

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
Bundesamt für Strassen

Aktivitäten-orientierte Personenverkehrsmodelle Vorstudie

Modélisation des déplacements de personnes selon leurs activités:
Etude préliminaire

Forschungsstelle

IVT
ETH Zürich
Hönggerberg
CH-8093 Zürich
Kay W. Axhausen
axhausen@ivt.baug.ethz.ch

büro widmer
Beratende Ingenieure
Bahnhofplatz 76
CH-8500 Frauenfeld
Paul Widmer
pwidmer@alum.mit.edu

Begleitkommission

Ruedi Ott, Verkehrsplanung TBA, Zürich, Präsident
Fritz Kobi, Oberingenieurkreis II, Bern
Urs Schwegler, Büro für Verkehrsplanung, Fischingen
Benno Singer, Tiefbauamt Kt. St. Gallen, St. Gallen
Walter Züst, Dienst GVF, Bern

Forschungsauftrag Nr. 46/99 auf Antrag der
Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)

Januar 2001

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	i
RÉSUMÉ	iii
SUMMARY	v
1 EINLEITUNG	1
2 AKTIVITÄTEN UND VERKEHR	2
3 PROBLEME BISHERIGER VERKEHRSMODELLE	5
3.1 AUF EINZELWEGEN BASIERENDE MODELLE	5
3.2 AUF WEGEKETTEN BASIERENDE MODELLE	7
4 STAND DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	8
4.1 EINLEITUNG	8
4.2 FORSCHUNGSERGEBNISSE ZU EINZELNEN ASPEKTEN	10
4.2.1 Erhebung von Aktivitätenmustern	10
4.2.2 Erhebungen zum Zeit- und Wegeplanungsprozess	11
4.2.3 Überprüfung und Ergänzung erhobener Aktivitäten-Tagebücher	13
4.2.4 Beispiele empirischer Untersuchungen	14
4.3 AKTIVITÄTEN-ORIENTIERTE VERKEHRSMODELL-ANSÄTZE	17
4.3.1 Einleitung	17
4.3.2 Nutzenmaximierungs-Modelle	18
4.3.3 Computational Process Models (CPM)	21
4.3.4 Mikrosimulations-Modelle	27
4.4 FAZIT	30
5 FORSCHUNGSBEDARF	31
5.1 BEDEUTUNG DER AKTIVITÄTEN-ORIENTIERTEN MODELLANSÄTZE FÜR DIE SCHWEIZ	31
5.2 FORSCHUNGSTHEMEN	32
LITERATURVERZEICHNIS	

ZUSAMMENFASSUNG

Der Tagesablauf der Menschen ist geprägt durch die Teilnahme an bestimmten Aktivitäten (Wohnen, Arbeit, Ausbildung, Einkauf, Erholung, usw.) zu bestimmten Zeiten an bestimmten Orten. Die Raumüberwindung vom Ort der einen Aktivität zum Ort der nächsten Aktivität erzeugt Verkehr. Die zwischen den einzelnen Aktivitäten liegenden Wege sind in der Regel nicht unabhängig voneinander, sondern Teil einer Aktivitäten- resp. Wegekette. Diese Aktivitäten- und Wegeketten sind das Ergebnis individueller Zeit- und Wegeplanungen. Die heute in der Verkehrspolitik vermehrt im Vordergrund stehenden Mobilitätsmanagement-Massnahmen (Verkehrsinformation und -lenkung, Road Pricing, Änderungen von Arbeits- und Öffnungszeiten usw.) versuchen, Einfluss zu nehmen auf diese Zeit- und Wegeplanungen.

Die heute üblichen, auf Einzelwegen oder starren Wegeketten beruhenden Modellansätze leisten z.B. für die Beurteilung von Ausbauten der Verkehrsinfrastruktur wertvolle Dienste, sind aber für die Behandlung der Auswirkungen von Mobilitätsmanagement-Massnahmen auf die Verkehrsnachfrage kaum geeignet. Weltweit arbeiten deshalb heute Verkehrswissenschaftler an Modellansätzen, welche von den Aktivitäten ausgehen, um die Verkehrsnachfrage abzubilden. Theoretisch können mit diesen aktivitäten-orientierten Modellansätzen die Wechselwirkungen zwischen Aktivitäten, Raumstruktur, Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage erklärt und damit die Auswirkungen verkehrspolitischer Massnahmen auf das Verkehrsverhalten vorausgesagt werden. Dem grossen Potential dieser Modellansätze steht deren hohe Komplexität gegenüber, weshalb sie in der Praxis noch kaum zum Einsatz gelangen.

Die vorliegende Vorstudie behandelt die folgenden, aus der Sicht der Verkehrsforschung der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI) wichtigen Fragen:

- Welches ist der internationale Stand der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der aktivitäten-orientierten Personenverkehrsmodelle?
- Welches ist das Interesse der Verkehrsplanungs-Praxis in der Schweiz an diesen Modell-Ansätzen?
- Welches sind die sich aus der Sicht der Schweiz ergebenden Forschungsbedürfnisse auf dem Gebiet der aktivitäten-orientierten Personenverkehrsmodelle?

Ein breit angelegtes Studium der umfangreichen Literatur zu aktivitäten-orientierten Verkehrsmodellen hat gezeigt, dass das Thema auf breiter Basis mit einer Vielzahl unterschiedlicher Methoden und Ansätze angegangen wird. Es liegen Ergebnisse verschiedener empirischer Untersuchungen, z.B. von Aktivitätenmustern (Häufigkeit und Dauer von Aktivitäten), von Zeit- und Wegeplanungsprozessen, von Interaktionen im Haushalt und innerhalb des übrigen sozialen Netzes usw. vor. Bei den Modellen haben sich drei Hauptansätze herausgebildet, welche innerhalb eines Modelles oft in Kombination zur Anwendung gelangen:

- Nutzenmaximierungs-Modelle (in der Regel Logit-Ansätze)
- Computational Process Models (CPM), welche auf der Anwendung heuristischer Regeln zur Abbildung der Entscheidungsprozesse beruhen
- Mikrosimulations-Modelle

Der Ansatz der aktivitäten-orientierten Personenverkehrsmodelle ist zukunftsweisend und scheint geeignet, die bisherigen Verkehrsmodelle mit ihren bekannten Schwächen abzulösen resp. zu ergänzen. Die neue Art von Modellen wird aber deutlich komplexer und wesentlich datenintensiver sein. Nach rund 25-jähriger, in den letzten Jahren stark intensivierter Forschungsarbeit an verschiedenen Universitäten liegen heute erste in der Praxis anwendbare aktivitäten-orientierte Modellansätze vor (z.B. ein in San Francisco eingesetztes Modell). Aber auch diese beruhen noch immer auf stark vereinfachenden Annahmen bezüglich des hochkomplexen menschlichen Verhaltens.

Auch in der Schweiz werden Fragen der Verkehrslenkung, des Verkehrssystem-Managements, der Verkehrsgebühren (Road Pricing, Parkiergebühren) usw. an Bedeutung gewinnen; Fragen, für deren Behandlung die herkömmlichen Verkehrsmodelle schlecht geeignet sind. Der Bedarf, aktivitäten-orientierte Verkehrsmodelle möglichst rasch anwenden zu können, ist offensichtlich. Bis dies aber möglich ist, bedarf es noch grosser Forschungsanstrengungen, auch in der Schweiz. Die vorliegende Vorstudie identifiziert Forschungsthemen, welche vordringlich angegangen werden sollten:

- Empirische Erhebungen zur Zeitnutzung, zur Rolle von Randbedingungen für die Zeit- und Wegeplanung von Individuen und Haushalten und zum Zeit- und Wegeplanungsprozess als solchem
- Modelle zur Entwicklung und Bedeutung kognitiver Landkarten
- Modelle zur Wahl von Wohnung und Arbeitsplatz, Anzahl und Art von Fahrzeugen, Aktivitätenketten, Zielort und Verkehrsmittel, Abfahrtszeiten, Routen
- Demonstrationsanwendungen von dem Stand der Technik entsprechenden Modellen (z.B. San Francisco-Modell)
- Entwicklung und Anwendung von Simulationsansätzen.

RÉSUMÉ

Le déroulement de la vie des gens est caractérisé par des activités particulières (à la maison, aux lieux de travail, de formation, d'achats, de loisirs, etc), effectuées à des moments déterminés de la journée. Le défi posé par l'exercice d'une activité à un endroit et l'exercice de l'activité suivante à un autre endroit engendre les déplacements. Les déplacements dus à l'exercice de différentes activités ne sont généralement pas indépendants les uns des autres, mais font partie d'une chaîne d'activités et de déplacements. Ces chaînes d'activités et de déplacements sont le résultat de la mise en oeuvre d'un agenda personnel. Les mesures de gestion de la mobilité proposées actuellement en politique des transports (gestions de l'information sur les conditions du trafic, de la canalisation du trafic, des péages routiers, des ouvertures des bureaux, commerces et fabriques), visent à influencer les agendas personnels des activités et déplacements.

La modélisation actuelle, appliquée sur la base de déplacements uniques ou d'une suite rigide de déplacements, rend des services appréciables, par exemple lors de l'évaluation d'infrastructures concernant les transports, mais elle est peu adaptée au traitement des effets de mesures de gestion de la mobilité. C'est la raison pour laquelle dans le monde entier des chercheurs dans le domaine des transports travaillent afin de modéliser la demande en transport à partir de la connaissance d'activités. Avec des modèles de déplacements selon activités exercées, il est théoriquement possible de reproduire les interactions entre les activités, la structure de l'espace, l'offre et la demande en transports, et ainsi de prévoir les effets de mesures en politique des transports sur les comportements des usagers. Au potentiel d'emploi de ces modèles s'oppose leur complexité; c'est la raison pour laquelle ils ne sont encore pratiquement pas utilisés.

L'étude préliminaire présente traite les questions suivantes, considérées comme importantes par l'association SVI (Schweizerische Verkehrs-Ingenieure):

- Quel est le niveau international actuel de développement dans la recherche sur les modèles de déplacements de personnes selon leurs activités ?
- Quel intérêt les praticiens de la planification des transports portent-ils en Suisse sur ce type de modélisation ?
- Quels sont les besoins en recherche exprimés en Suisse concernant la modélisation des déplacements de personnes selon leurs activités ?

Une vaste étude de la littérature dans le domaine des modèles de déplacements de personnes selon leurs activités a montré que le thème est abordé avec une pléiade de méthodes et d'hypothèses diverses. On dispose de divers résultats empiriques, par exemple sur l'étude d'échantillons d'activités (comprenant la fréquence et la durée d'activités), d'agenda de déplacements, d'interactions dans les ménages et à l'intérieur du tissu social ambiant, etc. Concernant les modèles, on distingue principalement trois hypothèses initiales, souvent utilisées en combinaison :

- les modèles de maximisation de l'avantage (généralement selon une expression mathématique initiale du type "Logit");
- les modèles CPM (Computational Process Models), basés sur l'utilisation de règles heuristiques dans la représentation de processus de décision;
- les modèles de micro-simulation.

Le choix de la modélisation des déplacements de personnes selon leurs activités est prometteur et semble apte à remplacer, ou au moins compléter les modèles existants en corrigeant leurs faiblesses. Les nouveaux types de modèle seront toutefois plus complexes et plus exigeants en ce qui concerne les données. Après les recherches effectuées par diverses universités durant 25 années, et intensifiées pendant les dernières, des modèles de déplacements de personnes selon leurs activités commencent à être utilisés dans la pratique (par exemple le modèle utilisé à San Francisco). Ces modèles continuent toutefois de faire appel à des hypothèses très simplifiées pour représenter la grande complexité du comportement humain.

La Suisse aussi sera de plus en plus confrontée à des problèmes concernant la canalisation du trafic, les péages (routiers, de droit au stationnement), etc, et pour la solution desquels les modèles classiques utilisés dans les transports sont peu adaptés. Il y a un besoin manifeste d'utiliser dans les meilleurs délais des modèles faisant appel aux données sur les activités de personnes. De gros efforts dans la recherche sont nécessaires, y compris en Suisse. L'étude préliminaire présente identifie les thèmes de recherche, qui devraient faire l'objet d'une priorité :

- relevés empiriques sur l'utilisation du temps, sur l'agenda des déplacements des individus et ménages et sur le processus qui lui est lié;
- modèles sur le développement et l'importance de cartes cognitives;
- modèles sur le choix du domicile et du lieu de travail, nombre et genre de véhicules, chaînes d'activités, lieu de destination et moyen de transport, heures de départ, itinéraires;
- essais de démonstration sur le niveau technique des modèles concurrents (par exemple le modèle "San Francisco");
- développement et application d'hypothèses de simulation.

SUMMARY

Daily life is the sequence of activities (being at home, work, school, shopping, leisure etc.), in which persons participate at specific times and places. The movement between the activities and locations is the traffic we observe. The trips are therefore not independent, but form an interdependent chain, which is the result of an explicit time- and path choice. Current transport policy is directed at these choices through the provision of information, road pricing or changes in the time-space regime.

Current practise, which bases its modelling on individual trips, is mostly adequate for the assessment of infrastructure investment, but is not fully able to address those traffic demand management policies mentioned above. Activity-based approaches are therefore the subject of research worldwide. Activity-based models have the theoretical flexibility to address the interactions between demand, spatial structure and transport supply, which allows them to address travel demand management policies directly. Their current complexity in application has caused their slow uptake for practical studies.

This scoping study tries to answer the following important questions from the perspective of the Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI):

- What is the state-of-the-art in activity based models ?
- How can Swiss practise profit from these models ?
- Which are then the primary research topics in this area for Switzerland ?

The wide ranging literature review showed, that the activity-based approach uses a wide range of methods and theories. The empirical work provides insight, for example, into activity patterns (e.g. frequency and duration of activities), into activity scheduling or into the interactions within the household or the social network. Three main modelling approaches were identified, which are often used in combination:

- Random utility maximising models (normally implemented as logit-models)
- Computational Process Models (CPM), which employ rules to describe choice process.
- Microsimulation models

The activity-based approach has further potential and seems to be able to replace or at least to supplement the current models with their known problems. They will be more complex and will require more data. After 25 years of research at many universities the first practical implementations are now in use, e.g. the new model system for San Francisco county. Still, the current generation of practical models employs substantial simplifications in its description of human behaviour.

Travel demand management with e.g. road pricing or new parking fee schedules, will become more important in Switzerland. These are questions for which current practise is not fully appropriate. There is therefore a clear need to bring activity-based models quickly into use. The study has identified priority research needs, which should be addressed in Switzerland as part of this effort:

- Time budget studies; surveys of the impact of spatial, temporal and social constraints on activity scheduling, surveys of activity scheduling.

- Models of cognitive maps and of their development
- Models of the choice of home and job location, of the type and number of vehicles, of destination and mode choice, of departure time and route
- Prototype development and application of state-of-the-art models, such as the Portland or San Francisco county model.
- Development and application of simulation models.

1 EINLEITUNG

Die Gewährleistung einer nachhaltigen Mobilität erfordert neben gezielten Ausbauten der Verkehrsinfrastruktur vermehrt auch Massnahmen eines intelligenten Verkehrssystem-Managements. Dieser Paradigmenwechsel in der Verkehrspolitik stellt hohe Ansprüche an die in der Verkehrsplanung eingesetzten Verkehrsmodelle in bezug auf die Möglichkeit, die Auswirkungen solcher Massnahmen auf die Verkehrsnachfrage vorauszusagen. Aktivitäten-orientierte Verkehrsmodelle sind in dieser Hinsicht eine vielversprechende Entwicklung.

Verkehr entsteht, weil Menschen den Wunsch oder das Bedürfnis haben, zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort – welcher nicht identisch mit dem gegenwärtigen Aufenthaltsort ist – einer bestimmten Aktivität (Arbeiten, Einkaufen, Erholen usw.) nachzugehen. Auf der Basis dieser Tatsache arbeiten weltweit Verkehrswissenschaftler an Modellansätzen, welche von den Aktivitäten ausgehen, um die Verkehrsnachfrage abzubilden. Theoretisch können mit diesen aktivitäten-orientierten Modellansätzen die Wechselwirkungen zwischen Aktivitäten, Raumstruktur, Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage erklärt und damit die Auswirkungen verkehrspolitischer Massnahmen auf das Verkehrsverhalten vorausgesagt werden. Dem grossen Potential dieser Modellansätze steht deren hohe Komplexität gegenüber, weshalb sie in der Praxis noch nicht auf breiter Basis angewendet werden.

Aus der Sicht der schweizerischen Verkehrsforschung stellen sich die folgenden Fragen:

- Welches ist der internationale Stand der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der aktivitäten-orientierten Personenverkehrsmodelle?
- Welches ist das Interesse der Verkehrsplanungs-Praxis in der Schweiz an diesen Modell-Ansätzen?
- Welches sind die sich aus der Sicht der Schweiz ergebenden Forschungsbedürfnisse auf dem Gebiet der aktivitäten-orientierten Personenverkehrsmodelle?

Die vorliegende Vorstudie hat zum Ziel, diese Fragen zu beantworten, ein Forschungskonzept auf diesem Gebiet zu entwickeln und entsprechende Forschungsthemen zuhanden des Mehrjahresprogrammes der SVI-Forschung zu formulieren.

2 AKTIVITÄTEN UND VERKEHR

Die folgenden Ausführungen sollen in stark vereinfachter Weise die dynamischen Wechselbeziehungen illustrieren, welche zwischen den individuellen Wünschen resp. Bedürfnissen, an Aktivitäten teilzunehmen, der Zeitplanung, den Mobilitätsentscheidungen und den Angebotsparametern des Verkehrssystems bestehen.

Unser Tagesablauf ist geprägt durch die Teilnahme an verschiedenen Aktivitäten, z.B.:

- Arbeit zu Hause
- Arbeit auswärts
- Besuch des Schulunterrichts oder der Vorlesungen
- Einkauf
- Besuch der Bank, der Post, einer Verwaltungsstelle, des Arztes usw.
- Erholung zu Hause
- Erholung auswärts
- usw.

Am Vorabend oder spätestens am Morgen ist der Tagesablauf als Ergebnis einer Zeitplanung mindestens in den groben Zügen festgelegt. Im Laufe des Tages können spontan zusätzliche Aktivitäten hinzukommen, geplante Aktivitäten können wegfallen oder die geplante Reihenfolge von Aktivitäten kann geändert werden. Der schlussendlich realisierte Tagesablauf ist das Ergebnis einer Zeitplanung, welche kontinuierlich unter Beachtung verschiedener Randbedingungen erfolgt. Hägerstrand (1970) unterscheidet in seiner Arbeit die folgenden Randbedingungen:

- (1) *capability constraints*: Physische Randbedingungen, wie z.B. die minimal erforderliche Zeit für Schlafen und Essen oder die Tatsache, dass wir uns nicht mit beliebiger Geschwindigkeit fortbewegen können und deshalb die zeit-räumlichen Pfade unseres Aktionsfeldes beschränkt sind.
- (2) *coupling constraints*: Randbedingungen, welche sich z.B. aus der Tatsache ergeben, dass wir zu einer bestimmten Zeit mit anderen Personen am gleichen Ort sein müssen oder wollen (Sitzung, gemeinsamer Kinobesuch usw.). Der Zeitplan anderer Personen (Familienmitglieder, Mitarbeiter, Geschäftspartner usw.) kann die eigene Zeitplanung beeinflussen.
- (3) *authority constraints*: Institutionelle Randbedingungen, wie Gesetze, Öffnungszeiten, Regeln usw., welche z.B. die Teilnahme an gewissen Aktivitäten zeitlich beschränken (Ladenöffnungszeiten) oder die Ausführung gewisser Aktivitäten zu bestimmten Zeiten verbieten.

Die Aktivitäten sind nicht nur zeitlich, sondern in der Regel auch räumlich getrennt. Die Teilnahme an Aktivitäten erfordert daher Ortsveränderungen, sprich Verkehr.

Im Allgemeinen versuchen wir, unseren Tagesablauf optimal zu gestalten, indem wir den aus der Teilnahme an den Aktivitäten resultierenden Nutzen maximieren und den Verkehrsaufwand minimieren. Die zwischen den Aktivitäten zurückzulegenden Wege

und die dazu zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel spielen bei der Zeitplanung also eine wichtige Rolle.

Der Verkehrsaufwand für jeden einzelnen Weg wird durch das benutzte Verkehrsmittel, die Angebotsparameter (z.B. Reisezeit und -kosten) des Verkehrssystems, das Wetter, die körperliche Verfassung des Verkehrsteilnehmers (z.B. Alter, Gebrechen) und weitere Faktoren bestimmt. Weil die einzelnen Wege nicht unabhängig voneinander, sondern Bestandteil des ganzen Tagesablaufes sind, kann der Verkehrsaufwand nicht für jeden einzelnen Weg minimiert werden. Vielmehr geht es darum, mit der Wahl einer geschickten Abfolge der Aktivitäten (Aktivitätenkette) Touren (Wegekette) mit einem möglichst geringen gesamten Verkehrsaufwand zu ermöglichen. Diese Planung erfolgt nicht statisch, sondern kontinuierlich und dynamisch, indem auf sich ändernde Situationen (längere Dauer einer Aktivität als erwartet, Verkehrsstau usw.) reagiert wird. Dabei können auch *pre-trip* und *on-trip* Verkehrsinformationen laufend berücksichtigt werden.

Vielfach werden für die Ausführung bestimmter Aktivitäten, z.B. Einkaufen, alternative Standorte in Betracht gezogen. Die Wahl der Alternative erfolgt dann vor dem Hintergrund der übrigen geplanten Aktivitäten, der Erreichbarkeit (abhängig von den in Frage kommenden Verkehrsmitteln), der Attraktivität (Angebot) und weiterer Faktoren. Vielleicht macht die Wahl einer Destination eine Anpassung des ursprünglich geplanten Tagesablaufes und/oder der vorgesehenen Verkehrsmittelwahl für bestimmte Wege erforderlich.

Die Verkehrsmittelwahl für einen Weg in einer Tour erfolgt unter Beachtung der weiteren Wege und Aktivitäten derselben Tour (weil nach der Arbeit auf dem Nachhauseweg noch ein grösserer Einkauf getätigt werden soll, wird für den Weg zur Arbeit statt wie üblich dem Bus das Auto benutzt) und selbstverständlich der Verfügbarkeit und Attraktivität der verschiedenen Verkehrsmittel (Widmer, 1999).

Neben dem Ziel und dem Verkehrsmittel sind für jeden Weg auch die Route und der Zeitpunkt zu wählen. Die entsprechenden Entscheide der einzelnen Verkehrsteilnehmer ergeben in ihrer Summe das aktuelle Verkehrsgeschehen, welches seinerseits gewisse Angebotsparameter (z.B. Reisezeiten) des Verkehrssystems bestimmt. Diese wiederum können Anlass zu Anpassungen in der Zeitplanung (z.B. Meiden von Stausituationen) geben.

Die Interaktionen zwischen den Mitgliedern eines Haushaltes haben einen starken Einfluss auf deren Zeitplanung. Verschiedene der in einem Haushalt anfallenden Aufgaben, wie z.B. Einkaufen, Kind zur Schule bringen usw., müssen einzelnen Haushaltmitgliedern zugeordnet werden, welche diese dann in ihrem Zeitplan berücksichtigen. In Haushalten mit mehr Führerscheinbesitzern als Autos braucht es Absprachen, wer ein Auto zur Verfügung hat, wer wen wann wohin bringt oder wo abholt usw. Auch dies wirkt sich auf die Zeitplanung der einzelnen Haushaltmitglieder aus. Neben dem Haus-

halt bestehen weitere soziale Beziehungsnetze, welche die Zeitplanung des Einzelnen beeinflussen können.

3 PROBLEME BISHERIGER VERKEHRSMODELLE

Bei den heute in der Schweiz zum Einsatz gelangenden Verkehrsmodellen ist zu unterscheiden zwischen

- auf Einzelwegen basierenden Modellen
- auf Wegekettten basierenden Modellen

3.1 AUF EINZELWEGEN BASIERENDE MODELLE

Diese Modelle arbeiten mit den während einer bestimmten Betrachtungsperiode (z.B. Morgen-, Abendspitzenstunde) durchgeführten Wegen resp. Fahrten zwischen Herkunfts- und Zielorten, dargestellt als verkehrsmittelspezifische Wunschlinienmatrizen, mit oder ohne Unterscheidung nach dem Zweck der Ortsveränderung. Die einzelnen Wege werden je für sich betrachtet, unabhängig von allenfalls vorangegangenen oder nachfolgenden Wegen. Zu dieser Kategorie gehören die aggregierten sequentiellen (traditionelle 4-Schritt-Modelle) und die simultanen (z.B. POLYDROM) Ansätze sowie verschiedene, auf disaggregierten ökonomischen Ansätzen beruhende Weiterentwicklungen. Letztere werden oft auch verhaltensorientierte Ansätze genannt. Weil aber auch sie auf Einzelwege fixiert sind und die im vorangegangenen Kapitel dargestellten Zusammenhänge zwischen der Aktivitätenplanung und den das Verkehrsverhalten betreffenden Entscheiden nicht berücksichtigen, vermögen sie diesem Anspruch nur ungenügend gerecht zu werden. Dies illustriert das folgende aus Bowman und Ben-Akiva (1996) entnommene einfache Beispiel.

Die Abbildung 1 zeigt das Aktivitäten- und Mobilitätsmuster einer Person, welche bisher in der Regel um 07.30 Uhr das Haus verliess und mit dem Auto zur Arbeit fuhr. Abends auf dem Rückweg von der Arbeit tätigte sie meistens die täglichen Einkäufe an einem bestimmten Einkaufsort. Im Rahmen eines Mobilitätsmanagement-Programms erhebt nun der Arbeitgeber Parkgebühren und gibt dafür vergünstigte ÖV-Abonnemente ab. Die Person benutzt neu den Bus für den Arbeitsweg. Um rechtzeitig am Arbeitsort zu sein, muss sie das Haus bereits um 07.00 Uhr verlassen. Weil der bevorzugte Einkaufsort vom Bus nicht angefahren wird, entscheidet sich die Person, am Abend von der Arbeit direkt mit dem Bus nach Hause zurückzukehren. Anschliessend fährt sie mit dem Auto zum Einkaufsort und nach dem Einkauf wieder nach Hause.

Auf Einzelwegen beruhende Modelle würden in diesem Fall für die Morgenspitze allenfalls den Wechsel des Verkehrsmittels korrekt abbilden, die Fahrten am Abend von der Arbeit zum Einkauf und vom Einkauf nach Hause fälschlicherweise aber unverändert lassen.

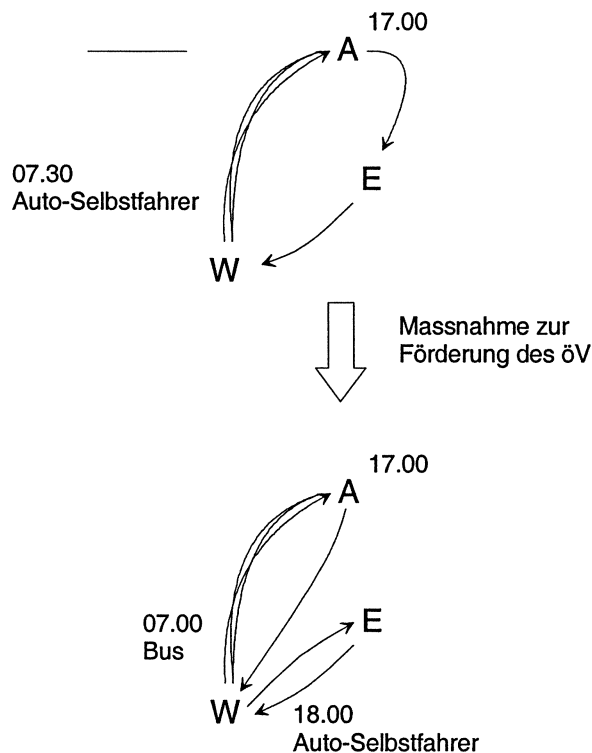


Abbildung 1: Beispiel eines möglichen Einflusses einer Verkehrsmassnahme auf die Aktivitäten- und Wegeketten (nach Bowman und Ben-Akiva, 1996)

Die Schwäche der auf Einzelwegen beruhenden Verkehrsmodelle macht sich besonders bei der Behandlung der heute zur Diskussion stehenden Massnahmen des Verkehrssystem-Managements und der Strassenverkehrs-Telematik (vgl. UVEK, 1999) bemerkbar, welche mit *pre-trip* und *on-trip* Verkehrsinformationen, preislichen Anreizen (Parkgebühren, *Road Pricing*) usw. auf eine Beeinflussung des Verkehrsverhaltens abzielen. Ohne Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Aktivitäten- und Verkehrsteilnahme können die Auswirkungen solcher Massnahmen nicht zuverlässig abgeschätzt werden.

Weitere Schwächen herkömmlicher Modelle sind nach Weiner und Ducca (1996):

- fehlende Möglichkeit, Interaktionen mit anderen Personen im Haushalt (z.B. Verfügbarkeit des Autos) oder im übrigen sozialen Netz zu berücksichtigen.
- fehlende Möglichkeit, die Auswirkungen von Änderungen ausserhalb des Verkehrssystems (neue Ladenöffnungszeiten, flexible Arbeitszeiten, Blockzeiten in der Schule, Telekommunikationsangebote usw.) abzubilden.
- fehlende Prognosefähigkeit in Bezug auf die Auswirkungen von Änderungen des Verkehrsverhaltens (höhere ausserhäusliche Arbeitstätigkeit von Frauen, höherer Anteil alleinerziehender Eltern, höherer Anteil von Familien aus anderen Kulturkreisen usw.).

3.2 AUF WEGEKETTEN BASIERENDE MODELLE

Ein Vertreter dieses Modellansatzes ist das auch in der Schweiz verbreitet angewendete Modell VISEM (Fellendorf *et al.*, 1997). Bei diesem werden auf der Grundlage der Ergebnisse von Haushaltbefragungen (Mikrozensen) die am häufigsten vorkommenden Aktivitätenmuster identifiziert. Die Bevölkerung des Untersuchungsgebietes wird in verhaltenshomogene Gruppen eingeteilt und für jede dieser Gruppen wird die Häufigkeit der einzelnen Aktivitätenketten ermittelt. Die Verteilung der Aktivitäten über den Tag wird durch die Angabe der Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein Aktivitätenwechsel zu einer bestimmten Tageszeit erfolgt, berücksichtigt. Mit den verkehrszonenspezifischen Angaben über die Anteile der verhaltenshomogenen Gruppen und der Einwohnerzahl kann für jede Verkehrszone die Zahl der einzelnen Aktivitätenketten berechnet werden. Jede Aktivitätenkette gibt Anlass zu einer Wegekette. Um diese zu bestimmen, werden den einzelnen Aktivitäten Zielzonen zugeordnet (Verkehrsverteilung). Dies erfolgt auf der Basis von Zielpotentialen und Widerstandsfunktionen, z.B. in der Form eines Gravitationsmodells oder eines Entropie maximierenden Logit-Ansatzes. Die Verkehrsmittelwahl wird mit einem multinomialen Logit-Modell nachgebildet. Ein wesentlicher Unterschied zu den auf Einzelwegen beruhenden Modellansätzen besteht in der Unterscheidung zwischen austauschbaren und nicht austauschbaren Verkehrsmitteln¹. Für den ersten Weg jeder Wegekette (pro Gruppe) wird mit dem Logit-Modell ein Verkehrsmittel ausgewählt². Falls es sich bei diesem ersten Verkehrsmittel um ein nicht austauschbares handelt, wird es für die ganze Wegekette beibehalten. Wurde für den ersten Weg ein austauschbares Verkehrsmittel gewählt, wird für die restlichen Wege der Kette das Logit-Modell erneut angewendet, wobei aber nur noch die austauschbaren Verkehrsmittel zur Auswahl stehen. Das Ergebnis von VISEM sind verkehrsmittelspezifische Wunschlinienmatrizen, welche je auf das entsprechende Netz, z.B. mit dem Umlegungsmodell VISUM, umgelegt werden.

Die Umlegungsergebnisse können rückgekoppelt werden, um iterativ die Wegeketten neu zu bestimmen. Eine Rückkopplung zum Aktivitätenmodell, welches den Wegeketten zugrunde liegt, ist aber nicht möglich. VISEM vermag in seiner heutigen Form die Auswirkungen verkehrspolitischer Massnahmen oder geänderter Randbedingungen (z.B. neue Ladenöffnungszeiten) auf das Aktivitätenprogramm und die Zeitplanung der Verkehrsteilnehmer nicht zu modellieren. Auch mit VISEM ist es also noch nicht möglich, Situationen, wie sie an einem Beispiel in Abbildung 1 dargestellt sind, zu behandeln.

¹ Als austauschbar gelten in der Regel die Verkehrsmittel "zu Fuss", "Auto-Mitfahrer" und "ÖV", während "Auto-Selbstfahrer" und "Velo" als nicht austauschbar behandelt werden.

² Zur Erinnerung: das Logit-Modell liefert die Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein Mitglied einer bestimmten Gruppe g das Verkehrsmittel m wählt.

4 STAND DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

4.1 EINLEITUNG

Pas (1996) weist darauf hin, dass die Idee, Verkehr sei eine durch die Teilnahme an Aktivitäten erzeugte Nachfrage (dienende Funktion des Verkehrs) schon seit anfangs der 60er-Jahre akzeptiert ist, dass aber die traditionellen Verkehrsmodelle mit ihrer Segmentierung und getrennten Modellierung des Verkehrs nach Fahrtzwecken dieser fundamentalen Idee nicht gerecht wurden.

Die Anfänge aktivitätenorientierter Ansätze in der Verkehrsplanung reichen auf Studien zurück, welche ab Mitte der 70er-Jahre an der Universität von Oxford durchgeführt wurden (Jones *et al.*, 1983). Als Basis resp. Ausgangspunkt der Erforschung aktivitätenorientierter Ansätze in der Verkehrsplanung werden in der Literatur übereinstimmend die Arbeiten des Soziologen und Planers Stuart Chapin Jr. an der Universität North Carolina at Chapel Hill (Chapin, 1974) und des Geographen Torston Hägerstrand and der Universität Lund in Schweden (Hägerstrand, 1970) genannt. In den letzten 20 Jahren ist eine Vielzahl von Forschungsarbeiten zu einzelnen Aspekten aktivitäten-orientierter Verkehrsmodelle und zu umfassenden Modellansätzen, vor allem in den USA, in England, Deutschland, Holland, Schweden und Japan, publiziert worden. Verschiedentlich wurden diese Forschungsbeiträge in Übersichten zusammenfassend dargestellt, z.B. von Axhausen und Gärling (1992), Pas (1996), Kitamura (1996), Bhat und Koppelman (2000) und von Timmermans (2000).

Einen generellen Rahmen, auf welchem die meisten aktuellen Arbeiten zu aktivitätenorientierten Verkehrsmodellen basieren, zeigt die folgende Abbildung.

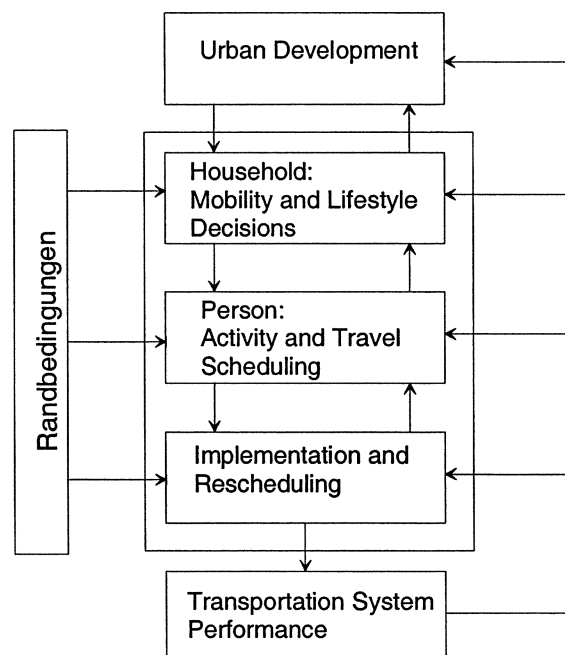


Abbildung 2: Genereller Rahmen aktivitätenorientierter Verkehrsmodelle
(adaptiert aus Bowman und Ben-Akiva, 1996)

Die Raumstruktur, gekennzeichnet durch die räumliche Verteilung sowie die Qualität von Wohn- und Arbeitsplätzen, Bildungsangeboten, Einkaufsmöglichkeiten, Freizeitangeboten usw., die Bodenpreise, die Mietkosten und die Umweltsituation (Lärm- und Luftschadstoffbelastungen) sowie die Qualität des Angebotes für den Fuss-, Rad-, öffentlichen und motorisierten Individualverkehr, bilden den Hintergrund, vor welchem die Haushalte ihre Mobilitäts- und Lebensstil-Entscheide fällen:

- Wohn-, Arbeits-, Ausbildungsort
- Haushaltgrösse und -zusammensetzung (Single, mehrere Erwachsene, Familie mit/ohne Kinder)
- Rollenverteilung im Haushalt
- Autobesitz (inkl. Ausrüstung mit Telekommunikations-Mitteln)
- Besitz von öV-Abos
- Einsatz von Kommunikationsmitteln
- Engagement in Vereinen, Behörden usw.
- Art und Häufigkeit von Freizeitaktivitäten (z.B. Konzert-, Theater-, Fitness-Center-Besuche)
- usw.

Die Mobilitäts- und Lebensstil-Entscheide erfolgen in der Regel unregelmässig und nur in grösseren Zeitabständen. Zusammen mit der Stellung im Lebenszyklus (Alter der Erwachsenen und der Kinder) beeinflussen sie das Aktivitätenprogramm der Haushaltsmitglieder, beispielsweise auch dadurch, dass ihnen gewisse Aktivitäten (Aufgaben) und die verfügbaren Verkehrsmittel zugeteilt werden.

"*Activity und Travel Scheduling*" lässt sich am ehesten mit Zeit- und Wegeplanung übersetzen. Es handelt sich um die unter Berücksichtigung der Interdependenzen innerhalb des Haushaltes und des übrigen sozialen Netzwerkes zu treffende Wahl von Art, Beginn, Dauer, Ort und Reihenfolge von Aktivitäten sowie des Verkehrsmittels, der Route und der Mitreisenden für die Ortsveränderungen zwischen Aktivitäten. Die Zeit- und Wegeplanung erfolgt regelmässig und in kurzen Abständen. Sie kann bewusst und vorausschauend, oftmals aber auch spontan, aus dem Augenblick heraus, erfolgen.

In der Umsetzungsphase sind Anpassungen am Zeitplan nötig, weil Aktivitäten länger oder kürzer als geplant dauern, sich neue Aktivitäten ergeben, geplante Aktivitäten nicht am vorgesehenen Ort oder überhaupt nicht durchgeführt werden können oder weil sich die erwarteten von den aktuellen Verkehrsverhältnissen unterscheiden (unerwarteter Stau, Verspätungen im öffentlichen Verkehr usw.). Parallel zur Neuordnung der Aktivitätenkette müssen die Verkehrsentscheide vor (z.B. Verkehrsmittel, Abfahrtszeit, Route, Parkplatz) oder während der Fahrt (z.B. Route, Geschwindigkeit, Spurwechsel, Parkplatz) angepasst werden.

Die Verkehrsentscheide wirken sich auf die Verkehrsverhältnisse (z.B. Reisezeiten) aus. Längerfristig, beispielsweise bei regelmässig wiederkehrenden Überlastungen, können diese Anlass geben zu Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur resp. – und in Zukunft wohl vermehrt – des Verkehrssystem-Managements.

Die Entscheidungen der Haushalte und der einzelnen Verkehrsteilnehmer werden durch die Raumstruktur, das Verkehrssystem und verschiedene Randbedingungen, z.B. *coupling*, *capability* und *authority constraints* (vgl. Kapitel 2) beeinflusst. Wie die Raumstruktur und das Verkehrssystem sind auch die Randbedingungen nicht statisch, sondern dynamischen Veränderungen unterworfen.

Im nächsten Unterkapitel beschreiben wir, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, den Stand der Forschung zu einzelnen Aspekten des oben dargestellten generellen Rahmens und im darauf folgenden Unterkapitel stellen wir Beispiele aktivitätenorientierter Personenverkehrsmodelle vor, welche den gesamten Rahmen abzubilden versuchen.

4.2 FORSCHUNGSERGEBNISSE ZU EINZELNEN ASPEKTEN

4.2.1 Erhebung von Aktivitätenmustern

An sich selbst kann jedermann feststellen, dass der Tagesablauf von Tag zu Tag, von Wochentag zu Wochentag, von Jahreszeit zu Jahreszeit zum Teil erhebliche Unterschiede aufweist. Diese hohe Variabilität von Tagesprogrammen macht es praktisch unmöglich, einen "normalen" oder "durchschnittlichen" Tages- oder Wochenablauf zu bezeichnen (siehe z.B. Mannering *et al.*, 1994). Entsprechend ist es nicht möglich, mit einer auf nur einen Stichtag beschränkten Erhebung das Verhalten einer Person ausreichend zu beschreiben, um z.B. deren Reaktionen auf verkehrspolitische Massnahme vorauszusagen.

Axhausen (1998) unterscheidet zwischen Aktivitäten, welche zur Befriedigung von Grundbedürfnissen (Essen, Schlafen, Hygiene, Erholung usw.) dienen und solchen, welche Bestandteil von "Projekten" sind. Diese Projekte entstehen vor dem Hintergrund persönlicher kurz- und längerfristiger (Lebens-)Ziele. Verschiedene Randbedingungen institutioneller, kultureller oder saisonaler Art auferlegen den diesen Projekten dienenden Aktivitäten einen gewissen Rhythmus. Diese Rhythmen können nur mit Erhebungen über einen längeren Zeitraum erfasst werden. Solche Erhebungen stellen hohe Ansprüche sowohl an die Durchführenden als auch an die Erhebungsteilnehmer. Letztere müssen motiviert werden, nicht aus der Erhebung auszusteigen und bis zum Schluss alle erforderlichen Informationen sorgfältig anzugeben. Die hohen Kosten solcher Erhebungen erfordern eine Beschränkung des Stichprobenumfangs.

In Karlsruhe und Halle/Saale konnte 1999 erfolgreich eine Befragung von 317 Personen in 139 Haushalten bezüglich ihres Verkehrsverhaltens¹ über einen Zeitraum von 6 Wochen durchgeführt werden (Axhausen *et al.*, 2000). Die Analyse der Daten hat das Vorhandensein rhythmischer Muster im Verkehrsverhalten bestätigt (Schönfelder und Axhausen, 2000).

Die Frage, welches die optimale Dauer von Erhebungen des Verkehrsverhaltens ist, bleibt noch zu erforschen.

¹ Wegen der langen Dauer der Erhebung wurde auf einen Wechsel von der in Deutschland bisher üblichen, auf Wege-Tagebüchern basierenden Erhebungsmethodik auf eine auf Aktivitäten-Tagebüchern basierende Erhebung verzichtet.

4.2.2 Erhebungen zum Zeit- und Wegeplanungsprozess

Mit Erhebungen des Verkehrsverhaltens lassen sich nur die Ergebnisse der Zeit- und Wegeplanungen in der Form ausgeführter raum-zeitlicher Aktionen erfassen, nicht aber die kognitiven Prozesse, welche hinter dem Entscheidungs- und Wahlverhalten der Verkehrsteilnehmer stehen (Gärling *et al.*, 1994). Das Verständnis dieser Prozesse ist aber eine wichtige Voraussetzung für die Bildung theoretisch fundierter Modelle zur Voraussage der Auswirkungen verkehrspolitischer Massnahmen oder geänderter Randbedingungen (z.B. Ladenöffnungszeiten) auf das Verkehrsverhalten. Hier bleibt die Wissenschaft vorläufig schlüssige und abschliessende Antworten noch schuldig.

Die Etablierung und Validierung von Modellen der kognitiven Prozesse erfordert eine zuverlässige Datenbasis. Die Erhebung der Daten dynamischer Zeit- und Wegeplanungsprozesse in möglichst unverfälschter Form, mit allen Wechselwirkungen innerhalb des Haushaltes und erst noch mit Begründungen der einzelnen Entscheide, erweist sich als schwierig. Ein Versuch neueren Datums ist der von Doherty und Miller (1998) entwickelte "Computerized Household Activity Scheduling Elicitor (CHASE)".

Mit CHASE werden in einem Vorab-Interview die relevanten Haushaltsdaten (Demographie, verfügbare Verkehrsmittel, Wohnsituation) und die Aktivitäten-Agenda des Haushaltes erhoben. Bei dieser Aktivitäten-Agenda handelt es sich um die Liste der Aktivitäten, welche die Mitglieder des Haushaltes während einer Woche ausführen. Zur Illustration ist die verwendete Klassifikation in Tabelle 1 aufgelistet. Auf der Basis dieser Tabelle beschreiben die Haushaltmitglieder die von ihnen ausgeführten Aktivitäten und machen Angaben in Bezug auf Häufigkeit, Ort und beteiligte Personen. Alle diese Angaben werden vom Interviewer in eine Datenbank eingegeben. Diese Informationen stehen in der nächsten Phase, dem Nachführen des Zeitplanes, dem Interviewten als *Pull-Down* Listen zur Verfügung.

Für die Nachführung des Zeitplanes wird dem Haushalt ein Laptop mit installiertem CHASE-Programm abgegeben. Der Bildschirm ist ähnlich wie eine übliche Agenda aufgebaut. In diese müssen die Haushaltmitglieder am Sonntagabend alle geplanten Aktivitäten und Ortsveränderungen der folgenden Woche (mit allen Detailangaben wie Art, Zeit, Dauer, Ort, weitere Teilnehmer usw.) eintragen und dann während einer Woche mindestens täglich alle Änderungen zusammen mit einer Beschreibung der Gründe für die Änderung nachtragen. Nach Ablauf einer Woche wird anlässlich eines kurzen *follow-up* Interviews, bei welchem die vom Haushalt eingegebenen Zeitpläne auf Vollständigkeit überprüft werden, der Laptop wieder eingesammelt.

Tabelle 1: Aktivitäten-Klassen, welche in CHASE zur Definition der Aktivitäten-Agenda eines Haushaltes verwendet werden

BASIC NEEDS	WORK/ SCHOOL	HOUSEHOLD OBLIGATIONS	SERVICES	JUST FOR KIDS
Night sleep	Work	Cleaning/maintenance	Doctor	Tag along with parent
Wash/dress/pack	School	Meal preparation	Dentist	Play, socializing
Home prep meals	Daycare	Chauffeurung	Other professional	Homework
Bagged lunches	Volunteer	Chauffeurung and passively observing	Personal (Salon, barber, laundry)	With babysitter
Restaurants (family, spouse, alone)	Special	Attending to children	Banking	Other just for kids
Delivered/picked-up meal	training	Pick-up involved person	Video store	
Coffee/snack shops	Other work/ school	Other errands	Library	
Other basic needs		Other obligations	Other service	
SHOPPING	RECREATION/ ENTERTAINMENT	SOCIAL	OTHER	
Minor groceries (<10 items)	Exercise or active sports (aerobics, fishing, cycling, walking, etc.)	Visiting	Tag along travel	
Major groceries (10+ items)	Movies/theatre	Hosting visitors	Pleasure driving	
Housewares	Other spectator events	Cultural events		
Clothing/personal items	Playing with kids	Religious events		
Drug Store	Parks, recreation areas	Planned social events		
Mostly browsing	Parks, recreation areas	Bars, special clubs		
Convenience store	Regular TV programs	Phone/e-mail >10 min		
Pick-up meal	Unspecific TV	Helping others		
Other shopping	Movie video	Other Social		
	Relaxing/pleasure reading/napping			
	Hobbies (crafts, gardening, etc.)			
	Other rec/entertainment			

Um den mit den Interviews verbundenen Zeitaufwand zu reduzieren und um auf die Abgabe von Laptops verzichten zu können, wurde iCHASE (Lee *et al.*, 2000) entwickelt, welches im Prinzip die gleichen Funktionen erfüllt wie oben beschrieben, aber für den Datenaustausch das Internet benützt. Zusätzlich wurde ein GIS-Teil integriert, welcher die Eingabe von geographischen Informationen erleichtert.

Inwieweit sich dieses Instrument eignet, Hintergrundinformationen zu den individuellen Zeit- und Wegeplanungsprozessen zu generieren, welche zum besseren Verständnis dieser Prozesse beitragen und im Hinblick auf Erklärungsansätze weiter analysiert werden können, muss sich noch zeigen.

Statt Daten zur Zeit- und Wegeplanung über längere Zeit und im "wirklichen" Leben registrieren zu lassen, wurde in verschiedenen Arbeiten versucht, diese Angaben unter Laborbedingungen mit interaktiven Experimenten, z.B. in der Form von Planungsspielen, zu gewinnen. Den Testpersonen wird beispielsweise eine Liste von Aktivitäten und Randbedingungen (Zeitfenster, Abhängigkeiten von anderen Personen usw.) vorgegeben, die sie unter Berücksichtigung ebenfalls vorgegebener Verkehrssituationen in einen Tagesablauf einordnen müssen. In folgenden Runden werden geänderte Verkehrssituationen (z.B. Stauinformationen, *Road Pricing* etc.) vorgegeben und die von den Testpersonen vorgenommenen Anpassungen an der Zeit- und Wegeplanung beobachtet. Ein frühes Beispiel solcher Experimente ist HATS (Jones, 1979 und 1980). *Stated Response-Erhebungen* sind eine vielversprechende Möglichkeit, Daten zum Zeit- und Wegeplanungsprozess zu gewinnen. Die Ergebnisse solcher Erhebungen

können, evtl. kombiniert mit *Revealed Preference* (RP)-Daten, die Grundlagen für die Etablierung heuristischer Modelle bilden. Ein ähnliches Verfahren ist Teil des Modelles AMOS (RDC, 1995), auf welches wir später zurückkommen werden. Lawton (1996) zitiert Lee-Gosselin, welcher die folgenden Formen von *Stated Response* Experimenten unterscheidet:

- *Stated Preference* Fokus = *Trade-offs*, Utilities
Fragestellung: Gegeben sind Alternativen mit unterschiedlichen Attributen, welche Alternative würden sie wählen?
- *Stated Tolerance* Fokus = Grenzen der Akzeptanz, Schwellenwerte für Wechsel
Fragestellung: Unter welchen Umständen könnten sie sich vorstellen, A, B oder C zu tun?
- *Stated Adaptation* Fokus = Reaktionsverhalten, Problemlösungs-Regeln
Fragestellung: Was würden sie tun wenn?
- *Stated Prospect* Fokus = Lernprozess, Sammeln von Informationen, Vorstellungsvermögen, Bilden und Testen von Wahlmöglichkeiten
Fragestellung: Unter welchen Umständen würden sie voraussichtlich das Verkehrsverhalten ändern und wie würden sie das tun?

4.2.3 Überprüfung und Ergänzung erhobener Aktivitäten-Tagebücher

In Aktivitäten-Tagebüchern wird festgehalten, welche Aktivität wo, zu welcher Zeit, für wie lange, mit wem etc. durchgeführt wurde und welches Verkehrsmittel verwendet worden ist. Die Erfahrung zeigt, dass diese Art von Erhebung gegenüber den bisher üblichen Fahrten- oder Mobilitätstagebüchern verschiedene Vorteile aufweist und in der Regel zuverlässigere Informationen über die durchgeführten Wege liefert. Das Nachführen eines Aktivitäten-Tagebuches erfordert aber von den Befragten ein erhebliches Mass an Aufwand und Zuverlässigkeit; entsprechend gross ist das Fehlerrisiko. Aktivitätentagebücher enthalten daher oft unvollständige (z.B. fehlende Angabe des Beginns, der Dauer oder des Ortes einer Aktivität) und inkonsistente (z.B. angegebener Beginn einer Aktivität vor dem angegebenen Ende der vorangegangenen Aktivität) Informationen. Dies kann bei der Etablierung von Aktivitäten-Modellen zu erheblichen Problemen führen.

Arentze *et al.* (1999) entwickelten ein Computer-Programm SYLVIA¹, mit welchem die in Aktivitäten-Tagebüchern gemachten Angaben überprüft, korrigiert und nötigenfalls ergänzt werden können. Dazu wird eine Vielzahl von Regeln verwendet, welche die logischen Randbedingungen und Zusammenhänge, welchen die Aktivitäten unterliegen resp. welche zwischen Aktivitäten bestehen, abbilden. Das Programm wurde für die Aufbereitung einer bestehenden, zur Kalibration von ALBATROSS² verwendeten, Datengrundlage eingesetzt. Denkbar und wünschenswert wäre es, mit einer on-line Version eines solchen Programmes die Befragten bereits bei der computergestützten Erfassung von Aktivitäten-Tagebüchern zu unterstützen und die Dateneingabe in Bezug auf Vollständigkeit und Plausibilität zu überwachen.

¹ System for the Logical Verification and Inference of Activity-Diaries

² Dieses Modell-System wird im Kapitel 4.3.3 beschrieben

4.2.4 Beispiele empirischer Untersuchungen

Die Ergebnisse empirischer Untersuchungen im Ausland können nicht ohne weiteres auf die Schweiz übertragen werden. Die folgenden Beispiele sollen denn auch nur die gefundenen generellen Zusammenhänge aufzeigen und insbesondere aber der Illustration der Vielzahl angewandter Untersuchungs- und Analysemethoden dienen. Die Liste der Beispiele lehnt sich an die in Arentze und Timmermans (2000) gegebene Übersicht an.

4.2.4.1.1 Häufigkeiten der Aktivitäten-Teilnahme

Der Pudget Sound Transportation Panel (PTSP) ist eine Haushalt-Panelbefragung, welche seit 1989 in fünf Wellen durchgeführt worden ist. Dabei wurden jeweils die sozioökonomischen Daten der Haushalte und der Einzelpersonen sowie ein 2-tägiges Verkehrstagebuch aufgenommen. Diese reichhaltige Datenquelle diente verschiedenen Forschern für unterschiedliche Analysen. Ma und Goulias (1999) verwendeten die Daten der ersten 4 Wellen für die Schätzung von **Poisson-Regressions-Modellen** zur Vorhersage der Aktivitätenteilnahme, getrennt nach sog. existenzsichernden Aktivitäten, haushaltbezogenen Aktivitäten und Freizeitaktivitäten (je ausser Hause getätigt) und der Kombination von zu Hause durchgeführten Aktivitäten. Mit diesen Modellen wurden dann die Aktivitätenhäufigkeiten der 5. Welle geschätzt. Der Vergleich der geschätzten mit den erhobenen Werten ergab eine recht gute Übereinstimmung. Von den in den Modellen verwendeten unabhängigen Variablen beschreiben 17 die Person, 8 den Haushalt und 12 die Raumstruktur und das Verkehrsangebot. Der Einfluss letzterer erwies sich im Vergleich zu jenen der Person und des Haushaltes als weniger ausgeprägt.

Eine Poissonverteilung kann nur für Stichproben angewendet werden, welche in Bezug auf das abzubildende Verhalten homogen sind und für welche die Varianz der unabhängigen Variablen gleich deren Mittelwert ist. In der Wirklichkeit werden diese Randbedingungen oft nicht erfüllt. Dem kann mit der Einführung einer stochastischen Fehlerkomponente Rechnung getragen werden. Die Annahme einer Gammaverteilung für dieser Fehlerkomponente führt zu einer negativen Binomialverteilung. Kockelman (1999) hat ein **negatives binomiales Regressionsmodell** mit einem Datensatz von über 10'000 Haushalten, welcher 1990 in der Bay Area von San Francisco erhoben worden war, geschätzt.

Zwischen den soziodemographischen Eigenschaften, der Teilnahme an Aktivitäten (*time use*) und der Verkehrsteilnahme bestehen Wechselwirkungen. Diese Wechselbeziehungen lassen sich mit **Structural Equation Models (SEM)** schätzen, wie beispielsweise Golob (1998, 2000) sowie Lu und Pas (1999) gezeigt haben. Fujii und Kitamura (2000) untersuchen mit einem SEM, wie sich eine neue Strassenverbindung zwischen Osaka und Kobe auf die täglichen Aktivitäten, welche Pendler nach der Arbeit unternehmen, auswirken könnte.

Auf der Basis des ökonometrischen Paradigmas der Nutzenmaximierung und eines "Haushalt-Produktions-Ansatzes" untersucht Lawson (1999) mit einem **Logit-Modell**

die Faktoren, welche die Aktivitäten-/Verkehrsentscheide der Haushalte in Bezug auf Aktivitäten, welche sowohl zu Hause als auch auswärts ausgeführt werden können, beeinflussen. Als Grundlagedaten dienen ihr die Ergebnisse einer 1994 in Oregon und Washington durchgeführten Erhebung (Oregon and Southwestern Washington 1994 Activity and Travel Behavior Survey).

Interaktionen innerhalb des Haushaltes

Golob und McNally (1997) analysieren mit einem SEM die Aufgabenzuteilung zwischen Ehepaaren und die resultierende Verkehrsnachfrage. Ihre Untersuchungen zeigen, dass in einem SEM die Aktivitäten-Teilnahme- und die Verkehrsvariablen als *censored* behandelt werden sollten (**Tobit Modell**). Die Schätzung eines solchen Modelles ist aber aufwändiger als jene eines linearen Modelles, für welches die gewohnte Maximum Likelihood-Methode (ML) angewendet werden kann. Allerdings konnte gezeigt werden, dass bei den hauptsächlichen Ergebnissen kaum Unterschiede zwischen dem linearen und dem Tobit-Modell bestehen. Die Autoren ziehen den Schluss, dass bei Stichproben, die für eine Anwendung von Tobit-Modellen zu klein sind, ein lineares Modell eine vertretbare Alternative ist.

Aktivitäten-Dauer

Für die Modellierung der Aktivitäten-Dauer wurden neben den auf dem Prinzip der Nutzenmaximierung beruhenden Ansätzen in verschiedenen Arbeiten **Hazard-Modelle** (in der Regel *Cox proportional hazard models*) eingesetzt. Mannering *et al.* (1994) haben mit einem solchen Modell die Aufenthaltsdauer zu Hause in Abhängigkeit der sozioökonomische Eigenschaften, Gewohnheiten¹ und dem Zeitpunkt, wann der Verkehrsteilnehmer zu Hause angekommen ist, bestimmt.

Mit einem **Competing Risk Hazard Model** schätzen Ettema *et al.* (1995) die Dauer der gegenwärtigen Aktivität und die Art der folgenden Aktivität, u.a. in Abhängigkeit von Tageszeit, Öffnungszeiten, Reisezeiten, Prioritäten und Zeitbudget.

Misra (1999) weist darauf hin, dass die mit Befragungen gewonnen Zeitangaben, z.B. die Startzeit und die Dauer einer Aktivität, auf 5, 10 oder 15 Minuten genau angegeben werden. Es handelt sich also nicht um kontinuierliche Daten, sondern um diskrete "Zeitquanten", womit eine Voraussetzung von Hazard Modellen verletzt ist. Misra entwickelt ein **Poisson-Prozess-Modell**, mit welchem simultan die Wahl des Aktivitätentyps und die Dauer der Aktivität modelliert werden.

Teilnahme an Aktivitäten nach der Rückkehr von der Arbeit

Statt zu untersuchen, wie lange jemand nach der Rückkehr zu Hause bleibt, hat Bhat (1998) ein Modell für die Teilnahme an weiteren Aktivitäten nach der Rückkehr von der Arbeit erstellt. Dieses behandelt gemeinsam die folgenden möglichen Entscheide:

¹ Als Variable zur Beschreibung der Gewohnheiten wird die Aufenthaltsdauer zu Hause vom Vortag verwendet.

- Zu Hause bleiben oder nochmals ausgehen; wenn nochmals ausgehen, zu welchen Aktivitäten?
- Wie lange zu Hause bleiben, resp. wann zur nächsten Aktivität weggehen?
- Wann nach Hause zurückkehren?

Das von Bhat entwickelte Modell gehört zur Familie der **discrete/continuous econometric models**. Die Wahl des Aktivitäten-Typs ist eine "*discrete choice*", während die Aufenthaltsdauer zu Hause und die Dauer der Auswärts-Aktivität "*continuous choices*". sind.

4.2.4.1.2 Bildung von Wegeketten

Mannering *et al.* (1994) etablierten ein **geschachteltes Logit-Modell** mit zwei Ebenen. Auf der unteren Ebene wird für eine bestimmte Aktivitäten-Kette und Abfahrtszeit die Wahl der Anzahl Stopps, auf der oberen Ebene die Wahl der Aktivität resp. der Aktivitätenkette modelliert. Wegen einer ungenügenden Datenbasis musste auf eine dritte (unterste) Ebene, auf welcher die Wahl der Aktivitätenkombinationen für Wegeketten mit mehreren Stopps zu modellieren wäre, verzichtet werden. Die Nutzenfunktion berücksichtigt neben soziodemographischen Variablen der Person und den Variablen des Verkehrsangebotes auch solche, welche die Gewohnheiten in Bezug auf die Aktivitätenteilnahme der Person beschreiben.

Golob (2000) entwickelte und testete ein **SEM**, mit welchem für Haushalte (nicht Einzelpersonen) gemeinsam drei endogene Variablen – Teilnahme an Aktivitäten, Bildung von Wegeketten und Reisezeit – in Funktion von soziodemographischen Eigenschaften des Haushaltes und Erreichbarkeits-Indizes vorhergesagt werden.

4.2.4.1.3 Teilnahme an Aktivitäten gemeinsam mit anderen Personen

Die Kenntnis des Stellenwertes gemeinsam unternommener Aktivitäten ist wichtig im Hinblick auf die Abschätzung der Verkehrsnachfrage sowie zur Beurteilung möglicher Auswirkungen von VSM-Massnahmen. Fujii, Kitamura und Kishizawa (1999) haben eine entsprechende Analyse eines 1996 im Raum Osaka-Kobe erhobenen Datensatzes durchgeführt. In einem ersten Schritt schätzten sie ein SEM. Dieses zeigte, dass nicht nur die Verkehrsteilnahme, sondern auch die Einschätzung der Lebensqualität¹ massgeblich durch die gemeinsame Teilnahmen an Aktivitäten zusammen mit anderen Personen beeinflusst wird. In einem zweiten Schritt wurde ein Modell – basierend auf der Theorie der stochastischen Nutzenmaximierung – der Zeit-Allokation zu den einzelnen Aktivitäten etabliert. Dazu wurden in Kombination mit den RP-Daten aus der oben erwähnten Erhebung Daten aus SP-Experimenten verwendet. Das Modell wurde als **Structural Tobit Model System** formuliert.

¹ Diese wird als 5-stufiges subjektives semantisches Rating auf die Frage "wie zufrieden sind sie mit dem heutigen Tag" abgebildet.

4.3 AKTIVITÄTEN-ORIENTIERTE VERKEHRSMODELL-ANSÄTZE

4.3.1 Einleitung

Nach der Darstellung einer Auswahl typischer Untersuchungen von Einzelaspekten wenden wir uns nun den umfassenderen Modellen zu, welche mehrere Aspekte simultan unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen, insbesondere zwischen Verkehr und Aktivitäten, behandeln. Auch hier müssen wir uns auf eine Auswahl typischer Beispiele beschränken. Eine umfassende Übersicht geben z.B. Arentze und Timmermans (2000).

Bei allen Modellansätzen geht es um die Nachbildung des Verhaltens von Verkehrsteilnehmern bei der Wahl von Aktivitäten- und Wegeketten. Eine Wahl hat drei wichtige Elemente, nämlich (1) einen Satz zur Auswahl stehender Alternativen, (2) einen Entscheidungsträger und (3) ein Entscheidungs-Protokoll (Bowman und Ben-Akiva, 1996). Es können unterschiedliche Entscheidungs-Protokolle zur Anwendung gelangen. Vereinfacht dargestellt ist aber allen ein 2-stufiger Prozess mit (1) der Bildung des Satzes zur Auswahl stehender resp. in Betracht gezogener Alternativen (*choice set*) und (2) der Wahl einer spezifischen Alternative aus diesem Satz gemeinsam. Dieser Prozess kann sequentiell (zuerst werden die Alternativen identifiziert, anschliessend wird evaluiert und entschieden) oder iterativ (die Evaluation von Alternativen kann zur Bildung neuer Alternativen führen) ablaufen. Wie in Abbildung 2 dargestellt, können bei der Bildung des Satzes zur Auswahl stehender Alternativen und bei der Entscheidungs-Regel, welche zur Wahl führt, unterschiedliche Verhaltensweisen zum Tragen kommen.

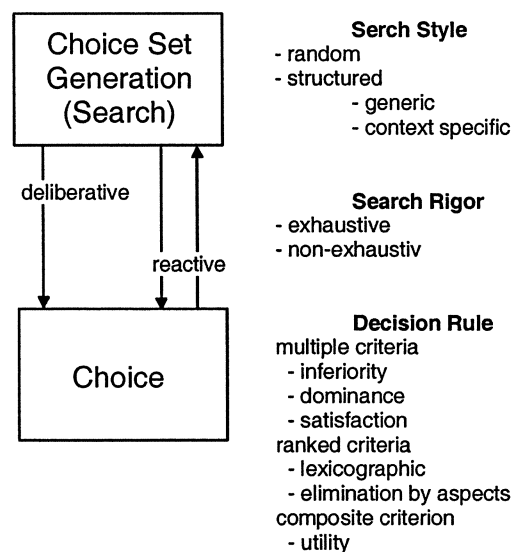


Abbildung 2: Das 2-stufige Entscheidungs-Protokoll (Bowman und Ben-Akiva, 1996)

Die Modell-Ansätze unterscheiden sich u.a. auch durch die ihnen zu Grunde liegenden Annahmen bezüglich des Entscheidungsprotokolls. **Nutzenmaximierungs-Modelle** gehen davon aus, dass der Satz zur Auswahl stehender Alternativen vollständig bekannt ist und dass als Auswahlkriterium die aus verschiedenen Aspekten zusammen-

gesetzte Grösse des "Nutzens" (*utility*) der Alternativen verwendet wird. Die beiden anderen Modell-Gruppen, die **Computational Process Models** und die **Mikro-Simulations-Modelle**, lassen flexiblere Entscheidungs-Protokolle zu, wie wir weiter unten zeigen werden. Im Rahmen von Gesamtmodellen gelangen diese Modell-Ansätze meist in kombinierter Form zum Einsatz; gewisse Teilaspekte werden z.B. mit Mikro-Simulationen behandelt, während für andere Nutzenmaximierungs-Modelle zum Einsatz gelangen. Eine strenge Zuordnung von Gesamtmodellen zu einem einzigen Modelltyp ist daher in der Regel nicht möglich resp. erfolgt mehr oder weniger willkürlich.

4.3.2 Nutzenmaximierungs-Modelle

Seit Mitte der 70er-Jahre wird der Nutzenmaximierungs-Ansatz (*utility maximizing*) in der Verkehrsplanung (*discrete choice models*) verbreitet angewendet. Auf diesem Ansatz beruhen die Logitmodelle.

Ein frühes und wichtiges Beispiel dieser Modell-Kategorie ist STARCHILD (Recker *et al.*, 1986a, 1986b). Das Modell verwendet MNL¹-Ansätze. Diese beruhen jedoch auf der Voraussetzung, dass die zur Auswahl stehenden Alternativen unabhängig voneinander sind, was bei den zur Diskussion stehenden Aktivitäts-Profilen und Verkehrsent-scheiden in der Realität nicht immer der Fall sein wird. Verschiedene alternative Modellspezifikationen wurden entwickelt, um diese Einschränkung der MNL-Modelle zu umgehen. Von diesen werden die geschachtelten Logitmodelle (*nested logit*) am verbreitetsten angewendet. Auf diesem Ansatz beruht auch das im folgenden beschriebene Modell von Bowman und Ben-Akiva (1999).

Bowman und Ben-Akiva beschreiben ihr Modell als dritten Schritt in der Entwicklung integrierter disaggrierter *discrete choice* Modell-Systeme in Richtung aktivitäten-orientierter Modelle: Der erste Schritt waren integrierte, auf Einzelwegen basierende Modelle, welche teilweise die durch Raum und Zeit gegebenen Randbedingungen und die Interaktionen im Haushalt berücksichtigten (Ruiter und Ben-Akiva, 1978), der zweite Schritt waren Wegekettenmodelle (z.B. Shiftan und Ruiter, 1996). Im dritten Schritt wird nun die Aktivitäten- und Verkehrsnachfrage als das Ergebnis einer nach dem Nutzenmaximierungs-Prinzip getroffenen individuellen Wahl eines bestimmten Tages-Zeitplanes (*activity schedule*) aus dem Satz aller möglichen Tages-Zeitpläne behandelt. Der Tageszeitplan wird als eine Sequenz von Wegeketten (Touren) und zu Hause durchgeführter Aktivitäten behandelt, welche abhängig sind vom Tages-Aktivitäten-Muster (*day activity pattern*). Dieses Muster stellt die Grundsatzentscheide bezüglich auszuführender Aktivitäten und Prioritäten dar und ordnet jede Aktivität einer Tour oder einer Tätigkeit zu Hause zu. Die zur Wahl stehenden Muster sind definiert durch

- die primäre Aktivität des Tages
- den Ort der primären Aktivität (zu Hause oder auswärts)
- den Typ der primären Wegekette, welche zur primären Aktivität gehört (Anzahl, Zweck und Reihenfolge der Zwischenhalte)

¹ MNL = Multinomial Logit

- die Anzahl und die Zwecke von sekundären Aktivitäten resp. Wegeketten
- die zweckspezifische Teilnahme an Aktivitäten zu Hause.

Die Unterteilung in primäre und sekundäre Aktivitäten erfolgt ausserhalb des eigentlichen Modelles anhand festgelegter deterministischer Regeln.

In Abbildung 3a ist ein hypothetisches Beispiel eines Zeitplanes dargestellt. Abbildung 3b zeigt die im Modell berücksichtigten Attribute dieses Zeitplanes.

Begin	End	Activity or travel
6:00 a.m.	7:15	get ready for work
7:15	7:45	drive alone to work at 872 4 th Ave
7:45	12:00	Work
12:00	12:10	walk to lunch at 905 4 th Ave
12:10	12:35	Lunch
12:35	12:45	walk back from lunch
12:45	4:30	Work
4:30	5:00	drive alone to pick up daughter at school, 1325 Lakeview Blvd.
5:00	5:10	drive home with daughter
5:10	6:00	fix supper
6:00	6:30	eat supper
6:30	7:20	read paper and relax
7:20	7:30	drive to school for PTO meeting
7:30	9:00	PTO meeting
9:00	9:10	drive home
9:10	10:30	watch TV
10:30	6:00	Sleep

Abbildung 3a: Hypothetisches Beispiel eines Zeitplanes (aus Bowman und Ben-Akiva, 1999)

Pattern attribute	Example value
Primary activity	work on tour
primary tour type	no stop before work-based subtour maintenance stop after
Secondary tours	1 leisure tour
at-home maintenance activity	yes

Abbildung 3b: Im Modell berücksichtigte Attribute des Zeitplanes gem. Abb. 3a (aus Bowman und Ben-Akiva, 1999)

Die Details der Wegeketten wie Tageszeit, Zielorte und Verkehrsmittel werden in speziellen Modellen (*conditional tour models*) behandelt. Innerhalb jeder Wegekette bestimmt die Wahl von Zeitpunkt, Verkehrsmittel und Zielort der primären Aktivität die Orte der sekundären Stopps. Abbildung 3c zeigt die im Wegeketten-Modell berücksichtigten Attribute.

Tour	Tour attribute	Example value
Primary tour	departure time to primary destination	a.m. peak period
	mode	zone 12
	departure time from stop after location	auto drive alone
Work-based subtour	departure time to destination	p.m. peak period
	mode	zone 329
	departure time from	midday
Secondary tour	departure time to mode	midday
	destination	after p.m. peak
	departure time from	auto drive alone

Abbildung 3c: Im Modell berücksichtigte Wegeketten-Attribute für den Zeitplan gem. Abb. 3a (aus Bowman und Ben-Akiva, 1999)

Der geschachtelte Modellaufbau ist vereinfacht in der folgenden Abbildung wiedergegeben.

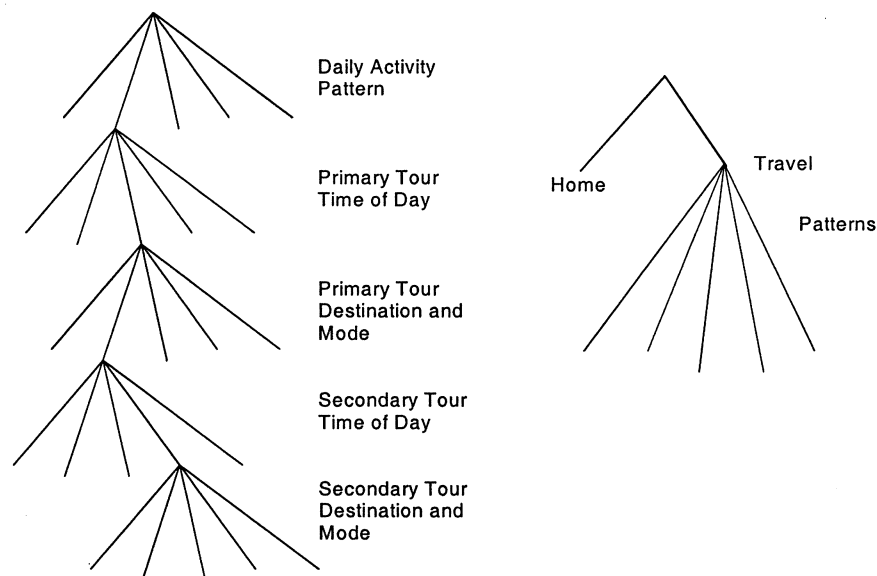


Abbildung 4: Im Modell von Bowman und Ben-Akiva angenommene Hierarchie der Zeit- und Wegeplanung

Das von Bowman und Ben-Akiva entwickelte Modell wurde zuerst in Boston (als Prototyp) und dann in Portland in weiterentwickelter Form praktisch eingesetzt. Trotz der beeindruckenden Komplexität des Modelles (in der Portland-Anwendung waren insgesamt 492 Parameter zu schätzen und in einer Demonstrations-Version des Modelles für Portland stieg die Zahl der alternativen Tagesaktivitäten-Muster auf 570) müssen mit verschiedenen vereinfachenden Annahmen Kompromisse in Bezug auf die Realitätsstreue zu Gunsten der Handhabbarkeit des Modelles in Kauf genommen werden. Diese betreffen z.B.:

- Betrachtungsgegenstand ist die Einzelperson und nicht der Haushalt. Interdependenzen innerhalb des Haushaltes können damit nur implizite berücksichtigt werden.

- Unabhängigkeit zwischen den Touren eines gegebenen Tagesaktivitäten-Musters und Unabhängigkeit zwischen den sekundären Stopps innerhalb einer gegebenen Tour.
- Es wird nur der Zeitplan eines Einzeltages modelliert. Würden die Zeitpläne mehrerer aufeinander folgender Tage modelliert, könnten Interdependenzen zwischen den Tagen berücksichtigt werden.
- Korrelationen innerhalb gewisser Untergruppen von zur Wahl stehenden Alternativen können nicht ausgeschlossen werden, was eine Verletzung der Voraussetzungen für die Anwendung von Logit-Modellen darstellt.
- Eine Schwäche aller *discrete choice models* ist das Erfordernis, für jede Person die ihr zur Auswahl stehenden Alternativen (*choice set*) festzulegen.
- Langfristige Entscheide und Gewohnheiten (Lebensstil), welche die Zeit- und Wegeplanung stark beeinflussen, werden nicht berücksichtigt. (Ihre Berücksichtigung ist theoretisch möglich, würde aber die Komplexität des Modelles erheblich vergrößern).

4.3.3 Computational Process Models (CPM)

Im Vergleich zu den auf der ökonomischen Theorie der Nutzenmaximierung beruhenden Modellansätzen gehen die CPM vermehrt vom Prozess der Zeit- und Wegeplanung aus (Gärling *et al.*, 1994). Dieser Zeit- und Wegeplanungsprozess besteht aus einer Reihe interdependenter Entscheide, welche als Grundlage das Sammeln und Memorieren von Informationen, das Abrufen von Informationen aus dem Gedächtnis, das Abwägen von Vor- und Nachteilen und das Lösen allfälliger Konflikte usw. bedingen. Zur Beschreibung dieses Prozesses werden Produktions-System-Modelle (*production system models*) verwendet. Diese Modelle bestehen aus einem Satz von heuristischen *IF...THEN...ELSE*-Regeln, welche spezifizieren, wie bei einer bestimmten Entscheidung (z.B. der Wahl einer Alternative) vorgegangen wird: welche Informationen müssen eingeholt werden, wie ist die Information zu werten, wie wird das Ergebnis der Bewertung bei der Wahl berücksichtigt usw. Ein CPM beruht auf der Anwendung solcher heuristischer Regeln. Wesentliche Impulse zu diesem Modellansatz gab die von Hayes-Roth und Hayes-Roth (1979) entwickelte Theorie des menschlichen Vorgehens bei der Entscheidungsfindung.

Die in CPMs zur Anwendung gelangenden Regeln sind in den meisten Fällen das Produkt von "Expertenwissen". Wets *et al.* (2000) untersuchen das Potential von Data-Mining-Algorithmen wie C4 und CHAID zur Herleitung von Regeln, welche dem beobachteten Verhalten zu Grunde liegen könnten. Als Testbeispiel verwenden sie den Datensatz einer grösseren Aktivitäten-Tagebuch-Erhebung und versuchen mit C4 und CHAID auf der einen und mit einem Logit-Model auf der anderen Seite den Entscheidungsprozess bei der Verkehrsmittelwahl nachzubilden. An diesem Testbeispiel ergeben alle drei Methoden sehr ähnliche Resultate¹. Das Potential von Data-Mining-Algorithmen zur Herleitung von Regeln, nach welchen die Entscheide der Verkehrsteilnehmer ablaufen, scheint also gegeben. Dessen Ausschöpfung erfordert aber weitere Forschungsanstrengungen.

Ettema *et al.* (1993) und Gärling *et al.* (1998) entwickelten CPM-Prototypen für die Modellierung des Zeit- und Wegeplanungsprozesses. Das Modell von Ettema *et al.* (1993) geht davon aus, dass so lange Anpassungen am Zeitplan durch Hinzufügen, Streichen, und Umordnen (Zeitplanungsaktionen) vorgenommen werden, bis ein befriedigender Zeitplan erreicht ist. Als Entscheidungsregel gilt, dass jene Lösung, welche den grössten Nutzen verspricht, gewählt wird resp. dass die Zeitplanung dann gestoppt wird, wenn der Nutzen weiterer Kombinationen von Hinzufügen, Streichen oder Umordnen von Aktivitäten negativ wird. Der Nutzen der Zeitplanungsaktionen wird als Funktion folgender Faktoren geschätzt:

- Anzahl Zeitplanungsaktionen vom Typ j , welche bisher durchgeführt worden sind
- Anzahl Zeitplanungsschritte seit der letzten Ausführung der Aktion j
- Anzahl der bisher durchgeführten Zeitplanungsschritte insgesamt
- Attribute, welche verschiedene relevante Aspekte messen, z.B. die räumliche Situation (spatial clustering), die für Aktivitäten aufgewendete Zeit (Reisezeit mit negativem Vorzeichen), Anteil der im Zeitplan berücksichtigten Aktivitäten aus der ganzen Aktivitäten-Agenda, die Attraktivität von Zielorten, die gesamte im Zeitplan vorgesehene Reisezeit, die letzte mögliche Zeit zur Beendigung der Zeitplanung sowie die Chance, den Zeitplan realisieren zu können.

Das Modell lieferte für einen konstruierten Anwendungsfall vernünftige Ergebnisse. Für die Anwendung in einem realen Fall müssten die Werte der Modell-Parameter anhand beobachteter Daten, z.B. im Rahmen einer interaktiven Simulation, ermittelt werden

Das Modell von Gärling *et al.* (1998) basiert auf einer Theorie zum Verhalten bei der Verarbeitung von Umfeldinformationen im Rahmen der Zeit- und Wegeplanung. Es wird zwischen einem Langzeit-Kalender (LTC) und einem Kurzzeit-Kalender (STC) unterschieden. Zusätzlich wird das Vorhandensein eines Speichers in der Form einer mentalen "Landschaftskarte" (*cognitive map*, CMAP) angenommen, welche die Erfahrungen der Person in Bezug auf Distanzen, Routen, Reisegeschwindigkeiten zu unterschiedlichen Tageszeiten, Lokalitäten, Öffnungszeiten usw. enthält. Im LTC sind die Informationen über die Aktivitäten, inkl. Zeiten und mögliche Orte für deren Durchführung, gespeichert. Aus dem LTC werden nach bestimmten Regeln Aktivitäten in den STC übernommen, bevor sie ausgeführt werden. Dabei werden die Dringlichkeit einer Aktivität sowie der Nutzen, welcher mit ihrer Ausführung verbunden ist, berücksichtigt. Der Nutzen wird anhand der im CMAP gespeicherten Erfahrungen beurteilt. Wie CMAP, LTC und STC in diesem Denkmodell zusammenwirken, ist in der folgenden Abbildung 5 dargestellt. Die im LTC und im CMAP gespeicherten Informationen verändern sich mit der Erfahrung. Dieses Lernen ist im Modell aber noch nicht abgebildet. Auch sonst beruht das Modell in der jetzigen Form auf vielen vereinfachenden Annahmen (z.B. werden Interaktionen mit anderen Personen, die Verkehrsmittelwahl und andere wichtige Aspekte der Zeit- und Wegeplanung noch nicht berücksichtigt), welche eine Anwendung in der Praxis noch nicht ermöglichen.

¹ Im Simulations-System ALBATROSS wird CHAID für die Herleitung von Entscheidungstabellen eingesetzt (Arentze und Timmermans, 2000)

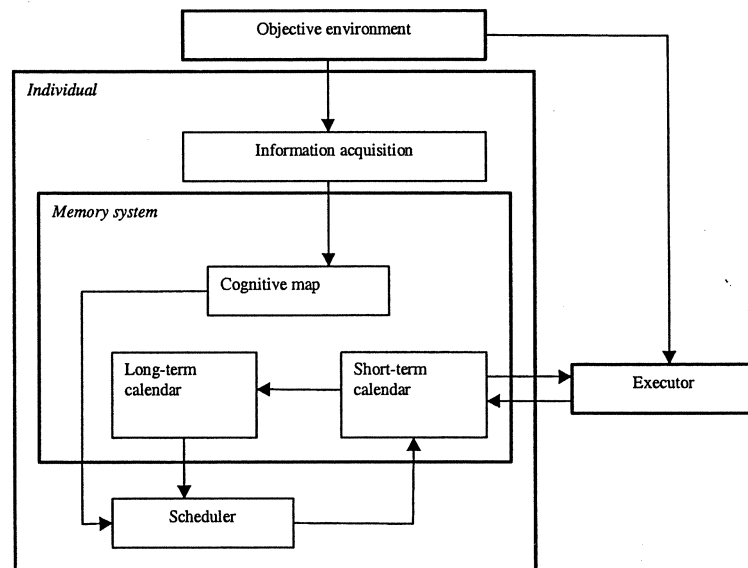


Abbildung 5: Denkmodell des Informations-Verarbeitungsprozess bei der Zeit- und Wegeplanung (Gärling *et al.*, 1998)

Ein in einem praktischen Anwendungsfall getestetes CPM ist AMOS (RDC, Inc., 1995). Der Test erfolgte in Washington D.C. mit den Daten einer Haushalt-Verkehrsbefragung (Fahrten-Tagebuch einer Stichprobe von 100 Haushalten).

AMOS simuliert, wie eine Person ihre Zeit- und Wegeplanung (*activity-travel pattern*) voraussichtlich ändern wird, wenn bestimmte VSM-Massnahmen eingeführt werden. Das Modell besteht aus den folgenden Modulen:

Baseline Activity-Travel Analyzer: Analysiert und verifiziert die erhobenen Daten und erstellt für jede Person ein kohärentes "Basis-Aktivitäten-/Verkehrs-Pattern" (*baseline activity-travel pattern*).

TDM Response Option Generator: Dieses Modul simuliert für jede Person eine "Grund-Reaktion" auf eine VSM-Massnahme. Es wird ein **neurales Netz**-Modell verwendet, welches mittels RP- und SP-Daten trainiert wird. Das "Basis-Aktivitäten-/Verkehrs-Pattern", sozioökonomische Attribute und die Eigenschaften der zu prüfenden VSM-Massnahme (Veränderung von Reisekosten und -zeiten sowie von Verkehrsmittelattributen, Einführung oder Aufhebung von Einschränkungen usw.) bilden die Input-Daten. Der Output des Moduls ist eine Reaktion des simulierten Verkehrsteilnehmers in seinem Aktivitäten-/Verkehrs-Verhalten.

Activity-Travel Pattern Modifier: Aufgrund der im *TDM Response Option Generator* generierten Reaktion werden mit einem entsprechenden Algorithmus Anpassungen am Zeit-/Wegeplan vorgenommen und ein oder mehrere alternative Aktivitäten-/Verkehrs-Pattern erzeugt. Inputdaten für dieses Modul sind neben der oben erwähnten Reaktion auf die VSM-Massnahme das "Basis-Aktivitäten-/Verkehrs-Pattern", Daten des Verkehrsnetzes, Landnutzungs-Daten sowie sozioökonomische und demographische Daten. Der Output ist ein modifiziertes Aktivitäten-/Verkehrs-Pattern, welches mittels ei-

nes Satzes von Regeln und Randbedingungen¹ in Bezug auf Konsistenz und Logik überprüft wird.

Evaluation Module and Acceptance Routines: Es wird der Nutzen evaluiert, welcher mit dem im vorangegangenen Modul veränderten Aktivitäten-/Verkehrs-Pattern verbunden ist. Eingebaute Routinen zur Prüfung der Akzeptanz beurteilen, ob das neue Pattern akzeptiert oder abgelehnt wird. Dazu wird ein Modell von Anpassungen des Verhaltens und des Lernens (*human adaptation and learning model*), welches auch Regeln zur Beendigung des Suchprozesses beinhaltet, angewendet.

Statistics Accumulator: Für die im *Evaluation Module* akzeptierten Aktivitäten-/Verkehrs-Pattern werden die für weitere Analysen (z.B. Luftschadstoffemissionen) benötigten statistischen Angaben wie Fahrzeugkilometer, Anzahl Fahrten nach Verkehrsmittel und Tageszeit, Anzahl Stopps nach Zweck, Wegekette, Aktivitätendauer und -zweck, Reisezeiten nach Zweck, Besetzungsgrad, Anzahl Kalt- und Warmstarts usw. zusammengestellt. Der Vergleich mit den "Basis-Aktivitäten-/Verkehrs-Pattern" liefert die Angaben in Bezug auf die zu erwartenden Veränderungen der Verkehrs-Charakteristika.

Die Stellung der einzelnen Module und ihr Zusammenwirken sind in der Abbildung 6 dargestellt.

In der Testanwendung in Washington wurden die folgenden VSM-Massnahmen untersucht:

- Parkgebühren
- Verbesserte Anlagen für Fussgänger und Radfahrer
- Parkgebühren kombiniert mit verbesserten Anlagen für Fussgänger und Radfahrer
- Parkgebühren kombiniert mit durch Arbeitgeber finanzierten öV-Verbilligungen.
- Congestion Pricing

Die erzielten Ergebnisse waren plausibel und zeigten das Potential dieser Art von Modellen als *policy-sensitive* Instrumente. Aber auch in AMOS mussten im Hinblick auf die Praktikabilität verschiedene vereinfachende Annahmen getroffen werden (Interaktionen innerhalb des Haushaltes sind nicht berücksichtigt, es kann nur ein einzelner Tag abgebildet werden usw.).

¹ Spatio-temporal constraints, physiological constraints, coupling constraints, household role-based constraints, modal constraints, activity constraints, value of time etc.

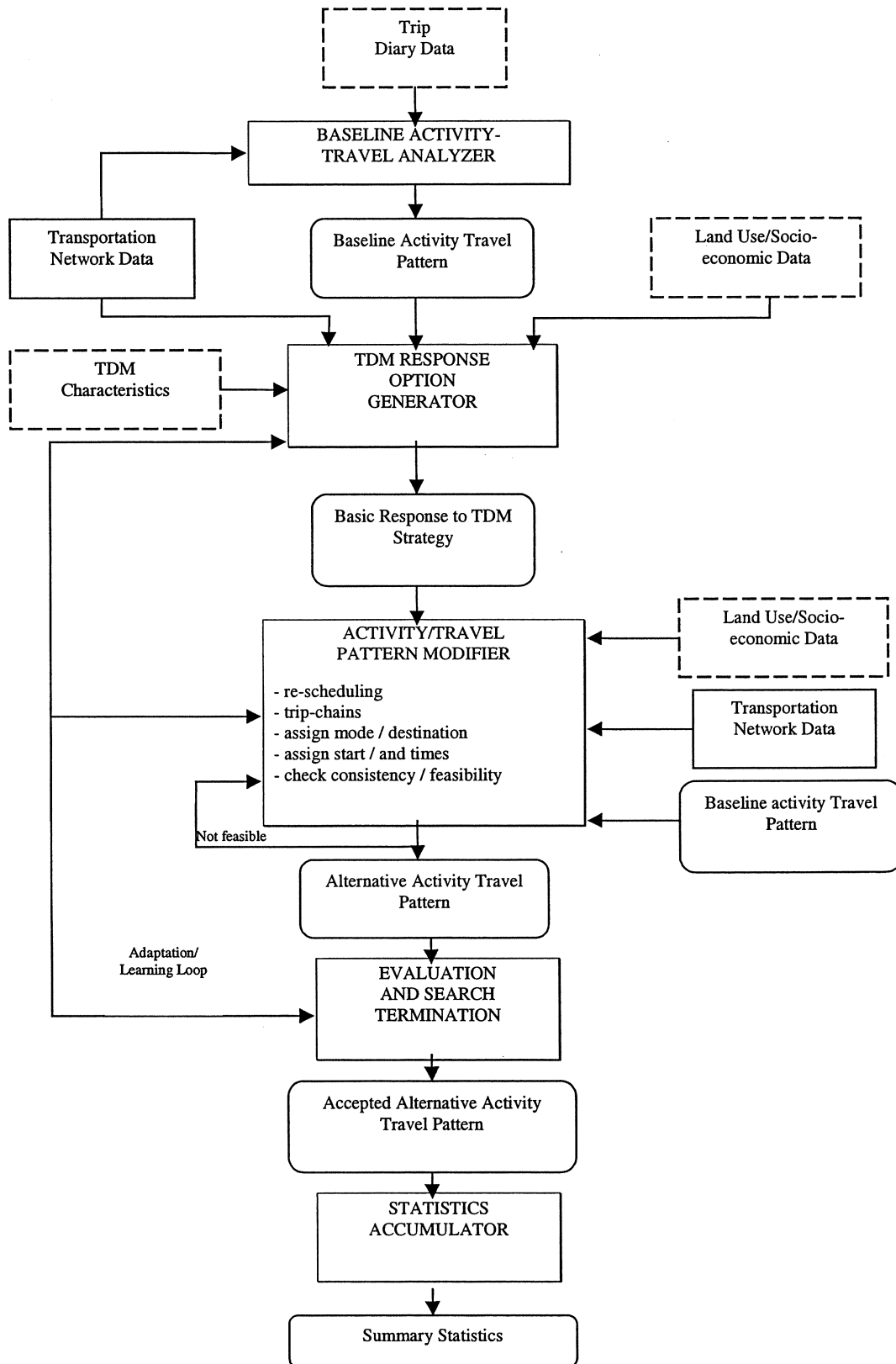


Abbildung 6: Modell-Struktur von AMOS (RDC, Inc., 1995)

Ein umfassender CPM-Ansatz neueren Datums ist das Modell-System ALBATROSS (Arentze und Timmermans, 2000). Die Komponenten von ALBATROSS sind in der Abbildung 7 dargestellt.

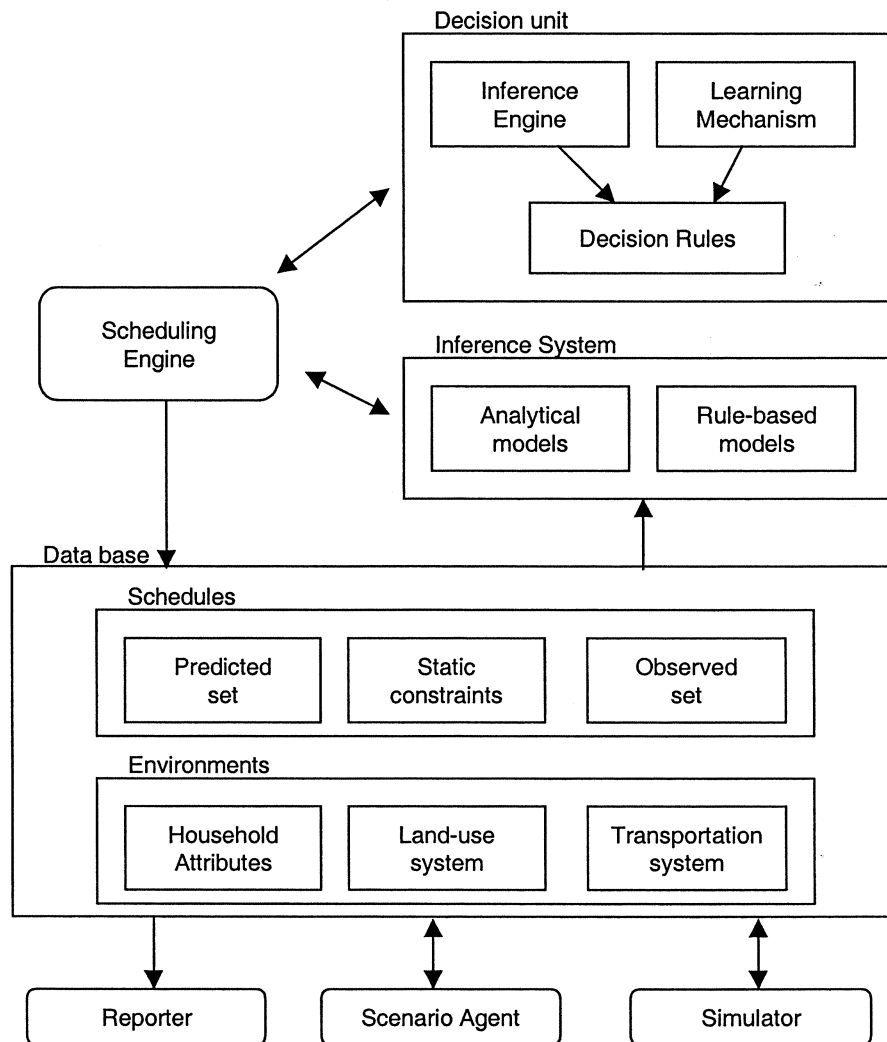


Abbildung 7: Modell-System ALBATROSS

Das Kernelement ist die *Scheduling Engine*. Diese Komponente kontrolliert die verschiedenen Schritte des zu modellierenden Zeitplanungsprozesses. Sie identifiziert die für die *Decision Unit* relevanten Informationen bezüglich Randbedingungen und aktiviert die geeigneten analytischen sowie regelbasierten Modelle im *Inference System* zur Generierung dieser Informationen. Schliesslich werden die in der *Decision Unit* gebildeten Entscheide zu zweckmässigen Zeitplanungs-Operationen übersetzt.

Die *Decision Unit* stellt für jeden Schritt im Zeitplanungs-Prozess einen Satz von Entscheidungs-Regeln zur Verfügung. Diese Regeln werden in der *Inference Engine* ausgewählt. Im *Learning Mechanism* werden nach dem Prinzip des "induktiven Lernens" aus Feed-Back-Informationen bestehende Regeln angepasst oder neue Regeln für die Zeitplanung generiert.

Die vom Modell benötigten resp. erzeugten Daten werden in der *Data base* gespeichert. Der *Reporter* erzeugt Listen und Statistiken von Input- und Outputdaten. Der *Scenario Agent* ist im Prinzip eine Schnittstelle und unterstützt den Anwender in der Bildung von Szenarien. Diese werden aus den im *static constraints* oder *environment data layer* enthaltenen Daten mit Monte-Carlo-Simulationen erzeugt. Sollen im *Scenario Agent* längerfristige Massnahmen oder Entwicklungen simuliert werden, ermittelt der *Simulator* deren zeitliche Dimensionen mittels einer Echtzeit-Simulation der Dynamik des Verhaltens bei der Umsetzung von Zeitplänen.

4.3.4 Mikrosimulations-Modelle

Mikrosimulation ist eine Methode zur Modellierung von Systemen, welche sich durch folgende Eigenschaften auszeichnen (Miller, 1996):

- Das System ist dynamisch und dessen Verhalten soll über einen gewissen Zeitraum modelliert werden.
- Das Systemverhalten ist komplex, z.B. infolge
 - komplexen Entscheidungsregeln der individuellen Akteure im System
 - komplexen Interaktionen zwischen Akteuren
 - externen Faktoren, welche auf das System wirken und das Verhalten der Systemelemente beeinflussen
 - zufälligen Veränderungen externer und interner Faktoren

Aktivitäten-/Verkehrssysteme sind in hohem Masse durch die oben genannten Eigenschaften gekennzeichnet. Es sind denn auch verschiedene Mikrosimulations-Konzepte und -Methoden für aktivitäten-orientierte Verkehrsmodelle – in den 80er-Jahren mit Schwergewicht in Deutschland, später vermehrt auch in andern Ländern – entwickelt worden. Diese Modelle simulieren (z.B. mit Monte Carlo Simulation) individuelle Aktivitäten-Muster und individuelles Verkehrsverhalten auf der Basis von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, welche aufgrund von Erhebungen für die verschiedenen Aspekte der Aktivitäten- und Verkehrsteilnahme definiert worden sind.

Die im vorangegangenen Kapitel 4.3.3 als Vertreter des CPM-Ansatzes beschriebenen Modelle AMOS und ALBATROSS wenden ebenfalls Mikrosimulation an. Diese Modelle hätten also auch unter dem Titel dieses Kapitels beschrieben werden können. Weil bei ihnen aber sehr intensiv auch heuristische Regeln zur Anwendung gelangen, haben wir sie den CPM-Ansätzen zugeordnet.

Als Beispiel eines modernen aktivitäten-orientierten Mikrosimulationsmodelles wird im folgenden das von Bradley *et al.* (2000) für San Francisco entwickelte Verkehrsmodell (die Autoren nennen es schlicht "SF Modell") beschrieben. Als Basis benutzt das Modell synthetisch erzeugte Bevölkerungsdaten anstelle der sonst üblichen aggregierten Zonendaten. In seiner gegenwärtigen Version besteht das Modell aus 8 Hauptkomponenten, deren Zusammenwirken in der Abbildung 8 dargestellt ist. Das SF-Modell ist eine Weiterentwicklung des im Kapitel 4.3.2 beschriebenen Ansatzes von Bowman und Ben-Akiva (1999). Es zeichnet sich durch die folgenden Haupteigenschaften aus:

- Basisgrösse des abgebildeten Mobilitätsverhaltens sind Touren,
- die verschiedenen Touren, welche eine Person im Laufe eines ganzen Tages durchführt, werden simultan behandelt,
- jede Tour gliedert sich in verkettete Wege und
- das Verkehrsverhalten jeder Person innerhalb der Population wird mit Mikrosimulation nachgebildet.

Die synthetisch gebildete Population der Einwohner von San Francisco dient als Input für alle Modell-Komponenten (Wahl des Arbeitsplatzes, Auto-Verfügbarkeit, Touren und Wege nach Tageszeit, Ziel- und Verkehrsmittelwahl).¹

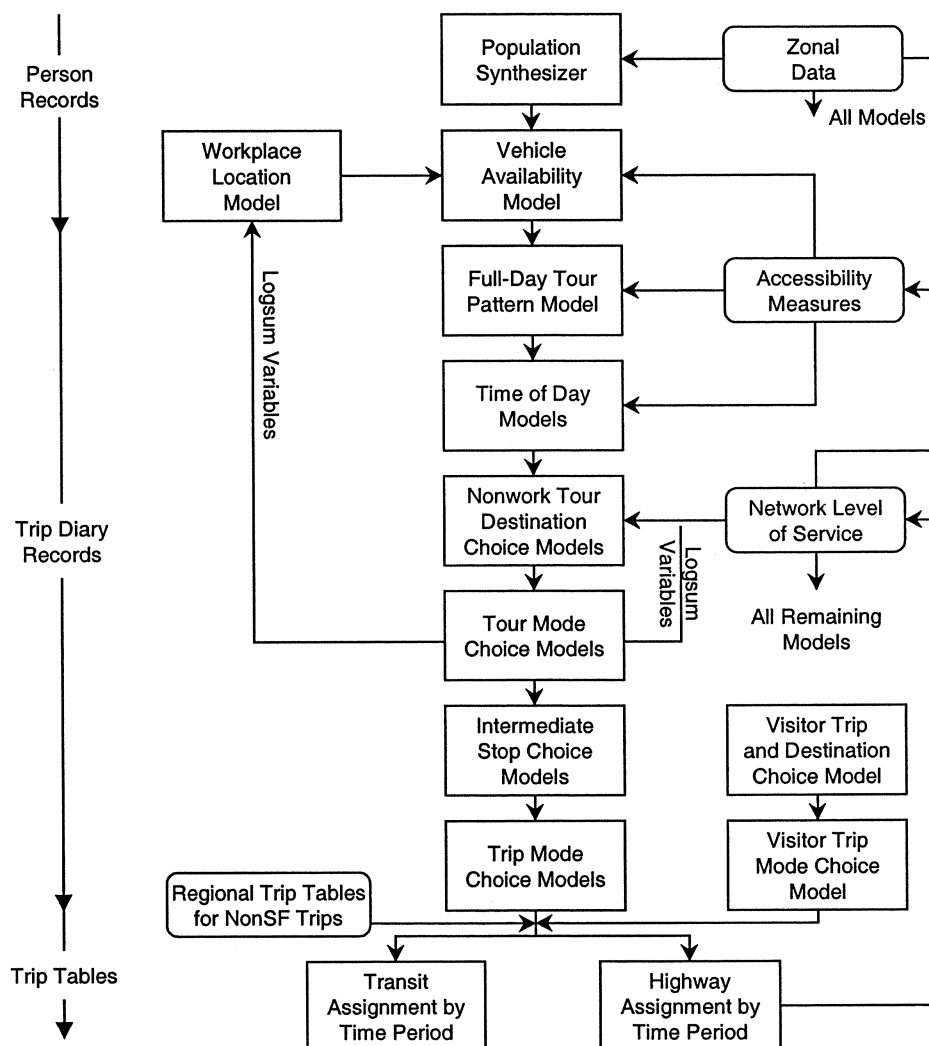


Abbildung 8: Struktur des SF-Modelles (Bradley *et al.*, 2000)

In der ersten Modell-Komponente wird für jeden Erwerbstätigen eines Haushaltes der Ort des Arbeitsplatzes mit einem Logit-Ansatz modelliert. Dabei wird mit der im Verkehrsmittelwahl-Modell ermittelten *logsum*-Variablen ein Mass für die Erreichbarkeit

¹ Für den Ziel-/Quellverkehr von San Francisco (Touristen, Berufsverkehr usw.) wurde ein separates Modell etabliert.

der einzelnen Standorte verwendet. Der Arbeitsort, der Wohnort und weitere Haushaltvariablen wie Haushaltgrösse und -einkommen, Erreichbarkeiten mit Auto und öV usw. dienen als Inputvariablen für einen MNL-Ansatz, mit welchem für jeden Haushalt die Wahrscheinlichkeit geschätzt wird, dass er 0, 1, 2 oder 3 und mehr Fahrzeuge besitzt.

Das *full-day pattern model* wählt, differenziert nach Personentypen (Kinder, erwerbstätige Erwachsene, Studenten, andere Erwachsene):

- Zweck der primären Tour mit Start/Ende zu Hause (Arbeiten, Ausbildung, andere, keiner)
- den Wegekettentyp der primären Tour (Anzahl von Zwischenhalten und deren zeitliche Lage in Bezug auf die primäre Aktivität)
- Anzahl der sekundären Touren mit Start/Ende zu Hause.

Als primäre Tour mit Start/Ziel zu Hause wird jene Wegekette bezeichnet, welche dem "wichtigsten" Zweck dient: Bei einem Erwerbstätigen ist immer die Tour von/zur Arbeit, bei einem Studenten jene von/zum Ausbildungsplatz die primäre Tour. Ist der Zweck einer Tour weder Arbeiten noch Ausbildung, wird jene Tour die primäre, deren Aktivität am Zielort die höchste Priorität genießt (Einkauf/persönliche Erledigungen, gefolgt von Freizeit). Alle anderen Wegekettentypen mit Start/Ziel zu Hause werden als sekundäre Touren bezeichnet. Im Modell werden 16 Typen von primären Touren mit je 0, 1 oder 2+ sekundären Touren, total also 48 Alternativen und der zusätzlichen Alternative, zu Hause zu bleiben, unterschieden. Die Wahrscheinlichkeit der Wahl einer bestimmten Alternative wird für jede Person unter Berücksichtigung ihrer sozioökonomischen Eigenschaften und der für sie nicht in Frage kommenden Alternativen (Erwerbstätige machen i.d.R. keine Touren von/zur Ausbildung) mit einem Logit-Ansatz berechnet.

Im nächsten Modellschritt werden für die primäre Tour in Abhängigkeit vom im vorangegangenen Schritt ermittelten *full-day pattern* die Zeitperiode¹ für die Abfahrt von zu Hause und jene für die Abfahrt am primären Zielort für die Rückkehr nach Hause vorausgesagt. Auch für diesen Modellschritt gelangt ein Logit-Ansatz zur Anwendung.

Die Modellierung der Ziel- und der Verkehrsmittelwahl erfolgt sowohl für jede Tour als auch, in Abhängigkeit des Tour-Typs, für die Wege von/zu den Zwischenhalten. Für jeden Tour-Zweck wird ein separates Zielwahl-Modell mit einem MNL-Ansatz geschätzt. Für die Verkehrsmittelwahl gelangen wegen Ähnlichkeiten zwischen den zur Auswahl stehenden Verkehrsmitteln geschachtelte Logit-Modelle zum Einsatz. Die beiden Modelle sind in einer geschachtelten Modellstruktur durch die *utility-logsum* des Verkehrsmittelwahl-Modelles miteinander verbunden.

Gerade im Zusammenhang mit der Ziel- und Verkehrsmittelwahl bietet die Mikrosimulation gegenüber den üblichen disaggregierten Ansätzen wesentliche Vorteile. Letztere basieren für die Parameterschätzung auf disaggregierten Daten, die Modellanwendung erfordert jedoch eine Aggregation auf Zonenbasis. Demgegenüber erfolgt die Mikrosimulation durchgehend auf disaggregierter Basis. Dies erlaubt die Berücksichtigung einer grösseren Vielzahl sozioökonomischer Variablen.

¹ Morgens früh, Morgenspitze, Zwischenzeit, Abendspitze oder abends spät

Mit dem SF-Modell haben dessen Autoren, nach deren eigenen Worten, gezeigt, dass die Mikrosimulation und der aktivitäten-orientierte Touren-Ansatz nicht nur im akademischen Umfeld, sondern auch in der Praxis anwendbar sind.

Im Zusammenhang mit Mikrosimulations-Modellen darf das Verkehrsanalyse und -simulations-System TRANSIMS, welches in den USA am Los Alamos National Laboratory entwickelt wurde, nicht unerwähnt bleiben. Dieses umfassende und komplexe Modellsystem beruht praktisch vollständig auf der Simulationstechnik. Ganz kurz zusammengefasst besteht es aus den folgenden 4 vernetzten Modulen (Arentze und Timmermans, 2000):

- Synthetische Erzeugung der Population
- Aktivitätenplanung
- Routen- und Verkehrsmittelwahl
- Mikrosimulation

Das Aktivitätenplanungs-Modul entspricht in seiner heutigen Form weitgehend dem Modell von Bowman und Ben-Akiva (siehe oben).

4.4 FAZIT

So einfach uns die täglichen Entscheide bezüglich der Aktivitäten- und Verkehrsteilnahme in der Regel erscheinen mögen, so schwierig ist es, diese Entscheide modellmässig nachzubilden. Nach rund 25-jähriger Arbeit – welche sich in den letzten Jahren stark intensiviert hat – durch eine Vielzahl von Forschungsteams sind heute erste in der Praxis anwendbare Modellansätze (z.B. das SF-Modell oder ALBATROSS) erkennbar. Im Vergleich zu den bisher verwendeten Modellen sind diese Ansätze deutlich komplizierter und datenintensiver; aber auch sie beruhen noch immer auf stark vereinfachenden Annahmen bezüglich des hochkomplexen menschlichen Verhaltens. Aufgrund der umfangreichen Forschungsergebnisse scheint der Ansatz der aktivitäten-orientierten Personenverkehrsmodelle zukunftsweisend und geeignet, die bisherigen Verkehrsmodelle mit ihren bekannten Schwächen abzulösen resp. zu ergänzen. Der Forschungsbedarf ist aber weiterhin gross und der Weg bis zum Vorliegen von Software-Paketen, wie wir sie von den bisherigen Verkehrsmodellen her kennen, dürfte noch lang sein.

5 FORSCHUNGSBEDARF

5.1 BEDEUTUNG DER AKTIVITÄTEN-ORIENTIERTEN MODELLANSÄTZE FÜR DIE SCHWEIZ

Die heute in der Schweiz eingesetzten Verkehrsmodelle leisten als Analyse und Prognosewerkzeuge wertvolle Dienste, auf welche die Verkehrsplanung nicht verzichten kann. Wie im Kapitel 3 beschrieben, weisen sie ihre Grenzen und Unzulänglichkeiten auf, deren sich der Anwender, aber auch der Auftraggeber von Modellrechnungen, bewusst sein muss. Die erkannten Probleme der herkömmlichen Modelle haben Anlass gegeben zu den nun seit mehr als 20 Jahren laufenden Arbeiten an aktivitäten-orientierten Ansätzen. Diese Arbeiten haben einerseits das Ziel, für die Behandlung der heute anstehenden Verkehrsprobleme besser geeignete Modelle zu entwickeln, andererseits aber, und vielleicht in erster Linie, das dem Verkehrsgeschehen zu Grunde liegende Verhalten der Verkehrsteilnehmer in seiner Komplexität besser verstehen und erklären zu können, unabhängig davon, ob dies zu verbesserten Verkehrsmodellen führt oder nicht (McNally, 2000). Beide Ziele sind für die Schweiz von grosser Bedeutung.

Die "kognitive Landkarte", welche den Prozess der Zeit- und Wegeplanung beeinflusst (vgl. Kapitel 4.3.3), wird durch regionale Besonderheiten wie Mentalitäten, Gewohnheiten, Gesetze, Reglemente, räumliche Strukturen usw. geprägt. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Verhaltensmuster der Verkehrsteilnehmer in der Schweiz von jenen der Verkehrsteilnehmer in anderen Teilen der Welt unterscheiden, ja dass es sogar regionale Unterschiede innerhalb der Schweiz gibt. Die im Ausland gewonnenen Forschungsergebnisse können daher nicht eins zu eins auf schweizerische Verhältnisse übertragen werden und es besteht ein grosser Bedarf, Licht in die Verhaltensmuster der Schweizerinnen und Schweizer beim Prozess der Zeit- und Wegeplanung zu bringen. Ein vertieftes Verständnis des Verkehrsverhaltens in der Schweiz fördert einen problembewussten Einsatz herkömmlicher Verkehrsmodelle und eine bessere Interpretation von deren Ergebnissen. Dieses Verständnis, welches nicht von heute auf morgen gewonnen werden kann, ist aber auch wichtig im Hinblick auf die in naher Zukunft zu erwartende Praxisreife von aktivitäten-orientierten Verkehrsmodellen.

Die Notwendigkeit, aktivitäten-orientierte Verkehrsmodelle in der Schweiz so rasch als möglich einzusetzen, ist offensichtlich. Auch in der Schweiz werden – wie eine Umfrage bei Experten gezeigt hat (Widmer und Peters, 2000) – Fragen der Verkehrslenkung (UVEK, 1999), des Verkehrssystem-Managements, der Verkehrsgebühren (Road Pricing, Parkiergebühren) usw. an Bedeutung gewinnen; Fragen, für deren Behandlung die herkömmlichen Verkehrsmodelle schlecht geeignet sind. Bis aktivitäten-orientierte Verkehrsmodelle aber produktiv eingesetzt werden können, bedarf es noch grosser Forschungsanstrengungen, auch in der Schweiz.

5.2 FORSCHUNGSTHEMEN

Das durchgeführte Literaturstudium zeigt, dass vor allem bezüglich des Zeit- und Wegeplanungs-Prozesses grosse Wissenslücken bestehen. Wir wissen z.B. noch sehr wenig darüber,

- wie die Leute ihre Aktivitäten planen (lang-/mittel-/kurzfristig, bewusst/unbewusst, systematisch/spontan usw.)
- in welchem Ausmass Aktivitäten überhaupt geplant werden
- welche Randbedingungen (z.B. soziale Kontexte) und endogenen Variablen die Zeitnutzung beeinflussen
- in welcher Weise Randbedingungen und endogene Variablen die Zeitnutzung beeinflussen

Um diese Fragen im Rahmen der Forschung angehen zu können, müssen vorerst geeignete Datengrundlagen erhoben und anschliessend analysiert werden. Dazu gehören:

- Daten zur Zeitnutzung
 - Zeitbudget-Daten (Zeitaufwand für in- und aushäusige Aktivitäten in Abhängigkeit der individuellen Rahmenbedingungen)
 - Mehrtages-Aktivitätentagebücher, Erhebungsmethodik und klären der Frage nach der optimalen Dauer von Aktivitätentagebuch-Erhebungen
- Daten zur Entwicklung der Zeitnutzung im Laufe der Zeit (Panels)
 - Daten zur Entwicklung von langfristigen Bindungen im Haushalt und im übrigen sozialen Netz
 - Reaktionen auf strukturelle Umbrüche
 - Bildung von Routinen und Gewohnheiten
 - Veränderungen von Werten und Haltungen
 - Lerngeschwindigkeit
- Rolle und Bedeutung von zeitlichen, räumlichen, inter-personellen und persönlichen Randbedingungen für die Zeit- und Wegeplanung von Individuen und Haushalten
- Daten zum Zeit- und Wegeplanungs-Prozess
 - Messmethoden zur Erfassung des Zeit- und Wegeplanungs-Prozesses
 - Mehrtägige Protokolle (Tagebücher) der Zeit- und Wegeplanung
 - Experimente zur Zeit- und Wegeplanung

Zur Abbildung des Zeit- und Wegeplanungs-Prozesses bestehen, wie oben beschrieben, verschiedene Modellansätze. Diese müssen für die schweizerischen Verhältnisse adaptiert und weiterentwickelt werden. Dabei sollten insbesondere die Modellvorstellungen bezüglich der "kognitiven Landkarte" vertieft werden, weil vermutet werden kann, dass diese das Verhalten bei der Wahl der verschiedenen mobilitätsrelevanten Alternativen massgeblich beeinflusst:

- Modelle zur Entwicklung und Bedeutung kognitiver Landkarten
- Modelle zur Wahl von
 - Wohnung und Arbeitsplatz
 - Anzahl und Art von Fahrzeugen, über welche ein Haushalt verfügt
 - Aktivitätenketten
 - Zielort und Verkehrsmittel
 - Abfahrtszeiten
 - Routen
- Synthetische Erzeugung von Populationen

Arbeiten zu diesen Forschungsthemen sollen die in der SVI zusammengeschlossenen Verkehrsplaner mit den Denkmodellen aktivitäten-orientierter Ansätze vertraut machen und den Weg für eine rasche Einführung solcher Modelle, sind sie denn einmal verfügbar, bereiten. Wertvoll wäre es in dieser Hinsicht auch, ein dem Stand der Technik entsprechendes Modell, z.B. das SF-Modell, im Sinne eines Entwicklungs- und Demonstrationsprojektes an einem Fallbeispiel in der Schweiz praktisch einzusetzen.

Simulationsansätze werden im Moment für viele Fragestellungen bevorzugt. Die vorhandenen Erfahrungen sollten ausgewertet und solche Modelle auch an Schweizer Verhältnisse angepasst werden. Dabei liessen sich verschiedene Ergebnisse aus den oben vorgeschlagenen übrigen Forschungsarbeiten anwenden. Neben der Modellentwicklung sollten exemplarische Anwendungen durchgeführt werden, um die Grenzen und Möglichkeiten solcher Ansätze, im Vergleich zu aggregierten Ansätzen, aufzuzeigen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Arentze T. und Timmermans H. (2000) ALBATROSS, A Learning Based Transportation Oriented Simulation System. EIRASS, TU Eindhoven
- Arentze T., Hofman F., Kalfs N. und Timmermans H. (1999) SYLVIA: A System for the Logical Verification and Inference of Activity-Diaries, Vortrag bei 78th TRB Annual Meeting, Washington.
- Axhausen K. W. (1990) A Simultaneous Simulation of Activity Chains and Traffic Flow, in Jones P. (Hrsg.) *New developments in dynamic and activity based approaches*, Gower, Aldershot, 206-225
- Axhausen K.W., Zimmermann A., Schönfelder S., Rindsfuser G. und Haupt T. (2000) Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **25**, IVT, ETH, Zürich
- Axhausen K. W. und Gärling T. (1992) Activity-based approaches to travel analysis: Conceptual frameworks, models, and research problems, *Transport Reviews*, **12** 323-341
- Axhausen K. W. und Herz R. (1989) Simulating activity chains: German approach, *Journal of Transportation Engineering*, **115** 316-325
- Ben-Akiva M. E. und Bowman J. L. (1999) Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules
- Bhat C. R. (1996a) A hazard-based duration model of shopping activity with nonparametric baseline specification and nonparametric control for unobserved heterogeneity *Transportation Research*, **30B** 189-207
- Bhat C. R. (1996b) A generalized multiple durations proportional hazard model with an application to activity behavior during the evening work-to-home commute, *Transportation Research*, **30B** 465-480
- Bhat C. R. (1998) A model of post home-arrival activity participation behavior, *Transportation Research*, **32B** 387 - 400
- Bhat C. R., Carini J. P. und Misra R. (1999a) Modeling the generation and organization of household activity stops, *Transportation Research Record*, **1676** 153-161
- Bhat C. R. (1999b) A comprehensive and operational analysis framework for generating the daily activity-travel pattern of workers, Vortrag bei *TMIP conference*, June 2-5, 1996
- Bhat C. R. und Singh S. K. (2000) A comprehensive daily activity-travel generation model system for workers, *Transportation Research*, **34A** 1-22
- Bhat C.R. und Koppelman F.S. (2000) Activity-Based Travel Demand Analysis: History, Results and future Directions, Vortrag bei 79th TRB Annual Meeting, Washington
- Bowman J. L. und Ben-Akiva M. E. (1996) Activity-based travel forecasting, Vortrag bei *TMIP conference*, June 2-5, 1996
- Bowman J. L. und Ben-Akiva M. E. (1999) The day activity schedule approach to travel demand analysis, Vortrag bei 78th TRB Annual Meeting, Washington
- Bradley M., Outwater M. L., Jonnalagadda N. und Ruitter E. (2000) Estimation of an Activity-Based Microsimulation Model for San Francisco (Entwurf)
- Doherty S.T. und Miller E.J. (2000) Tracing the household activity scheduling process using one-week computer based survey, Vortrag bei 8th IATBR-Meeting, Austin, Texas, Sept. 1997

- Ettema D., Borgers A und Timmermans H.J.P (1993) Simulation model of activity scheduling behavior, *Transportation Research Record*, **1413** 1-11
- Ettema D., Borgers A und Timmermans H.J.P (1995) Competing risk hazard model of activity choice, timing, sequencing, and duration, *Transportation Research Record*, **1493** 101-109
- Ettema D., Daly A., de Jong G und Kroes E. (1997) Towards an applied activity based travel demand model, Vortrag bei *8th IATBR-Meeting*, Austin, Texas, Sept. 1997
- Fellendorf M., Haupt T., Heidl U. und Scherr W. (1997) PTV VISION: Activity based demand forecasting in daily practice. In Ettema D.F. und Timmermans H.J.P. (Hrsg.): *Activity based approaches to activity analysis*, Pergamon Press, Oxford, 55-72
- Fujii S., Kitamura R. und Kishizawa K. (1999) Analysis of individuals' joint-activity engagement using a model system of activity-travel behavior an time use, *Transportation Research Record*, **1676** 11-19
- Fujii S. und Kitamura R. (1995) Analysis of personal action space using a model system with multiple choice structures. In Hensher D., King J. und Oum T. (Hrsg.) *Proceedings of the 7th WCTR*, 1165-179, Pergamon
- Fujii S. und Kitamura R. (2000) Evaluation of trip-inducing effects of new freeways using a structural equations model system of commuters' time use and travel, *Transportation Research*, **34B** 339-35
- Gangrade S., K. Kasturirangan und R.M. Pendyala (2000) Coast-to-Coast Comparison of Time Use and Activity Patterns, *Transportation Research Record*, **1718** 34-42
- Gärling T. (2000) The feasible infeasibility of activity/travel scheduling, Vortrags-Entwurf für *80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*
- Gärling T., Gärling A. und Johansson A (2000) Household choices of car-use reduction, *Transportation Research*, **34A** 309-320
- Gärling T. *et al.* (1998) Computer simulation of household activity scheduling, *Environment and Planning A*, **30** 665-679
- Gärling T., Kwan M-P und Golledge. R.G (1994) Computational-Process modeling of household activity scheduling, *Transportation Research*, **28B**, 355-364
- Goldin S. E. und Hayes-Roth B. (1980) Individual differences in planning processes, *Rand Corporation*, Juni 1980
- Golob T.F. (2000) A simultaneous model of household activity participation and trip chain generation, *Transportation Research*, **34B** 355-376
- Golob T.F. und McNally M.G. (1997) A model of activity participation and travel interactions between household heads, *Transportation Research*, **31B** 177-194
- Goulias K.G. (1999) Longitudinal analysis of activity and travel pattern dynamics using generalized mixed Markov latent class models, *Transportation Research*, **33B** 535-557
- Greaves S.P. und Stopher P.R (2000) Creating a synthetic household travel and activity survey: Rationale and feasibility analysis, *Transportation Research Record*, **1706** 82-91
- Hägerstrand T. (1970) What about people in regional sciences? *Papers of the Regional Science Association*, **10** 37-52
- Jones P.M. (1979) 'HATS': a technique for investigating household decisions, *Environment and Planning A*, **11** 59-70

- Jones P.M. (1980) Experience with household activity-travel simulator (HATS), *Transportation Research Record*, **765** 6-12
- Jones P.M., Dix M.C., Clarke M.I. und Heggie I.G. (1983) Understanding travel behavior, Gower, Aldershot
- Jonnalagadda N., Freedman J., Davidson W. und Hunt J.D. (2000) Development of a Microsimulation Activity-Based Model for San Francisco – Destination and Mode Choice Models (Entwurf)
- Kitamura R. (1996) Applications of models of activity behavior for activity based demand forecasting, Vortrag bei *TMIP conference*, June 2-5, 1996
- Kitamura R., Chen C. und Pendyala R. M. (1997) Generation of synthetic daily activity-travel patterns, *Transportation Research Record*, **1607** 155-162
- König A., Schlich R. und Axhausen K.W. (2000) Deskriptive Darstellung der Befragungsergebnisse des Projektes Mobidrive, *Arbeitsberichte Verkehr und Raumplanung*, **37**, IVT, ETH, Zürich
- Kurani K. S. und Lee-Gosselin M.E.H. (1996) Synthesis of past activity analysis applications, Vortrag bei *TMIP conference*, June 2-5, 1996
- Lawson C. T. (1999) Household travel/activity decisions: Who wants to travel? Vortrag bei *78th TRB Annual Meeting*, Washington
- Lawton K. T. (1996) Activity and time use data for activity-based forecasting, Vortrag bei *TMIP conference*, June 2-5, 1996
- Lee M.S., Doherty S.T., Sabetiashraf R. und McNally M.G. (2000) iCHASE: An internet Computerized Household Activity Scheduling Elicitor Survey, Vortrag bei *79th TRB Annual Meeting*, Washington
- Lu X. und Pas E. I. (1999) Socio-demographics, activity participation and travel behavior, *Transportation Research*, **33A** 1 - 18
- Ma J. und Goulias K. G. (1999) Application of Poisson regression models to activity frequency analysis and prediction, *Transportation Research Record*, **1676** 86-94
- Mannering F., E. Murakami und Kim S.-G. (1994) Temporal stability of travelers' activity choice and home-stay duration: Some empirical evidence, *Transportation*, **21** 371-392
- McNally M. G. (2000) The Activity-Based Approach. In Hensher D. A. und Button K. J. (Hrsg.) *Handbook of Transport Modelling*, Pergamon, Oxford, 53-69
- Miller E.J. (1996) Microsimulation and activity-based forecasting, Vortrag bei *TMIP conference*, June 2-5, 1996
- Misra R. (1999) Time-quantum hurdle model for activity type and duration of nonworkers, *Transportation Research Record*, **1676** 103-108
- Pas E.I. (1996) Recent advances in activity-based travel demand modeling. Vortrag bei *TMIP conference*, June 2-5, 1996
- RDC, Inc. (1995) Activity-based modeling system for travel demand forecasting. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington D.C.
- Recker W.W., McNally M.G. und Root G.S. (1986a) A model of complex travel behavior: Part I – Theoretical development, *Transportation Research*, **20A** 307-318
- Recker W.W., McNally M.G. und Root G.S. (1986b) A model of complex travel behavior: Part II – An operational Model, *Transportation Research*, **20A** 319-330
- Ruiter E.R. und Ben-Akiva M.E. (1978) Disaggregate travel demand models for the San Francisco bay area, *Transportation Research Record*, **673** 128-133

- Schlich, R., A. König und Axhausen K.W. (2000) Stabilität und Variabilität im Verkehrsverhalten, Aufsatz für Strassenverkehrstechnik, *Arbeitsberichte Verkehr und Raumplanung*, **39**, IVT, ETH, Zürich
- Schönfelder S. und Axhausen K.W. (2000) Modeling the rhythms of travel using survival analysis, Vortragsvorschlag für *80th TRB Annual Meeting*, Washington
- Shiftan Y. und Ruiter E. (1996) A practical approach to estimate trip chaining, Vortrag bei *75th TRB Annual Meeting*, Washington
- Sicko B. und Mahmassani H. (1996) Summary of Workshop three: Microsimulation in activity analysis, *TMIP conference*, June 2-5, 1996
- Stopher P.R. und Metcalf H.M. (1999) Household activities, life cycle, and role allocation tests on data sets from Boston and Salt Lake City, *Transportation Research Record*, **1676** 95-102
- UVEK (1999) Strassenverkehrs-Telematik (SVT-CH2010), Leitbild für die Schweiz im Jahr 2010, Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
- Veldhuisen J., Timmermans H. und Kapoen L. (2000) Microsimulation model of activity-travel patterns and traffic flows: Specification, validation tests, and Monte Carlo Error, *Transportation Research Record*, **1706** 126-135
- Wang D., Borgers A., Oppewal H. und Timmermans H. (2000) A stated choice approach to developing multi-faceted models of activity behavior, *Transportation Research*, **34A** 625-643
- Wang D. und Timmermans H. (2000) Conjoint-Based Model of Activity Engagement, Timing, Scheduling, and Stop Pattern Formation, *Transportation Research Record*, **1718** 10-17
- Weiner E. und Ducca F. (1996) Upgrading travel demand forecasting capabilities, *TR News*, **186**, 2-39
- Wen C-H. und Koppelman F.S. (1999) Integrated model system of stop generation and tour formation for analysis of activity and travel patterns, *Transportation Research Record*, **1676** 136-144
- Wets G., Vanhoof K., Arentze T. und Timermans H. (2000) Identifying decision structures underlying activity patterns: an exploration of data mining algorithms, Vortrag bei *79th TRB Annual Meeting*, Washington
- Widmer P. (1999) Aktualisierung der Modal Split-Ansätze für Personenverkehrs-Modelle, *SVI Forschungsauftrag 43/97*, SVI, Zürich
- Widmer P. und Peters M. (2000) Delphi-Umfrage "Zukunft des Verkehrs in der Schweiz", *SVI Forschungsauftrag 45/97*, GVF-Auftrag Nr. **321**, SVI Zürich

Forschungsberichte auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)
Rapports de recherche sur proposition de l'Association suisse des ingénieurs en transports

(erschienen im Rahmen der Forschungsreihe des UVEK / parus dans le cadre des recherches du DETEC)

- 1980 **Velo- und Mofaverkehr in den Städten**
(R. Müller)
- 1980 **Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage**
(Seiler Niederhauser Zuberbühler)
- 1981 **Güternahverkehr, Gesetzmässigkeiten**
(E. Stadtmann)
- 1981 **Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr**
(Prof. H. Brändli)
- 1982 **Entwicklung des schweizerischen Strassenverkehrs ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1983 **Lichtsignalanlagen mit oder ohne Uebergangssignal Rot-Gelb**
(Weber Angehrn Meyer)
- 1983 **Güternahverkehr, Verteilungsmodelle**
(Emch + Berger AG)
- 1983 **Parkraumbewirtschaftung als Mittel der Verkehrslenkung ***
(Glaser + Saxer)
- 1984 **Le rôle des taxis dans les transports urbains (franz. Ausgabe)**
(Transitec)
- 1984 **Park and Ride in Schweizer Städten ***
(Balzari & Schudel AG)
- 1986 **Verträglichkeit von Fahrrad, Mofa und Fussgänger auf gemeinsamen Verkehrsflächen ***
(Weber Angehrn Meyer)
- 1987 **Verminderung der Umweltbelastungen durch verkehrsorganisatorische und -technische Massnahmen***
(Metron AG)
- 1987 **Provisorischer Behelf für die Umweltverträglichkeits-Prüfung von Verkehrsanlagen ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
- 1988 **Bestimmungsgrössen der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr ***
(Rapp AG)
- 1988 **EDV-Anwendungen im Verkehrswesen**
(IVT, ETH Zürich)
- 1988 **Forschungsvorschläge Umweltverträglichkeitsprüfung von Verkehrsanlagen**
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
- 1989 **Vereinfachte Methode zur raschen Schätzung von Verkehrsbeziehungen ***
(P. Widmer)
- 1990 **Planungsverfahren bei Ortsumfahrungen**
(Toscano-Bernardi-Frey AG)
- 1990 **Anteil der Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit vom Strassentyp**
(Abay & Meyer)
- 1991 **Busbuchten, ja oder nein?***
(Zwicker und Schmid)
- 1991 **EDV-Anwendung im Verkehrswesen, Katalog 1990**
(IVT, ETH Zürich)
- 1991 **Mofa zwischen Velo und Auto**
(Weber Angehrn Meyer)
- 1991 **Erhebung zum Güterverkehr**
(Abay & Meier, Albrecht & Partner AG, Holinger AG, RAPP AG, Sigmaplan AG)
- 1991 **Mögliche Methoden zur Erstellung einer Gesamtbewertung bei Prüfverfahren***
(Basler & Partner AG)
- 1992 **Parkierungsbeschränkungen mit Blauer Zone und Anwohnerparkkarte**
(Jud AG)
- 1992 **Einsatzkonzepte und Integrationsprobleme der Elektromobile***
(U. Schwegler)
- 1992 **UVP bei Strassenverkehrsanlagen, Anleitung zur Erstellung von UVP-Berichten***
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
erschienen auch als Mitteilungen zur UVP Nr. 7/Mai 1992 des BUWAL
- 1992 **Von Experten zu Beteiligten - Partizipation von Interessierten und Betroffenen beim Entscheiden über Verkehrsvorhaben***
(J. Dietiker)

- 1992 **Fehlerrechnung und Sensitivitätsanalyse für Fragen der Luftreinhaltung: Verkehr - Emissionen – Immissionen ***
(INFRAS)
- 1993 **Indikatoren im Fussgängerverkehr ***
(RAPP AG)1993
- 1993 **Velofahren in Fussgängerzonen***
(P. Ott)
- 1993 **Vernetztes bzw. ganzheitliches Denken bei Verkehrsvorhaben**
(Jauslin + Stebler, Rudolf Keller AG)
- 1993 **Untersuchung des Zusammenhanges von Verkehrs- und Wandermobilität**
(synergo, Jenni + Gottardi AG)
- 1993 **Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von flexiblen Nutzungen im Strassenraum**
(Sigmoidplan AG)
- 1993 **EIE et infrastructures routières, Guide pour l'établissement de rapports d'impact ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
erschieden als Mitteilungen zur UVP Nr. 7(93) / Juli 1993 des BUWAL/parus comme informations concernant l'étude de l'impact sur l'environnement EIE No. 7(93) / juillet 1993 de l'OFEFP
- 1993 **Handlungsanleitung für die Zweckmässigkeitsprüfung von Verkehrsinfrastrukturprojekten, Vorstudie**
(Jenni + Gottardi AG)
- 1994 **Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen**
(Rutishauser, Mögerle, Keller)
- 1994 **Perspektiven des Freizeitverkehrs, Teil 1: Determinanten und Entwicklungen***
(R + R Burger AG, Büro Z)
- 1995 **Verkehrsentwicklungen in Europa, Vergleich mit den schweizerischen Verkehrsperspektiven**
(Prognos AG / Rudolf Keller AG)
erschieden als GVF-Auftrag Nr. 267 des GS EVED Dienst für Gesamtverkehrsfragen / paru au SG DFTCE Service d'étude des transports No. 267
- 1996 **Einfluss von Strassenkapazitätsänderungen auf das Verkehrsgeschehen**
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1997 **Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen ***
(Jenni + Gottardi AG)
- 1997 **Verkehrsgrundlagen für Umwelt- und Verkehrsuntersuchungen**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 1998 **Entwicklungsindices des Schweizerischen Strassenverkehrs ***
(Abay + Meier)
- 1998 **Kennzahlen des Strassengüterverkehrs in Anlehnung an die Gütertransportstatistik 1993**
(Albrecht & Partner AG / Symplan Map AG)
- 1998 **Was Menschen bewegt. Motive und Fahrzwecke der Verkehrsteilnahme**
(J. Dietiker)
- 1998 **Das spezifische Verkehrspotential bei beschränktem Parkplatzangebot ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1998 **La banque de données routières STRADA-DB somme base de modèles de trafic**
(Robert-Grandpierre et Rapp SA / INSER SA / Rosenthaler & Partner AG)
- 1998 **Perspektiven des Freizeitverkehrs. Teil 2: Strategien zur Problemlösung**
(R + R Burger und Partner, Büro Z)
- 1998 **Kombinierte Unter- und Überführung für FussgängerInnen und VelofahrerInnen**
(Büro BC / Pestalozzi & Stäheli)
- 1998 **Kostenwirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen**
(INFRAS)
- 1998 **Abgrenzung zwischen Personen- und Güterverkehr**
(Prognos AG)
- 1999 **Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung**
(Abay & Meier / Ernst Basler + Partner AG)
- 1999 **Aktualisierung der Modal Split-Ansätze**
(P. Widmer)
- 1999 **Management du trafic dans les grands ensembles**
(Transportplan SA)
- 1999 **Technology Assessment im Verkehrswesen : Vorstudie**
(RAPP AG Ing. + Planer Zürich)
- 1999 **Verkehrstelematik im Management des Verkehrs in Tourismusgebieten**
(ASIT / IC Infraconsult AG)
- 1999 **“Kernfahrbahnen” Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Strassenquerschnitten**
(Metron Verkehrsplanung und Ingenieurbüro AG)
- 2000 **Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr**
(Prognos AG)

- 2000 **Dephi-Umfrage Zukunft des Verkehrs in der Schweiz**
(P. Widmer / IPSO Sozial-, Marketing- und Personalforschung)
- 2000 **Der Wert der Zeit im Güterverkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2000 **Floating Car Data in der Verkehrsplanung**
(Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG + Rosenthaler + Partner AG)
- 2001 **Aktivitäten-orientierte Personenverkehrsmodelle: Vorstudie**
(P. Widmer und K.W. Axhausen)

** vergriffen: Diese Exemplare können auf Wunsch nachkopiert werden
épuisé: Selon désir, ces rapports peuvent être copiés

Die Berichte können bezogen werden bei / Les rapports peuvent être commandés au:
SVI Sekretariat, Postfach 421, 8034 Zürich
T: 01 984 18 84, F: 01 984 25 65; E-Mail: svi@swissonline.ch