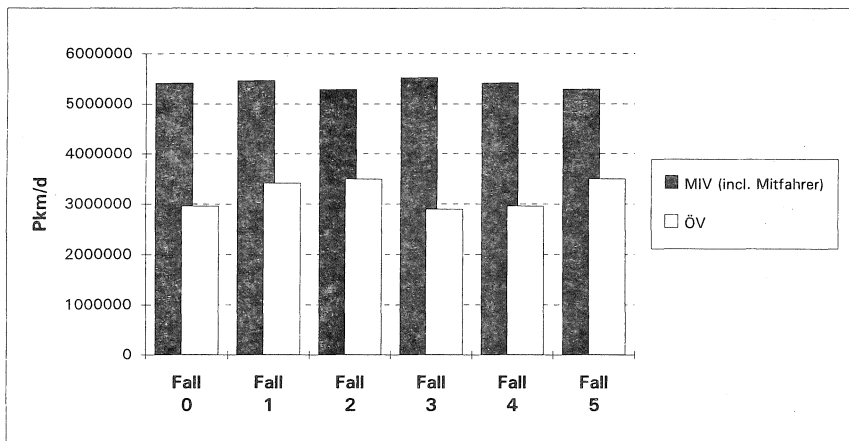


Abb. 5-6
Verkehrsleistung nach Fällen im motorisierten Verkehr

Die Verkehrsleistung der Fälle unterscheidet sich relativ im Verhältnis der Modal-Split-Anteile. Die mittlere Fahrtweite bleibt in den Fällen ohne Information zum jeweiligen Verkehrsmittel vor der Fahrt weitgehend konstant. Mit Information sinkt sie jedoch etwas ab (siehe Abbildung 5-7), was dafür spricht, daß vor allem kurze Wege aus dem nicht motorisierten Verkehr verlagert werden, wenn ein Verkehrsmittel durch Information verfügbar wird.

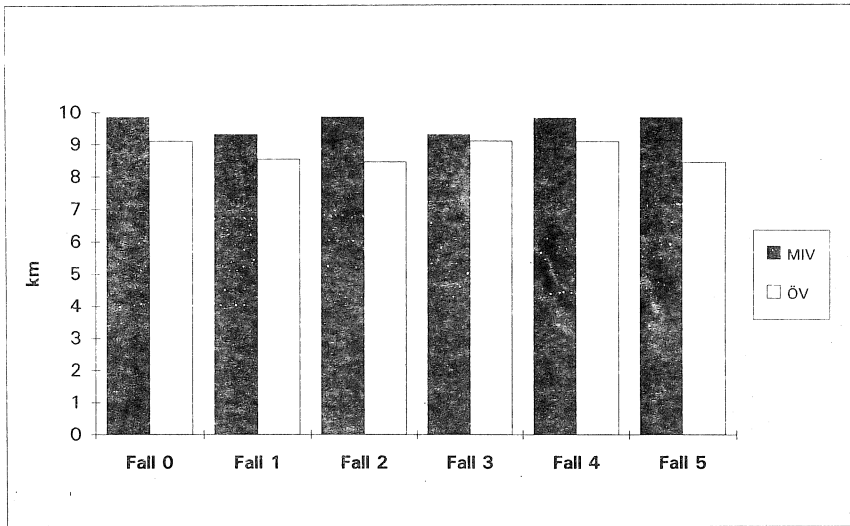


Abb. 5-7
Mittlere Fahrtweite je Fall und Verkehrsmittel

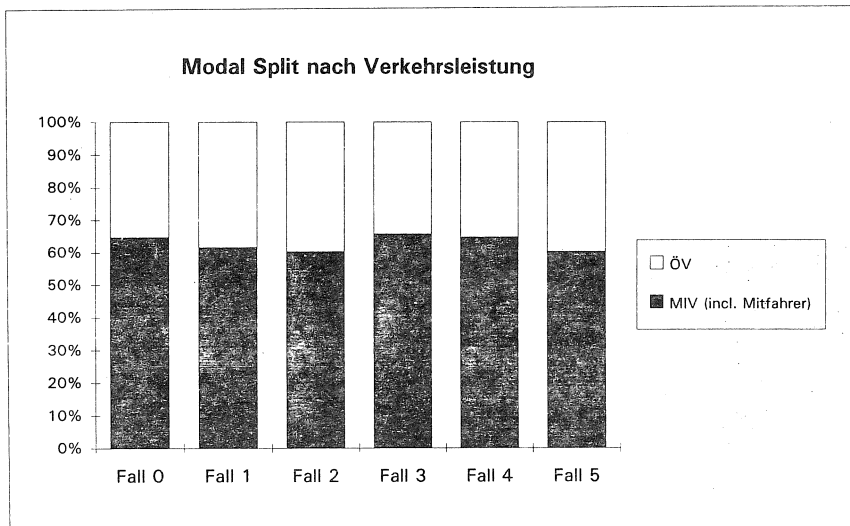


Abb. 5-8
Aufteilung der motorisierten Verkehrsmittel nach Verkehrsleistung

5.6.3 Zeitliche Veränderungen der Verkehrsnachfrage

Die letzte wichtige Auswertung soll vor allem zwei Fragen beantworten:

- Ist das Modell in der Lage, die Wahl der Abfahrtszeit abzubilden und
- ergeben sich Verschiebungen der Abfahrtszeiten infolge der Einwirkung von Information ?

Die globale Auswertung aller Abfahrtszeiten ergab keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Fällen, so daß auf eine graphische Darstellung verzichtet wurde, da die geringen Unterschiede der Ganglinien nicht erkennbar sind.

Bedeutsam erscheint jedoch die Auswertung der Abfahrtszeiten für die PKW-Fahrten, da man sich hier kapazitative Entlastungen ("peak spreading") durch Information verspricht.

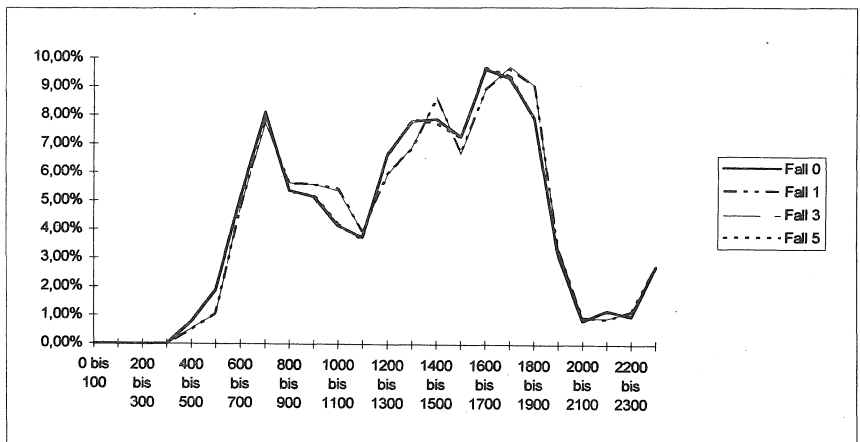


Abb. 5-9

Verteilung der Abfahrtszeiten der PKW-Fahrten nach Fällen

Wie Abbildung 5-9 zeigt, treten solche Effekte praktisch nicht auf. Aufgetragen sind die Fälle, in denen MIV-Informationen verfügbar waren. Es zeigt sich, daß sich der Fall 5⁴⁸ nicht vom Nullfall unterscheidet. MIV-Informationen vor der Fahrt bewirken jedoch offensichtlich mehr Abfahrten in den Tälern der Ganglinie, ohne die Spitzen nennenswert zu entlasten. Das wird in Abbildung 5-10 noch deutlicher, wo die relativen Veränderungen der Zahl der Abfahrten je Stundenintervall aufgetragen sind.

⁴⁸ Die Ergebnisse sind mit denen in Fall 4 identisch.

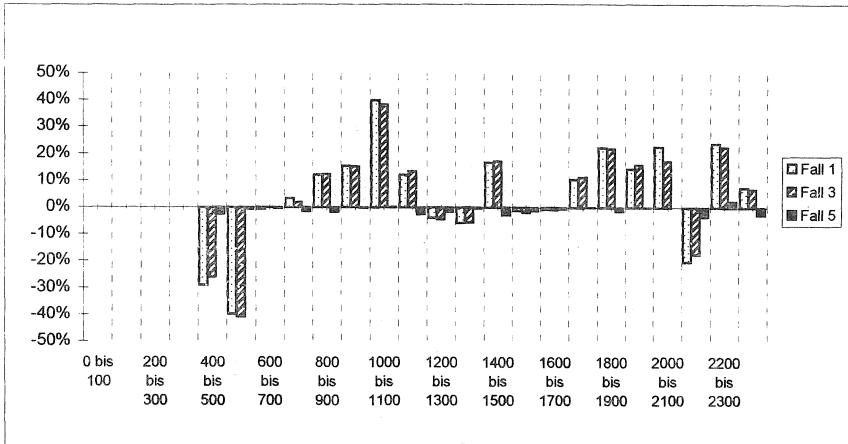


Abb. 5-10
Relative Änderungen der Zahl der Abfahrten je Stundenintervall

Betrachtet man die absoluten Veränderungen der Abfahrten (Abbildung 5-11), zeigt sich, daß es keine nennenswerten Entlastungen in den Spitzenzeiten gegeben hat, jedoch beachtliche Zunahmen in den verkehrsrärmeren Zeiten. Das dürfte vor allem auf die Verlagerung von anderen Verkehrsmitteln zurückzuführen sein, die überwiegend in diesen Perioden erfolgen, da hier der MIV "attraktive" Reisezeiten aufweist, die mittels der Information (F1, F3) realisiert werden können, während andererseits Restriktionen der Zeitplanung das Verlagern der Abfahrtszeiten verhindern.

Die Auswertung zeigt zunächst, daß das Modell grundsätzlich in der Lage ist, die Abfahrtszeit zu modellieren. Jedoch erscheint das Auflösungsvermögen nicht hoch genug, um mögliche geringe Verschiebungen abzubilden, die in den Simulationsfällen nur sehr selten aufgetreten sind. Die Ergebnisse zeigen allerdings zumindest, daß es für bedeutsame, d.h. deutlich verkehrswirksame Verschiebungen keine Spielräume gibt und daß MIV-Information das Risiko birgt, in den verkehrsschwachen Zeiten zusätzliche Nachfrage im MIV zu generieren.

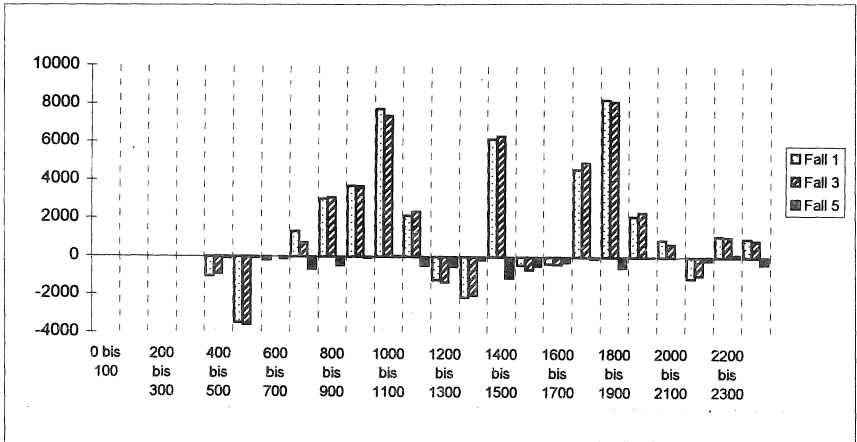


Abb. 5-11
 Absolute Veränderungen der PKW-Abfahrten je Stundenintervall

6 Zur Planungsrelevanz

6.1 Validität der Ergebnisse

Maßnahmen, die noch nicht angewandt worden sind und erst recht solche mit einem hohen Innovationsniveau wie der Einsatz von NIS, sind einer genauen Wirksamkeitsanalyse zu unterziehen, bevor sie eingesetzt werden. Jedoch ist es gerade die Tatsache, daß über die Wirkungen noch keine empirischen Erkenntnisse vorliegen, die die Wirksamkeitsanalyse so erschwert.

Die Verkehrsplanung kann an dieser Stelle nichts anderes tun, als eine umfassende gedankliche Analyse vorzunehmen und alle denkbaren Wirkungen aufzuzeigen. Für die Beurteilung der Wirksamkeit, also der tatsächlichen Beeinflussung der realen Situation ist die Planung auf die Modellierung angewiesen, die als einziges Instrument in der Lage ist, das komplexe Zusammenspiel vieler Faktoren wiederzugeben.

Die Validität der Ergebnisse solcher Modellierungen läßt sich schlußendlich nur an der (zukünftig) eintretenden Wirklichkeit messen. Bis zum Vorliegen empirischer Wirksamkeitsanalysen läßt sich die Validität nur an allgemeinen Kriterien abschätzen:

- Plausibilität der Zusammenhänge,
- Konsistenz und
- Stabilität bzw. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Sensitivitätsprüfungen auf der Basis der Variation verschiedener auf Annahmen beruhender Modellinputs (Schwellenwerte und Zeitintervalle der Abfahrtszeitwahl) zeigten die Stabilität der Ergebnisse und lassen es gerechtfertigt erscheinen, von der Validität des Modells auszugehen.

Etwaige statistische Fehlerbetrachtungen erscheinen als nicht problemadäquat, da sie zum einen in komplexen simulativen Hybridmodellen (die simulative Elemente mit Regeln und funktionalen Zusammenhängen verknüpfen) versagen müssen, weil eine Vielzahl von Kreuzungen von Einzelinformationen vorliegt. Zum anderen erscheint es eine eigene wissenschaftliche Themenstellung wert, die möglichen Einzelfehler und deren Zusammenhänge in einem Modellsystem (von der Aufnahme der Netze bis zur Kalibrierung mittels Befragungsdaten) zu quantifizieren.

Ein gewisses Dilemma ist darin zu sehen, daß statistische Fehler nach allgemeiner Erkenntnis mit zunehmender Komplexität des Modells zunehmen und mit abnehmender Komplexität der Modellfehler ansteigt. Es ist ein geeigneter Kompromiß zu suchen, dessen Ausgestaltung sich an der Fragestellung zu orientieren hat. Bei der vorliegenden Fragestellung mit hoher Komplexität der Zusammenhänge ist dieser Kompromiß sicher bei höherer Modellkomplexität anzusiedeln.

Betrachtet man nun die Ergebnisse der hier vorgelegten Modellierung im Hinblick auf die Kriterien Plausibilität und Konsistenz, so erscheinen sie sowohl plausibel als auch in sich konsistent. Das gilt auch im Vergleich mit allgemeinen Erkenntnissen der Verkehrsplanung. Die Verkehrsmittelwahl beispielsweise bildet die Analyseergebnisse korrekt ab und prognostiziert moderate Veränderungen, die allesamt erklärbar und nachvollziehbar sind.

Dabei können die Ergebnisse beim derzeitigen Erkenntnisstand naturgemäß nicht mehr sein als Anhaltspunkte für die Wirksamkeit von Information. Sie erscheinen jedoch durchaus geeignet, der Planung wichtige Entscheidungskriterien zu liefern, wenn es um die Konzeption konkreter Maßnahmen geht.

6.2 Erste Ableitung von Planungsempfehlungen

Zunächst zeigt die Pilotanwendung, daß der Einsatz von Information eine wirksame Maßnahme sein kann. Für konkrete Planungen lassen sich die folgenden Aspekte ableiten:

- Information vor der Fahrt bewirkt die Mobilisierung von Nutzern für das Verkehrsmittel, auf das sich die Information bezieht. Das heißt, ein MIV-Informationssystem erhöht die Nutzung des MIV und ein ÖV-Informationssystem erhöht die Nutzung des ÖV.
- Die Verlagerungen finden vor allem zu Ungunsten der nicht motorisierten Verkehrsmittel statt.
- Ein verkehrsträgerübergreifendes System bewirkt folgerichtig beides. Es kann nur dann eine Verschiebung zugunsten des Umweltverbundes erzielen, wenn die Optionen dort auch nutzergerichte Eigenschaften haben.
- Eine zeitliche Verschiebung der Nachfrage im größeren Umfang ist aufgrund der zahlreichen Restriktionen, denen Nutzer unterliegen, eher unwahrscheinlich.
- Informationssysteme in Fahrzeugen bewirken zunächst keine Änderungen der Verkehrsnachfrage, wenn sie auch gleichwohl die Verkehrsleistung erhöhen können, was im vorliegenden Fall nicht untersucht wurde.

Zur konkreten Konzeption von Maßnahmen sind die im folgenden genannten Ziele sicherlich einigermaßen unumstritten.

Allgemeine Ziele:

- Verringerung der Umweltbelastung durch den Verkehrssektor und
- Erhaltung und Schutz verkehrsfremder Flächennutzungen sowie
- Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit der Verkehrssysteme

direkte Maßnahmenziele:

- Verringerung der Nachfrage (Verkehrsaufkommen u. Verkehrsleistung) durch Verringerung der Wegezahl und Verkürzung der Wegelängen,
- Verlagerung auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel,
- räumlich günstigere Verteilung der Fahrten im Netz und
- zeitliche Verschiebung der Abfahrtszeiten in verkehrärmeren Tageszeiten ("peak spreading").

Unter Berücksichtigung dieser Ziele könnte man für den Einsatz von Information die folgenden Empfehlungen aus dieser Arbeit ableiten.

- Vor dem Einsatz von Information steht die Verbesserung der Eigenschaften der Verkehrsmittel des Umweltverbundes aus Sicht der Nutzer. Andernfalls werden Fahrten von den nicht motorisierten Verkehrsmitteln zu den motorisierten Verkehrsmitteln verlagert.
- Wenn keine verkehrsträgerübergreifenden Systeme vorgesehen sind, sollten ÖV-bezogene Systeme den MIV-bezogenen Systemen vorgezogen werden.
- Die Maßnahme "Information" sollte in einen Maßnahmenkontext mit weitergehenden Maßnahmen integriert werden. Bei der Konzeption MIV-restriktiver Strategien (Parkraumbewirtschaftung, Road-Pricing etc.) könnte sie als wesentlicher Katalysator zur wirksamen Umsetzung dienen.

6.3 Ausblick

Die hier vorgelegte Arbeit ist ein erster Versuch, sich mit dem Angebot von Information als Maßnahme der Verkehrsplanung auseinanderzusetzen. Diese Auseinandersetzung bedurfte der Analyse der Entstehung von Verkehrsnachfrage, um die Abbildung der Wirkungen von Information vornehmen zu können.

Hier zeigten sich gewisse Erkenntnisdefizite, die zukünftige Forschungsarbeit in der Verkehrswissenschaft zu lösen haben wird, um mit den absehbar komplexer werdenden Instrumenten der Nachfragebeeinflussung umgehen zu können. Dazu zählen vor allem die zeitlichen Reaktionen von Nutzern, die relativ unbekannt sind und das in zweifacher Hinsicht:

- Mittel- und Langfristig: Sind Aktivitäten und damit Wege disponibel? Welche Wege werden das gegebenenfalls sein und unter welchen Voraussetzungen werden sie unterlassen?

- Kurzfristig: Wie wählen Nutzer ihre Abfahrtszeit und unter welchen Umständen kann diese Wahl beeinflusst werden ?

Erst die weitere Untersuchung dieser Fragen wird es ermöglichen, die Modellvalidierung hinsichtlich dieser Aspekte vornehmen zu können bzw. weiter voranzutreiben und damit das Modell-Instrumentarium weiter zu entwickeln. Insbesondere gilt es, die getroffenen Annahmen zur Abbildung der Individualentscheidung empirisch soweit abzusichern, daß die dynamischen Effekte von 'Real-time'-Information in einer Genauigkeit abbildbar werden, die die Ergebnisse auch als Input für verkehrstechnische Fragestellungen verwendbar macht.

Dann wird eine noch weitergehende Behandlung der Frage nach der Wirksamkeit von ATT-Maßnahmen möglich sein, was angesichts der Fülle von Konzeptionen in diesem Bereich in der Planung dringend geboten erscheint.

Ein weiteres Defizit, das naturgemäß nach dieser Arbeit verbleiben muß, so wie es der Ausgangspunkt bei der Formulierung der Fragestellung war, ist der Mangel an empirischen Untersuchungen bzw. deren mangelnde Verfügbarkeit zur Wirksamkeit von ATT-Systemen und insbesondere von Nutzerinformationssystemen. Erst solche empirische Erkenntnisse werden die Planung in die Lage versetzen, das neu geschaffene Instrumentarium zu beherrschen.

Darum erscheint es angebracht, die Planung stärker als bisher an der Entwicklung von ATT-Maßnahmen zu beteiligen und es nicht den Systemanbietern allein zu überlassen, über die Einsatzmöglichkeiten nachzudenken.

7 Literatur und Quellen

- Axhausen, K.W. (1989): 'Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur Parkstandwahl', *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen*, 40, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Axhausen; Ayerbe; Bannelier; Berkum; Billotte; Goodwin; Herry; Katteler; Mede; Meurs; Polak; Schwarzmann; Selva; Yune; Zumkeller (1991): 'Towards a Dynamic and Activity-based Modelling Framework', in: 'Advanced Telematics in Road Transport', proceedings of the DRIVE Conference Brussels, February 1991, Elsevier Verlag
- Beck, T. (1994): 'Einsatz von Nutzerinformationssystemen im Verkehrswesen', *Diplomarbeit am Institut für Verkehrswesen*, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Becker, U.; Schneider, R.; Schwarzmann, R. (1991): 'Transportation Planning: Microscopic Approach', in: PAPAGEORGIOU (Hrsg.): *Concise Encyclopedia of Traffic & Transportation Systems*, Pergamon Press, Oxford, 1991
- Ben-Akiva, M.E. und Lerman S.R. (1985): '*Discrete Choice Analysis - Theory and Application to Travel Demand*', Cambridge, The MIT-Press
- v. Berkum, E., v.d. Mede, P. (1994): '*The impact of Traffic Information*', Dissertation TU Delft, Delft, 1994
- Bettman, J. R. (1979): '*An information processing theory of consumer choice*', Reading, Mass., Addison-Wesley 1979 XIV (Advances in marketing series)
- Boltz, M. (1992): 'Zur Bewertung von Managementmaßnahmen und neuen Techniken im Verkehr', *Straßenverkehrstechnik* 4/92
- Brög, W. (1979): 'Transport and the challenge of structural change - sociological aspects', *8th International Symposium on theory and practice in transport economics*, Istanbul 1979
- Chen, Q. und Anders, P. (1994): 'Abschätzung der Wirkung von TMC auf den Verkehrsfluß', Vortrag VDI-Tagung 'Verkehrskonzepte für Ballungsräume', VDI-Berichte 1138, VDI-Verlag, Düsseldorf 1994
- Clarke, M. (1985): 'Demographic processes and household dynamics: a microsimulation approach' in R. Wood and P. Rees (Hrsg.): '*Population Structures and Models*', pp 245-272, Allen and Unwin, Boston.
- Damm, D. And Lerman, S.R. (1981): 'A theory of activity scheduling behavior', *Environment and Planning*, 13A, pp 703-718.
- DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) (versch. Jahrgänge): 'Verkehr in Zahlen, Berlin, im Auftrag des Bundesministers für Verkehr (Hrsg.)
- EUROTOPP (1989): 'Annual Report 1989', report to DRIVE, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford.
- EUROTOPP (1989a): '*Review of macroscopic planning tools*', Bureau Goudapple Coffeng, Deventer.
- EUROTOPP (1989b): '*Pilot model and case studies*', report to DRIVE, INOVAPLAN, München.

- EUROTOPP (1989c): '*The potential for using microscopic planning tools*', report to DRIVE, Institut für Verkehrswesen, Universität (TH) Karlsruhe, Karlsruhe.
- EUROTOPP (1989d): '*The potential for using activity-based approaches*' report to DRIVE, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford.
- EUROTOPP (1990): 'Annual Report 1990', report to DRIVE, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford.
- EUROTOPP (1991): 'Annual Report 1991', report to DRIVE, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford.
- Fairley, R. (1985): '*Software engineering concepts*', McGraw-Hill, New York.
- FGSV (Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen) (1993): 'Neue Technologien zur Beeinflussung des Straßenverkehrs - Aspekte der System Einführung', FGSV, Köln 1993
- Hägerstrand, T. (1970): 'What about people in Regional Science', *Papers of the Regional Science Association*, **24**, pp 7-21, Regional Science Association, Philadelphia
- Harloff, G. (1979): 'Lineare Programme für den Entwurf des Stadtplanes', *Schriftenreihe Stadt Region Land ISB, Heft B2*, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen.
- Heidemann, Claus (1991): 'Haushalte als Bezugseinheiten - Begriffliche Klärungen & heuristische Ausrichtungen', *Diskussionspapier Nr. 19 (d)*, Institut für Regionalwissenschaft der Universität Karlsruhe, Mai 1991
- Hirsh, M., J.N. Prashker and M. Ben-Akiva (1986): 'Dynamic model of weekly activity pattern', *Transportation Science*, **20**, pp 24-36.
- Holzzapfel, H. (1980): 'Verkehrsbeziehungen in Städten', *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau*, **5**, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Jones, P.M., M.c. Dix, M.I. Clarke und I.G. Heggie (1983): '*Understanding travel behaviour*', Gower, Aldershot.
- Keller, H.(1993): 'Europäische Feldversuche für Verkehrsleitsysteme in Deutschland', *Straßenverkehrstechnik* **1/93**, pp 24 - 32
- Keller, H.(1994): 'Forschung und Entwicklung in Europa im Bereich Verkehrslenkung', *Straßenverkehrstechnik* **4/94**, pp 189 - 196
- Kitamura, R. und M. Kermanshah (1983): 'Identifying time and history dependencies of activity choice', *Transportation Research Record*, **944**, pp 22-29, Transportation Research Board, Washington, D.C..
- Kitamura, R. und M. Kermanshah (1984): 'A sequential model of interdependent activity and destination choice', *Transportation Research Record*, **987**, pp 81-89, Transportation Research Board, Washington, D.C..
- Köln, Stadtverwaltung (Hrsg.) (1991): 'Programm Verkehrstechnik Köln 1990', Dezernat für Tiefbau und Verkehr, Amt für Straßen und Verkehrstechnik, Köln

- Köln, Stadtverwaltung (Hrsg.) (1991): 'Statistisches Jahrbuch 1990', Amt für Statistik und Einwohnerwesen, Köln
- Körner, N.; Lindner, P.(1993): 'Dynamische Fahrgastinformation durch LSA-Datennutzung - Modellfall Krefeld', in FGSV, VDV (Hrsg.): *HEUREKA 93*, Tagungsbericht, Karlsruhe 1993
- Körntgen, S.(1993): 'Beispielsammlung Parkleitsysteme', *Grüne Reihe des Fachgebiets Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern*, 26, Kaiserslautern
- Kreibich, V. (1972): '*Analyse und Simulation der Wahl des Arbeitsstandortes bei Erwerbspersonen*', Dissertation, TU München, München.
- Kreibich, V. (1978): 'The successful transportation system and the regional planning problem: An evaluation of the Munich rapid transit system in the context of urban and regional planning policy', *Transportation*, 7, pp 137-145.
- Küchler, R. (1985): '*Wegekettensorientierte Verkehrsberechnungsmodelle*', Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt.
- Kutter, E. (1972): 'Demographische Determinanten des städtischen Personenverkehrs', *Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen*, 9, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig.
- Leichter, K. (1981): '*Simulationsmodell zur Bewertung einer integrierten Verkehrslenkung in Stadtnetzen*', Dissertation TU Berlin, FB Verkehrswesen, Berlin.
- Leutzbach, W., M. Haas, V. Papavasiliou and T. Schwerdtfeger (1986): 'Dynamische Umlegung in Verkehrsnetzen', *Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, 469, Bonn Bad-Godesberg.
- Mentz, H.J. (1984): 'Analyse von Verkehrsverhalten im Haushaltskontext', *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau*, 11, TU Berlin, Berlin.
- Meyers Großes Taschenlexikon (1987): 2. Auflage, Meyer Verlag, Mannheim 1987
- Miller, E.J., P.J. Noehammer and D.r. Ross (1987): 'A micro-simulation model of residential mobility', in W. Young (ed): '*Transport, Communication and Urban Form*', 2, pp 217-234, Monash University, Clayton.
- Pas, E.I. (1988): 'Weekly travel-activity patterns', *Transportation*, 15, pp 89-110.
- Recker, W.W. and R. Kitamura (1985): 'Activity-based travel analysis', in G.R.M. Jansen, P. Nijkamp and C.J. Ruijkgrok (Hrsg.): '*Transportation and Mobility in an Era of Transition*', pp 157-183. Elsevier, Amsterdam.
- Recker, W.W., M.G. McNally and C.S. Root (1983): 'Application of pattern recognition theory to activity pattern analysis', in S. Carpenter and P.M. Jones (Hrsg): '*Recent Advances in Travel Demand Analysis*', 434-449, Gower, Aldershot.
- Recker, W.W., M.G. McNally and G.s. Root (1986): 'A model of complex travel behaviour', *Transportation Research*, 20A, pp 307-330.
- Reichenbach, E., (1979): 'Wegewahl als kognitiver Prozess', *Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung*, 12 Universität Karlsruhe..

- Root, G.S. and W.W. Recker (1983): 'Towards a dynamic model of individual activity pattern formulation', in S. Carpenter and P.M. Jones (Hrsg): '*Recent Advances in Travel Demand Analysis*', pp 371-382, Gower, Aldershot.
- Ross, P. (1989): 'Some properties of macroscopic traffic models', *Transportation Research Record*, **1194**, pp. 129-134.
- Schäfer, U. (1993): 'Ballungsanalyse zur Erkennung typischer Aktivitätsprogramme in der Verkehrsplanung', *Diplomarbeit am Institut für Verkehrswesen*, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Schmiedel, R. (1984): 'Bestimmung verhaltensähnlicher Personenkreise für die Verkehrsplanung', *Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung*, **18**, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Schwarzmann, R.(1991): 'Some Features of a new policy-sensitive Transport Planning Model', Vortrag UTSG Conference 1991, Nottingham
- Schwarzmann, R.(1994): 'Potentiale von Nutzer-Informationssystemen zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage - eine Möglichkeit zur Entlastung der Ballungsräume?', Vortrag VDI-Tagung 'Verkehrskonzepte für Ballungsräume', VDI-Berichte **1138**, VDI-Verlag, Düsseldorf 1994
- Statistisches Bundesamt (1993): 'Statistisches Jahrbuch 1992 für die Bundesrepublik Deutschland', Wiesbaden, Verlag Metzler-Poeschel, 1993
- Statistisches Jahrbuch 1992 für die Bundesrepublik Deutschland: siehe Statistisches Bundesamt
- Van der Hoorn, T. (1979): 'Travel Behaviour and the Total Activity Pattern', *Transportation*, **8**, pp 309-328.
- Wermuth, M. (1978): 'Struktur und Effekte von Faktoren der individuellen Aktivitätennachfrage als Determinanten des Personenverkehrs', Bock und Herchen, Bad Honnef.
- Wermuth, M. (1981): 'Verhaltensorientierte Verkehrsnachfragemodelle - Prinzipien und praktische Anwendbarkeit' in: 'Verkehrsnachfragemodelle', *Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft (DVWG)*, **B 57**, DVWG, Köln
- Wermuth, M. (1993): 'Modellvorstellungen zur Prognose' in: Steierwald, G. und Künne, H.-D. (Hrsg.): 'Stadtverkehrsplanung', Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- Zumkeller, D. (1989): 'Ein sozialökologisches Verkehrsmodell zur Simulation von Maßnahmewirkungen', *Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen*, **46**, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig.
- Zumkeller, D. ; Seitz, H. (1992): 'Aufbereitung vorhandener Daten für Verkehrsplanungszwecke als Ersatz für neue Befragungen', *Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, **642**, Bonn Bad-Godesberg.
- Zumkeller, D.; Blechinger, W.; Chlond, B.; Seitz, H.(1993): 'Paneluntersuchungen zum Verkehrsverhalten', Schlußbericht zum Forschungsauftrag des BMV, München/Karlsruhe 1993

Lebens- und Bildungsgang

geboren am	7.5.1962 in Ladenburg (Rhein-Neckar-Kreis)
1968 - 72	Besuch der Grundschule in Ladenburg
1972 - 81	Besuch des Carl-Benz-Gymnasiums in Ladenburg
Mai 1981	Erlangung der allgemeinen Hochschulreife
Oktober 1981	Aufnahme des Studiums des Bauingenieurwesens an der Universität Karlsruhe
Mai 1985	Heirat mit Jutta Schwarzmann
1986 - 88	Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Verkehrswesen
Januar 1989	Verleihung des Dipl.-Ing. für das Bauingenieurwesen der Universität Karlsruhe
1.4.1989 - 30.4.1995	wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrswesen
seit 1.6.1995	Mitarbeiter bei INOVAPLAN Karlsruhe

Veröffentlichungen aus dem Institut für Verkehrswesen
(Die mit * versehenen Veröffentlichungen sind vergriffen)

Schriftenreihe des Instituts (ISSN 0341-5503)

- Heft 1** **BARON, P.S. (1967): ***
Weglängen als Kriterium zur Beurteilung von Fluggast-Empfangsanlagen
- Heft 2** **STOFFERS, K.E. (1968): ***
Berechnung von optimalen Signalzeitenplänen
- Heft 3** **KOEHLER, R. (1968): ***
Verkehrsablauf auf Binnenwasserstraßen -
Untersuchungen zur Leistungsfähigkeitsberechnung und
Reisezeitverkürzung
- Heft 4** **BÖTTGER, R. (1970): ***
Die numerische Behandlung des Verkehrsablaufs an
signal-gesteuerten Straßenkreuzungen
- Heft 5** **DROSTE, M. (1971):**
Stochastische Methoden der Erfassung und Beschreibung des
ruhenden Verkehrs
- Heft 6** **10 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN (1972) ***
- Heft 7** **BEY, I. (1972): ***
Simulationstechnische Analyse der Luftfrachtabfertigung
- Heft 8** **WIEDEMANN, R. (1974): ***
Simulation des Straßenverkehrsflusses
- Heft 9** **KÖHLER, U. (1974):**
Stabilität von Fahrzeugkolonnen
- Heft 10** **THOMAS, W. (1974):**
Sensitivitätsanalyse eines Verkehrsplanungsmodells
- Heft 11** **PAPE, P. (1976):**
Weglängen-Reduzierung in Fluggast-Empfangsanlagen durch
flexible Vorfeldpositionierung
- Heft 12** **KOFFLER, TH. (1977):**
Vorausschätzung des Verkehrsablaufs über den Weg

- Heft 13** **HAENICKE, W. (1977): ***
Der Einfluß von Verflechtungen in einem bedarfsorientierten
Nahverkehrssystem auf die Reisegeschwindigkeit
- Heft 14** **BAHM, G. (1977): ***
Kabinengröße und Betriebsablauf neuer Nahverkehrssysteme
- Heft 15** **LAUBERT, W. (1977):**
Betriebsablauf und Leistungsfähigkeit von
Kleinkabinenbahnstationen
- 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):**
Statistische 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
Festzeitprogrammen 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
Warteschlangenmodells
- Heft 40** **AXHAUSEN, K. (1989):**
Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur
Parkstandwahl
- Heft 41** **BECKER, U. (1989): ***
Beobachtung des Straßenverkehrs vom Flugzeug aus:
Eigenschaften, Berechnung und Verwendung von Verkehrsgrößen
- Heft 42** **HEIDEMANN, D. (1989):**
Ein mathematisches Modell des Verkehrsflusses
- Heft 43** **ALY, M.S. (1989):**
Headway Distribution Model and Interrelationship between
Headway and Fundamental Traffic Flow Characteristics
- Heft 44** **ZOELLMER, J. (1991):**
Ein Planungsverfahren für den ÖPNV in der Fläche
- Heft 45** **SCHNITTGER, ST. (1991):**
Einfluß von Sicherheitsanforderungen auf die Leistungsfähigkeit
von Schnellstraßen
- Heft 46** **HSU, T.P. (1991):**
Optimierung der Detektorlage bei verkehrabhängiger
Lichtsignalsteuerung
- Heft 47** **GRIGO, R. (1992):**
Zur Addition spektraler Anteile des Verkehrslärms
- Heft 48** **30 JAHRE INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN (1992)**
- Heft 49** **LIU, Y. (1994):**
Eine auf FUZZY basierende Methode zur mehrdimensionalen
Beurteilung der Straßenverkehrssicherheit

- Heft 50** **HÖFLER, F. (1994):**
Leistungsfähigkeit von Ortsdurchfahrten bei unterschiedlichen
Geschwindigkeitsbeschränkungen - untersucht mit Hilfe der
Simulation
- Heft 51** **REKERSBRINK, A. (1994):**
Verkehrsflußsimulation mit Hilfe der Fuzzy-Logic und einem
Konzept potentieller Kollisionszeiten
- Heft 52** **NICKEL, F. (1994):**
Stationsmanagement von Luftverkehrsgesellschaften - Eine
systemanalytische Betrachtung und empirische Untersuchung der
Stationsmanagement-Systeme internationaler
Luftverkehrsgesellschaften
- Heft 53** **REITER, U. (1994):**
Simulation des Verkehrsablaufs mit individuellen
Fahrbeeinflussungssystemen
- Heft 54** **SCHWARZMANN, R. (1995):**
Der Einfluß von Nutzerinformationssystemen auf die
Verkehrsnachfrage

Sonderheft zum 20jährigen Jubiläum (1982) *
Ein Institut stellt sich vor,
Institut für Verkehrswesen (Hrsg.), Universität Karlsruhe

Im Buchhandel erhältlich:

LENZ, K.-H.; GARSKY, J. (1968):

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

LEUTZBACH, W. (1972):

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

**BECKMANN, H.; JACOBS, F.; LENZ, K.-H.; WIEDEMANN, R.;
ZACKOR, H. (1973):**

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

HERZ, R.; SCHLICHTER, H.G.; SIEGENER, W. (1976):

Angewandte Statistik für Verkehrs- und Regionalplaner,
Werner-Ingenieur-Texte 42, Werner-Verlag, Düsseldorf,
ISBN 3-8041-1934-4

2., neubearbeitete und erweiterte Auflage (1992) ISBN N 3-8041-1971-9

RUPPERT, W.-R.; LEUTZBACH, W.; ADOLPH, U.-M. et al. (1981):

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

WIEDEMANN, R.; HUBSCHNEIDER, H. (1987):

Simulationsmodelle

In: LAPIERRE, R; STEIERWALD, G. (Hrsg.) "Verkehrsleittechnik für
den Straßenverkehr", Band 1, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-
New York, ISBN 3-540-16850-8

LEUTZBACH, W. (1988):

Introduction to the Theorie of Traffic Flow,

Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York, ISBN 3-540-17113-4

Institut für Verkehrswesen (1991):

Fachwörterbuch terminus Traffic and Transport Systems - Verkehrswesen,

English - German - Deutsch - Englisch,

Verlag Ernst & Sohn, Berlin, ISBN 3-433-02824-9

ZUMKELLER, D. et al.(1993):

Part I: Europe: A Heterogeneous 'Single Market' und Part III: Germany:

On the Verge of a New Era,

In: SALOMON, I.; BOVY, P.; ORFEUIL, J.-P. (Hrsg.):

"A Billion Trips a Day - Tradition and Transition in European Travel Patterns",

Kluwer Academic Publishers Group, Dordrecht, ISBN 0-7923-229-5