

Christian Varschen
 Peter Wagner

Mikroskopische Modellierung der Personenverkehrsnachfrage auf Basis von Zeitverwendungstagebüchern

1. Einführung

Die wachsende Verkehrsleistung und die hieraus resultierenden Verkehrsprobleme führen verstärkt zu der Frage, mit welchen Konzepten die zukünftige Nachfrage nach Verkehr erfüllt werden kann. Wichtige Werkzeuge im Rahmen von Verkehrsplanung und Verkehrsmanagement sind Verkehrsmodelle.

Eine Verkehrsmodellierung soll dabei den Verkehr abbilden. Es soll allerdings nicht nur die aktuelle Situation dargestellt werden. Vielmehr muss der Verkehr soweit analysiert werden, dass Prognosen möglich werden und potenzielle Einflussgrößen, die auf diese Entwicklung wirken, identifiziert werden können (vgl. Kutter 2003: 9). Um dieses Ziel zu erreichen, existieren verschiedene Ansätze.

In mehreren Projekten, die derzeit am Institut für Verkehrsforschung (IVF) im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in der Helmholtz-

Gemeinschaft bearbeitet werden, ist es z. B. das Ziel, Maßnahmen in Szenarien für eine nachhaltige Verkehrsentwicklung bis zum Jahr 2030 abzuschätzen. Für die Ermittlung der dafür notwendigen Verkehrsnachfrage sind makroskopische wegebasierte Modelle, die derzeit Stand der Anwendung in der Verkehrsplanungspraxis sind, nicht ausreichend. Sie bieten keine Möglichkeit Veränderungen von individuellen Tagesabläufen zuverlässig abzuschätzen (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 2005: 99). So können speziell Veränderungen im Verkehrsverhalten von Personen, der Interaktion innerhalb von Haushalten und der Veränderungen außerhalb des Verkehrssystems (z. B. Veränderungen der Ladenöffnungszeiten) in dieser Art von Modellen nicht abgebildet werden (vgl. Widmer, Axhausen 2001: 6). Des Weiteren basieren diese klassischen Ansätze zumeist auf dem so genannten Vier-Stufen-Algorithmus der Verkehrsmodellierung (vgl. Abbildung 1).

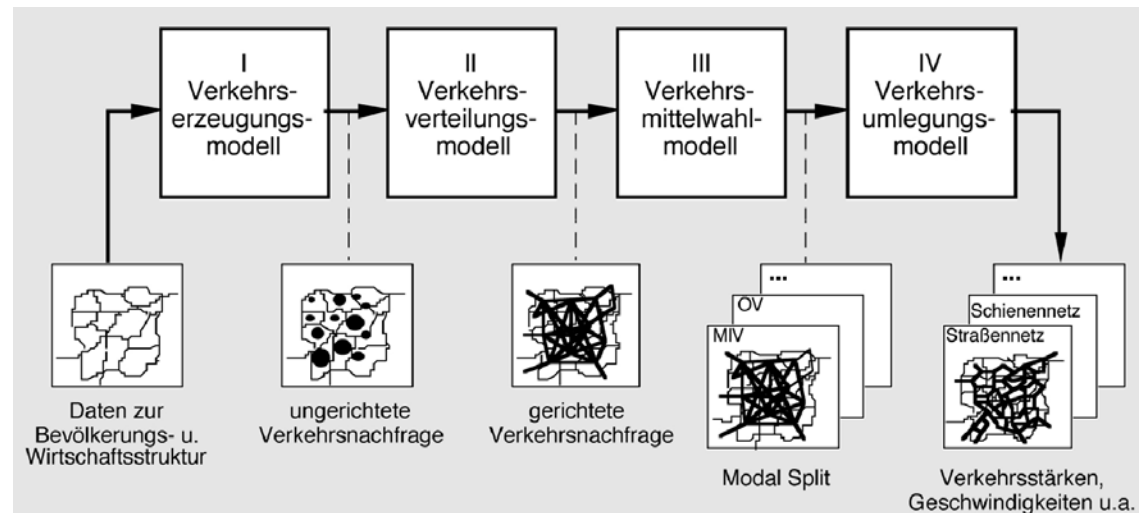


Abb. 1: Der traditionelle Vier-Stufen-Algorithmus der Verkehrsprognose (Quelle: Hilty u.a., 1987, S. 67)

Um diese Schwächen und Defizite auszugleichen, wird in den erwähnten Projekten für die kleinräumige Betrachtung ein mikroskopischer aktivitätenbasierter Ansatz verfolgt. Aktivitätenbasierte Modelle entsprechen dem aktuellen Stand der Forschung (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 2005: 100). Grundidee dieses Ansatzes ist es, dass die zeitliche Folge von Wegen das Ergebnis der Abfolge von Aktivitäten von Personen ist (Hertkorn 2004: 2). Damit stellen sich die zentralen Fragen danach, welche Aktivitäten Personen ausüben, wann, wo, wie lange und mit wem sowie welches Verkehrsmittel genutzt wird, sofern eins verwendet wird. Hinzu kommt die Planung der Aktivitäten unter Berücksichtigung der gegenwärtigen räumlichen Position sowie der räumlichen Attribute potenzieller Gelegenheiten, des aktuellen Status des Verkehrsnetzes, institutioneller Bedingungen und der Merkmale einzelner Personen und Haushalte (vgl. Arentze u. a. 1997: II-J/3).

Die aktivitätenbasierten Verkehrsnachfragemodelle lassen sich hierbei auf verschiedene Weise kategorisieren. Eine Möglichkeit ist die Differenzierung nach den Handlungsmodellen, die für die Abbildung des Entscheidungsverhaltens der Verkehrsteilnehmer verwendet werden (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 2005: 99f). Hiernach ist zu unterscheiden nach Nutzenmaximierungsmodellen, die den *homo oeconomicus* als Basis haben, und Modellen, die den Entscheidungen gewisse Heuristiken hinterlegen, um den Personen somit auch suboptimale Lösungen entsprechend ihres Informationsstandes zu ermöglichen (vgl. Timmermans 2001, 28ff.). Während bei den ersten Modellen meist ein Aktivitäten-

set aus beobachteten Sets zugewiesen wird, werden bei der zweiten Kategorie die Aktivitäten und Ortsveränderungen sequenziell zu Aktivitätenprogrammen erweitert.

Für die Projekte am DLR-IVF muss ein Modell zum einen in der Lage sein, zukünftigen Verkehr abzubilden, zum anderen muss es szenariofähig bzw. maßnahmensensitiv sein, d. h. es muss in der Lage sein, die Reaktionen auf die Maßnahmenbündel, die in den verschiedenen Szenarien zugrunde gelegt werden, abzubilden. Dafür wird das am DLR-IVF entwickelte Verkehrsnachfragemodell TAPAS (**T**Travel and **A**ctivity **P**Atterns **S**imulation) verwendet. Es ist modular aufgebaut und bildet den Verkehr in einem abgegrenzten Raum – z. B. einer Stadt oder einem Landkreis – ab. Bisher wurde es für die Stadt Köln angewendet. Eine ausführlichere Beschreibung des Modells sowie Ausführungen zum Anwendungsfall Köln sind in der Literatur zu finden (Hertkorn 2004).

Dieses Modell steht zwischen den vorgestellten Kategorien, da – wie noch zu erläutern ist – auf beobachtetes Verhalten in Bezug auf die Aktivitäten zurückgegriffen wird. Da aber z. B. der Suchraum der Personen eingeschränkt wird, wird auch hier davon ausgegangen, dass Menschen nicht vollständig informiert sind.

Neben der Prognose zum zukünftigen Verkehr werden von der Anwendung von TAPAS wertvolle Erkenntnisse für die Ansprechbarkeit bestimmter Bevölkerungsgruppen für innovative Antriebe bzw. Fahrzeuge und Kraftstoffe bzw. Mobilitätskonzepte erwartet.

2. Das Modell TAPAS

2.1 Ablauf und Datengrundlage von TAPAS

Im Folgenden soll ein Überblick über die Funktionsweise von TAPAS und die dafür benötigten Daten gegeben werden, bevor in einem zweiten Schritt ein Verfahren für das Einfügen neuer Aktivitätenkategorien vorgestellt wird.

Für dieses Modell ist es notwendig, eine Reihe von Daten einfließen zu lassen, um eine realistische Abbildung einzelner Personen zu ermöglichen. Hierzu gehören Raum- und Strukturdaten, Zeitverwendungsdaten sowie Angaben über die Verkehrsmittelnutzung. Die originär einfließenden Daten sind in der schematischen Darstellung des Modells (Abbildung 2) mit hellgrauen ovalen Kästen gekennzeichnet.

Zunächst wird im Modell eine synthetische Bevölkerung für den Untersuchungsraum generiert. Dazu wird auf der Grundlage vorhandener Bevölkerungsdaten pro Verkehrszelle bestimmt, wie viele Personen dort leben, auf wie viele Haushalte sie sich verteilen und welche soziodemographischen Merkmale sie aufweisen. Danach wird für jede Person der synthetischen Bevölkerung festgelegt, welchen Aktivitäten sie im betrachteten Zeitraum nachgeht. Dafür werden die Daten der Zeitbudgeterhebungen des Statistischen Bundesamtes verwendet (nähere Informationen Statistisches Bundesamt 2003). Hierbei handelt es sich um eine repräsentative Erhebung in Zusammenarbeit mit dem Familienministerium. Die bisherige Version des Modells arbeitete mit den Daten der Erhebung

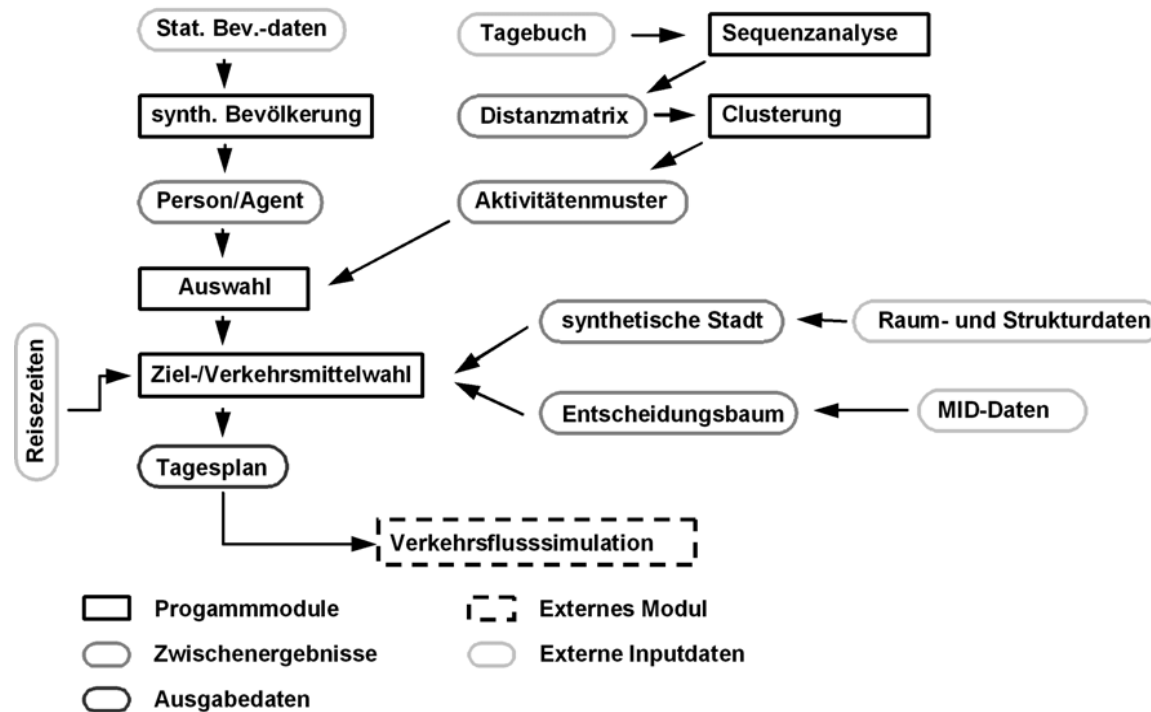


Abb. 2: Ablaufschema des Modells TAPAS (Quelle: eigene Darstellung)

von 1991/1992, an der 7.200 Haushalte teilgenommen haben. Jede Person der Haushalte hat im Fünf-Minuten-Takt notiert, welche Aktivitäten sie an zwei aufeinander folgenden Tagen ausgeführt hat. Anhand einer Kombination von Sequenz- und Clusteranalysen werden diese Daten in Gruppen ähnlicher Aktivitätenmuster eingeteilt. Über eine zusätzliche Clustering der Personen über ihre so-

ziodemographischen und sozioökonomischen Merkmale, welche in der Zeitbudgetstudie erhoben wurden, gelangt man zu einer Wahrscheinlichkeitsverteilung, mit der eine Personengruppe ein bestimmtes Aktivitätenmuster wählt. Den Agenten der synthetischen Bevölkerung werden dann entsprechend dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung konkrete Aktivitätenprogramme zugeordnet.

Seit Herbst 2005 liegen die Daten der Zweiten bundesdeutschen Zeitbudgetstudie vor, an der zwischen 2001 und 2002 12.600 Personen aus 5.400 Haushalten teilgenommen haben. Dabei kam es zu Veränderungen des Designs, die auf Vorschlag von EUROSTAT vorgenommen wurden, um einen Vergleich mit Zeitbudgetstudien anderer europäischer Länder zu ermöglichen. So wurden 1991/1992 die Aktivitäten im Fünf-Minuten-Takt erhoben, 2001/2002 hingegen im Zehn-Minuten-Takt. In der Zweiten Studie wurden von den Personen die Aktivitäten von drei Tagen protokolliert, die aber nicht mehr aufeinander folgend sein mussten. Weiterhin wurden 1991/1992 231 Aktivitätscodes vergeben, in der Studie von 2001/2002 dagegen 281. Wurden in der alten Studie v. a. Aktivitäten in Bezug auf unbezahlte Arbeit sehr detailliert unterschieden, so liegt der Schwerpunkt der neuen Studie im Bereich Weiterbildung und berufliche Qualifikation; entsprechend fein sind die Aktivitäten dort aufgeschlüsselt. Das Modul Aktivitätenketten wird daher in Bezug auf die Berechnung der Verkehrsnachfrage für das Basisjahr überarbeitet.

Nach Festlegung der Verteilung der Personen und Haushalte auf die Verkehrszellen und den im Modell zu simulierenden Aktivitätenketten, wird für jede Aktivität einer Person bestimmt, an welchem Ort sie stattfindet. Hierfür benötigt das Modell entsprechende Daten zur räumlichen Lage von potenziellen Gelegenheiten (Orte, an denen Aktivitäten nachgegangen werden kann) sowie deren Kapazität. Ergänzend wird in diesem Modul eine Reisezeitmatrix für den betrachteten Raum benötigt. Welche Gelegenheit konkret zur Ausübung einer Aktivität gewählt wird, wird im Modell in Anlehnung

an das Modell der *intervening opportunies* ermittelt, bei dem davon ausgegangen wird, dass eine bestimmte Alternative mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit abgelehnt wird. Derzeit werden die möglichen Gelegenheiten dafür entsprechend ihrer Reisezeit geordnet und anhand von Nebenbedingungen (z. B. Auslastung) mit einem Attraktivitätsgewicht belegt. Dies hat zur Folge, dass bereits an dieser Stelle potenzielle Verkehrsmittel in Betracht gezogen werden müssen. Um zu sinnvollen Tagesplänen zu gelangen, werden zusätzlich die Episoden eines Tagesablaufs hierarchisiert. Bezugspunkt und damit Episoden, die die höchste Hierarchiestufe besitzen, sind solche, die zu Hause stattfinden (vgl. Abbildung 3). Im Anschluss daran werden die Orte für Episoden der nächsten Hierarchiestufe (z. B. Arbeit) gewählt sowie die entsprechenden Verkehrsmittel um dorthin zu gelangen. Dieser Prozess wird wiederholt, solange bis der Tagesplan einer Person komplett gefüllt ist. Dieses Vorgehen hat zwei entscheidende Vorteile: Zum einen wird ein individuelles Verkehrsmittel für eine komplette Tour verwendet. Da die Zahl der PKW in der synthetischen Bevölkerung auf den Haushalt bezogen wird, wird zum anderen der Tatsache Rechnung getragen, dass mehrere Personen nicht gleichzeitig einen PKW für unterschiedliche Zwecke nutzen können.

Die Verkehrsmittel selbst werden mittels eines CHAID-Entscheidungsbaums (Chi-Squared Automatic Interaction Detection) gewählt, der auf einer Teilmenge der Daten der deutschlandweiten Erhebung „Mobilität in Deutschland 2002“ (vgl. infas, DIW 2004, infas, DIW 2003) beruht.

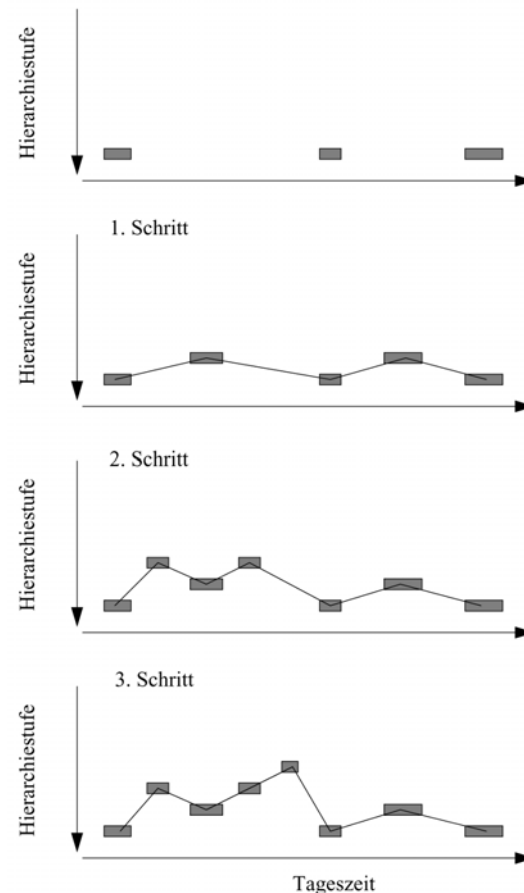


Abb. 3: Sukzessive Verkehrsmittelwahl in TAPAS (Quelle: Hertkorn, 2004, S. 89)

Nachdem die Orte und Verkehrsmittel ausgewählt wurden, werden mit Hilfe der Reisezeitmatrix die konkret benötigten Reisezeiten zugewiesen. Dies kann zu Inkonsistenzen im Tagesablauf führen. Z. B. könnte ein geplanter Theaterbesuch nach der Arbeit durch erhöhte Reisezeiten im abendlichen Berufsverkehr gefährdet werden, da der Beginn einer Veranstaltung relativ fix ist. Um eine gewisse Variabilität der Tagesabläufe hierfür zu gewährleisten, werden die Episoden eines Tagesplans gewichtet. Dieses Gewicht entspricht den Kosten für eine Verschiebung der Anfangs- und Endzeiten einer Aktivität innerhalb eines Tagesplans. Damit ist es möglich, über ein Ausgleichsverfahren Episoden und Reisezeiten einander anzupassen. Ist der Ausgleich nicht erfolgreich, werden entweder neue Ziele und Verkehrsmittel so lange gewählt, bis ein Ausgleich möglich ist, oder wenn ein Maximum der Zahl neuer Versuche erreicht ist, wird ein neues Schema verwendet.

Das Ergebnis dieses Moduls der Ziel- und Verkehrsmittelwahl sind konsistente Tagespläne der synthetischen Bevölkerung. In diesen Tagesplänen stehen somit die Quelle-Ziel-Beziehungen je Person und je Aktivität, die einen Weg verursacht. Sie bilden die Übergabegröße für eine extern auszuführende Verkehrsflusssimulation. Mit Hilfe dieser Simulation können dann entsprechende Indikatoren, wie z. B. Entfernungen oder Kantenbelastungen ermittelt werden. (RÜCKKOPPLUNG)

2.2 Erweiterung der Aktivitätenkategorien

In diesem Modell wird – wie oben beschrieben – ein aktivitäten-basierter Ansatz verwendet, welcher auf der Analyse von Zeitverwendungsdaten beruht. Daher sind die zur Verfügung stehenden Aktivitätsmuster auf die in den Zeitverwendungsdaten enthaltenen beschränkt, was für Prognosen eine starke Einschränkung darstellt.

Daher ist es nötig dieses Modul zu erweitern, um zukünftige und andere Verhaltensweisen simulieren zu können. Hierfür sind mehrere Herangehensweisen möglich.

Das Gesamtverhalten der Bevölkerung wird sich zukünftig durch die Veränderung der Bevölkerungsstruktur wandeln. Unterstellt man nun, dass in bestimmten Bevölkerungsgruppen die Zeitverwendung gleich bleibt, wäre keine Anpassung notwendig, da die einzelne Person im Modell – wie oben erwähnt – Aktivitätsmuster über eine Wahrscheinlichkeitsmatrix auswählen. Bei einer Änderung der Struktur der Bevölkerung würde eine Veränderung automatisch über diese Matrix erfolgen.

Diese Annahme für die Gesamtbevölkerung wäre jedoch unrealistisch. So wird sich mit hoher Wahrscheinlichkeit z. B. das Verkehrsverhalten älterer Menschen ändern, da die derzeit noch jüngeren Personen häufiger über einen Führerschein verfügen, als die derzeit älteren Personen. Damit wird aber auch eine stärkere Nutzung von Pkws in dieser Bevölkerungsgruppe in der Zukunft wahrscheinlicher. Es können sich aber auch ganz neue Aktivitätsmuster herausbilden, wie dies beispielsweise in den letzten Jahren aufgrund der Verfüg-

barkeit von Informations- und Kommunikationstechnologien geschehen ist: Mit der ubiquitären Einsetzbarkeit von Hard- und Software haben für einen Teil der Erwerbstätigen Aktivitäten während des Reisens deutlich an Bedeutung zugenommen.

Entsprechende Anpassungen sind nun durch zwei Wege sinnvoll. Neue Verhaltensweisen aufgrund von Verschiebungen des Umfangs und der Dauer von Aktivitäten können relativ gut abgeleitet werden. Dafür werden mittels eines Vergleichdatensatzes der Zeitbudgeterhebung 1991/1992 des Statistischen Bundesamtes Veränderungen in der Zeitverwendung in den letzten 10 Jahren analysiert und dann in die Zukunft interpoliert.

Um gänzlich neue Aktivitätsmuster abbilden zu können, ist eine zusätzliche Erweiterung notwendig. Dafür müssen die vier Parameter, die in TAPAS jede Aktivität beschreiben, geschätzt werden: Anteil und Umfang der Nutzung der (für TAPAS neuen) Aktivität sowie die zeitliche Variabilität der Aktivität hinsichtlich Anfangszeitpunkt und Dauer. Die entsprechenden Daten, die hierfür erforderlich sind, werden aus Erhebungen generiert. Beispielsweise kann die Aktivität „Nutzung des Internet“ aus eigenen Befragungen generiert werden. Diese Aktivität ist aus der Zeitbudgeterhebung nur teilweise bestimmbar. Gut dargestellt sind dort Aktivitäten in Bezug auf Qualifizierung sowie für das Einkaufen per Internet. Welchen Umfang oder Anteil die Informationsgewinnung per Internet ausmacht, kann nicht bestimmt werden, da diese dann nur in allgemein bezeichnete Aktivitäten zur Computernutzung mit eingeflossen sind. Diese müssen allerdings nicht zwingend im Internet stattfinden. Projektbezogen wurde nun eine Erhebung

zum Online-Verhalten von Personen durchgeführt, wodurch die vier Parameter bestimmt werden können. Alle Parameter lassen sich direkt aus diesen empirischen (Zeitverwendungs-) Daten berechnen, die ersten beiden Parameter sind Mittelwerte während die letzten beiden sich aus der statistischen Variation der Erhebungen ergeben. Um alle Parameter schätzen zu können, sind allerdings wirkliche Zeitverwendungsdaten notwendig, da ansonsten die zeitliche Variabilität des Anfangszeitpunktes nicht zu bestimmen wäre.

2.3 Schlussbetrachtung

Das vorgestellte Verkehrsnachfragemodell wurde entwickelt, um einen IST-Zustand abzubilden und entsprechende Maßnahmen z. B. im Infrastrukturbereich zu bewerten. Die hier erzielten Ergebnisse waren sehr zufrieden stellend im Vergleich zu anderen Simulationen und Erhebungen (Hertkorn 2004, 110ff.). Daher erscheint es generell auch geeignet, die zukünftige Verkehrsnachfrage zu berechnen. Dafür müssen jedoch alle Module von TAPAS überarbeitet und an die erwarteten Gegebenheiten im Jahr 2030 angepasst werden. Z. B. muss bei der synthetischen Bevölkerung der demographischen Alterung Rechnung getragen werden, und bei der Zuweisung von Aktivitätsketten ist die vermutete Veränderung der Zeitbudgets – wie beschrieben – in die Zukunft zu extrapolieren, bzw. es müssen neue Aktivitätskategorien hinzugefügt werden.

Die Entwicklung für den IST-Zustand orientiert sich bei diesem Modell an beobachtetem Verhalten. D. h. jedes Modul wird mit repräsentativen, aktuellen Daten hinterlegt, um ein möglichst realistisches

Abbild zu schaffen. Bei der Anpassung des Modells für die Berechnung der zukünftigen Verkehrsnachfrage wird auf Prognosen – z. B. in Bezug auf die Bevölkerungsentwicklung – zurückgegriffen. Um das Modell nun szenariofähig bzw. maßnahmensensitiv zu gestalten, ist es notwendig Parameter einzubinden, die den Einfluss von Maßnahmen auf das Verkehrsverhalten berechnen. Darstellungsmöglichkeiten bestehen beispielsweise bei den Aktivitätenmustern. Durch eine bestimmte Maßnahme findet ein Wechsel zwischen den Mustern statt, oder es bilden sich neue Aktivitätenmuster heraus. Bei der Zielwahl können ebenfalls entsprechende Modifikationen vorgenommen werden, so dass Personen, die auf Maßnahmen reagieren, indem sie andere Ziele für die Ausübung ihrer Aktivitäten wählen, abbildbar sind. Es ist auch nötig die Verkehrsmittelwahl und den Motorisierungsgrad der Haushalte darzustellen.

Die einzige Einschränkung, die dieses Modell derzeit hat, ist die kleinräumige Darstellung. Diese Begrenzung ist bei dem komplexen Modellsystem zum einen in der Rechnerleistung begründet. So wäre eine Darstellung von Deutschland mit 82 Millionen einzelnen Personen derzeit unrealistisch. Zum anderen stellen die Datenanforderungen des Modells eine Grenze des Machbaren dar. Um eine sinnvolle mikroskopische Modellierung zu gewährleisten, wären sehr kleinräumige Bevölkerungs- und Strukturdaten notwendig, wobei vor allem die Strukturdaten ein Problem darstellen.

Dennoch präzisiert die Weiterentwicklung des Modells die Abschätzung der Personenverkehrsnachfrage unter besonderer Berücksichtigung spezifischer wissenschaftlicher und politischer

Fragestellungen. Die enge Verknüpfung mit empirischen Daten erhöht zudem eine hohe Zuverlässigkeit von Prognosen.

Literatur

- Arentze, T.; Hofmann, F.; Kalfs, N.; Timmermans, H. (1997)
Data Needs, Data Collection and Data Quality Requirements of Activity-Based Transport Models. Presented at the International Conference on Transport Survey Quality and Innovation, 24-30 May 1997, Grainau, Germany. http://gulliver.trb.org/publications/circulars/ec008/workshop_j.pdf (07/2006)
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2005) [Hrsg.]
Intelligente Infrastruktur. Endbericht EMVEM - Evaluierungsmethoden verkehrstelematischer Maßnahmen Grundlagenstudie. TU Graz. http://www.isv.tugraz.at/veroeffentlichungen/arbeitspapiere/1_EMVEM_Bericht.pdf und http://www.isv.tugraz.at/veroeffentlichungen/arbeitspapiere/1_EMVEM_Anlagenband.pdf (07/2006)
- Hertkorn, G (2004)
Mikroskopische Modellierung von zeitabhängiger Verkehrsnachfrage und von Verkehrsflußmustern. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Forschungsbericht 2004-29. Köln. http://elib.dlr.de/21014/01/fb_2004-29_v2.pdf (07/2006)
- Hilty, L. M. u. a. (1998)
Instrumente für die ökologische Bewertung und Gestaltung von Verkehrs- und Logistiksystemen Abschlußbericht des Forschungsprojekts MOBILE. Universität Hamburg und FAW Ulm. <http://mobile-www.informatik.uni-hamburg.de/MOBILE/Abschlussbericht/Aufbau.html> (07/2006)
- infas, DIW (2003)
Mobilität in Deutschland 2002 – Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten. Projekt-Nr. 70.0681/2001, Forschungsprogramm Stadtverkehr des Bundesministeriums Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Endbericht.
- infas, DIW (2004)
Mobilität in Deutschland: Ergebnisbericht. Projekt-Nr. 70.0736/2003, Bundesministerium Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- Kutter, E. (2003)
Modellierung für die Verkehrsplanung. Theoretische, empirische und planungspraktische Rahmenbedingungen. ECTL Working Paper 21, Hamburg. http://www.vsl.tu-harburg.de/vsl_2/Archiv/wp/wp21.pdf (07/2006)
- Statistisches Bundesamt (2003)
Zeitbudgeterhebung. Statistik von A bis Z. <http://www.destatis.de/presse/deutsch/abisz/zeitbudgeterhebung.htm>
- Timmermans, H.J.P. (2001)
Principles of Household Activity Scheduling Behavior. In: Kutter, E., Timmermans, H.J.P., Jones, P.M. (Hrsg.): Expertisen für das Projekt Mobiplan, Arbeitspapier Forschung F11, Institut für Stadtbauwesen, RWTH Aachen. http://www.isb.rwth-aachen.de/publikationen/F11-Expertisen_Mobiplan.pdf (07/2006)
- Widmer P.; Axhausen, K.W., (2001)
Aktivitäten-orientierte Personenverkehrsmodelle (Vorstudie). Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, 70, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich. <https://www.ivt.ethz.ch/vpl/publications/reports/index/edit/ab70.pdf> (07/2006)

Christian Varschen, M.A.

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt in der
Helmholtz-Gemeinschaft (DLR)
Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin
Christian.Varschen@dlr.de

Dr. Peter Wagner

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt in der
Helmholtz-Gemeinschaft (DLR)
Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin
Peter.Wagner@dlr.de

