

Maßnahmensensitive Nachfragemodellierung in mikroskopischen Personenverkehrsmodellen

Rita Cyganski, Andreas Justen

1 Motivation

Im Rahmen der Bestrebungen um eine integrierte und nachhaltige Verkehrspolitik gewinnt die Prognose der zukünftig zu erwartenden Personenverkehrsnachfrage sowohl unter dem Gesichtspunkt des demographischen Wandels der Bevölkerung als auch der Möglichkeit einer Beeinflussung des individuellen Verkehrsverhaltens mittels Maßnahmen an Bedeutung.

Die Verkehrsnachfrage ist Ausdruck des menschlichen Bedürfnisses der Teilhabe an unterschiedlichen Aktivitäten des täglichen Lebens. Jeder Verkehrsteilnehmer trifft dabei vor dem Hintergrund zeitlicher Restriktionen sowie persönlicher Präferenzen und Eigenschaften Entscheidungen hinsichtlich der Orts- und Verkehrsmittelwahl. Im Ergebnis entstehen heterogene Tagespläne, die das (Verkehrs-)Verhaltensmuster Einzelner dokumentieren. Mikroskopische Nachfragemodelle mit ihrer aktors- und aktivitätenorientierten Herangehensweise scheinen in diesem Kontext besonders geeignet, um auf Basis der differenzierten Verhaltensmuster veränderte Rahmenbedingungen im Mobilitätsbereich zu untersuchen. Ziel der Modelle ist es dabei, die Auswirkungen von z.B. preislichen Maßnahmen auf die Verkehrsnachfrage modellintern abschätzen zu können.

Am Beispiel des am DLR – Institut für Verkehrsforschung (IVF) entwickelten aktivitätenbasierten Personenverkehrsnachfragemodells TAPAS (Travel Activity Patterns Simulation) stellt der nachfolgende Beitrag sowohl grundsätzliche Modellfunktionalitäten als auch konkrete Arbeiten der maßnahmensensitiven Modellierung vor. Er konzentriert sich dabei auf die folgenden Aspekte:

- die Eigenschaften der modellierten Personen (Soziodemographie/Sozioökonomie),
- die Integration der raum-zeitlichen Abfolge von Aktivitäten (Tagespläne),
- die Verkehrsmittel- und Zielwahl im Modell sowie
- die Möglichkeiten, Maßnahmensensitivitäten unter Beachtung der individuellen zeitlichen und finanziellen Budgets zu implementieren.

Nachstehende Abbildung 1 fasst die im Weiteren dargestellten Aspekte der mikroskopischen Nachfragemodellierung zusammen.

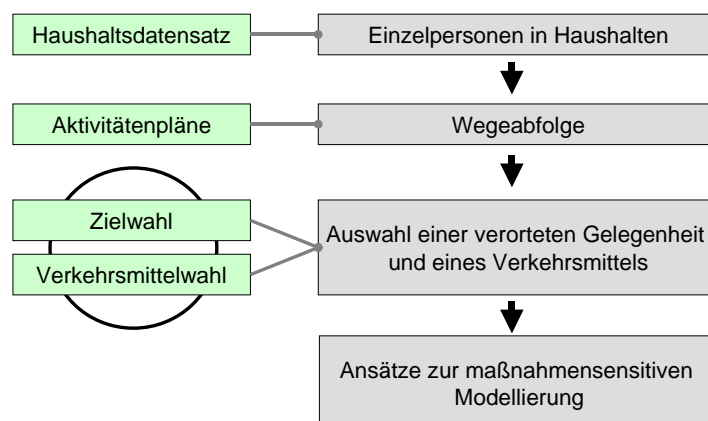


Abbildung 1: Grundlegende Elemente und Ablauf der mikroskopischen Nachfragemodellierung

2 Aufbau und Attribute der synthetischen Population

Ausgangspunkt der Simulation bildet ein nach soziodemografischen und sozioökonomischen Merkmalen stark differenzierter Bevölkerungsdatensatz zu den Einzelpersonen im jeweiligen Untersuchungsraum. Davon ausgehend, dass individuelle Mobilitätsentscheidungen durch den Haushaltskontext mitbestimmt werden, werden die Einzelpersonen zu Haushalten zusammengefasst. Der Haushaltskontext (Single, Mehrpersonenhaushalte mit und ohne Kinder) beeinflusst die Aktivitätenpläne und Wegemuster der Mitglieder eines Haushalts, z.B. dadurch, dass ein Pkw nicht von zwei Personen eines Haushalts gleichzeitig als Fahrer genutzt werden kann. Mit der Berücksichtigung des Haushaltskontextes hebt sich die Mikrosimulation von den heute in der Praxis angewandten Ansätzen der Verkehrsnachfragemodellierung ab, bei denen in der Regel auf der Basis verhaltenshomogener Gruppen die Verkehrsnachfrage ermittelt wird.

Die Erstellung einer synthetischen Haushaltspopulation für TAPAS erfolgt unter Verwendung einer Reihe unterschiedlicher Datenquellen. Zu Beginn sind die in der Regel nach Alter und Geschlecht der Einwohner unterschiedenen Datensätze um den Erwerbsstatus der Personen zu erweitern. Anschließend erfolgt die Vereinzelung der bis dahin in Altersgruppen vorliegenden Informationen. Von zentraler Bedeutung ist die Zusammenfassung der Einzelpersonen zu Haushalten, die im eigenständigen Programmmodul „Haushaltsbildung“ erfolgt. Wesentlich ist dabei, dass zum einen empirische Informationen über die Haushaltsstrukturen im Untersuchungsgebiet verwendet werden, zum anderen aber auch Annahmen getroffen werden müssen, beispielsweise zum maximalen Alter der Mutter oder zur maximalen Altersdifferenz zwischen Paaren in einem Haushalt. Im Anschluss erfolgt die Integration der für das Verkehrsverhalten wesentlichen Einflussgrößen von Einkommen und Pkw-Besitz. Den Abschluss bildet die räumliche Verteilung der Haushalte im Untersuchungsraum. Abbildung 2 fasst die genannten Schritte zusammen und benennt die verwendeten Datenquellen. Deutlich wird, dass insbesondere durch die Integration von Einkommen und daraus abgeleiteten Mobilitätsbudgets eine Erweiterung der Personenattribute im Vergleich zum Input genereller Verkehrsmodelle möglich ist. Vor dem Hintergrund der modellinternen Abbildung der Reaktionen auf Preisänderungen im Verkehrssektor ist die Ausstattung der Bevölkerung mit verkehrsspezifischen Budgets unerlässlich.

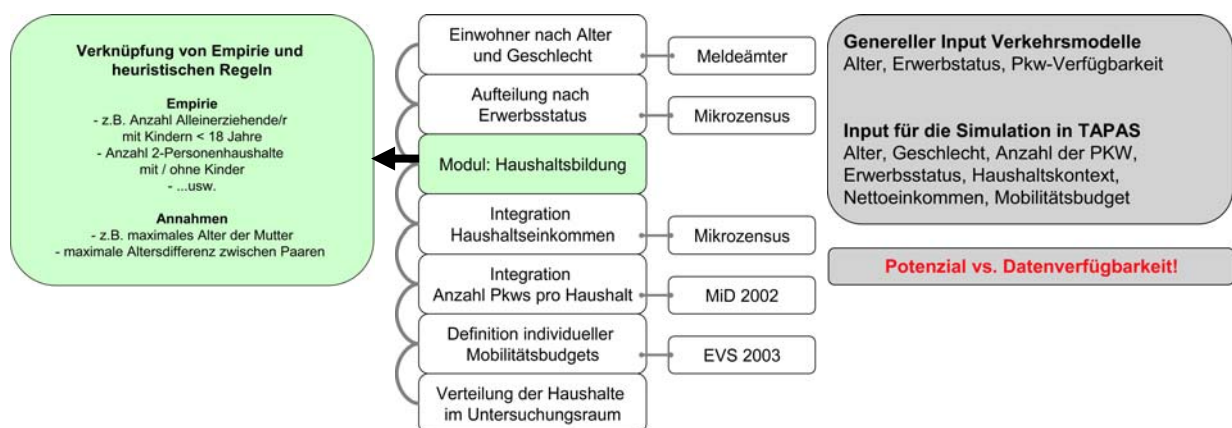


Abbildung 2: Aufbau und Attribute der synthetischen Population

3 Zuweisung von Aktivitäten und Wegeketten

Ein wesentliches Charakteristikum aktivitätenorientierter Ansätze in der Verkehrsmodellierung ist die Berücksichtigung personenbezogener Zeit- und Wegeplanung. Die Planung von Zeit und Wegen findet, wie eingangs erwähnt, unter Berücksichtigung des Haushaltskontextes statt und umfasst die Art, den Beginn, die Dauer, den Ort und die Reihenfolge von an einem

Tag durchgeführten Aktivitäten sowie die verfügbaren Verkehrsmittel zur Erreichung von Zielen (vgl. Widmer & Axhausen 2001, S. 9). Die Dauer und Reihung der Aktivitäten ist dabei keineswegs statisch, sondern von gegebenen Restriktionen (z.B. Ladenöffnungszeiten) oder spontanen Ereignissen abhängig (Stau, Verspätungen im ÖV, Wetter), die zu einer plötzlichen Anpassung und Änderung des aufgestellten Aktivitätenplans führen können.

Die Bearbeitung einer Wegekette als integrativer Bestandteil eines Tagesplans erweitert im Vergleich zu z.B. auf Einzelwegen basierenden Modellen auch an dieser Stelle die Möglichkeiten, Einflüsse auf das Verkehrsverhalten abzubilden. Insbesondere Veränderungen außerhalb des „physischen“ Verkehrssystems wie beispielsweise flexiblere Arbeitszeiten haben Auswirkungen auf die Durchführung aller weiteren Aktivitäten eines Tages und damit auch auf die Verkehrsmittel- und Zielwahl. In Erhebungen erfasste Tagebücher spiegeln also das Ergebnis einer komplexen Zeitplanung wieder, die sich unter Berücksichtigung spontaner wie eher langfristig wirkender Randbedingungen verändert.

Einen Ansatz zur Berücksichtigung der Abhängigkeit von Aktivitäten bilden wegekettensbasierte Modelle. Ein bekannter Vertreter ist dabei das Programmsystem VISEM. Auf der Basis von Informationen aus Haushaltsbefragungen werden die häufigsten Aktivitätsmuster für verhaltenshomogene Personengruppen ermittelt und entsprechend der auftretenden Häufigkeiten den Personengruppen zugewiesen. In Abgleich zu den Ansätzen der Mikrosimulation kann durch diese Herangehensweise bereits sichergestellt werden, dass nicht-austauschbare Verkehrsmittel (Pkw, Rad) über die gesamte Wegekette hinweg verwendet werden. Modellintern ist jedoch eine Anpassung des Aktivitätensets mit den impliziten Folgen für die Verkehrsmittel- und Zielwahl ausgeschlossen. Die Auswirkungen verkehrspolitischer Maßnahmen lassen sich in VISEM lediglich durch die Erhebung von in Reaktion auf die Maßnahmen veränderter Wegekettensmuster abbilden.

Für die aktivitätsorientierten Ansätze der Mikrosimulation lassen sich hinsichtlich der Benutzung von Tagesplänen und die damit verbundene, für die Simulation wesentliche Information über die raum-zeitliche Abfolge verkehrlicher Aktivitäten zwei Herangehensweisen unterscheiden:

- a) die Nutzung empirisch ermittelter Tagespläne und Wegeketten,
- b) die Erstellung synthetischer Tagespläne und Wegeketten.

Um die Auswirkungen von verkehrspolitischen Maßnahmen auf die in Tagesplänen dokumentierten Entscheidungen zu bestimmen, müssen die statischen Informationen „dynamisiert“ werden, bei gleichzeitiger Berücksichtigung von gegebenen Randbedingungen. Zu den Randbedingungen können z.B. zeitliche Restriktionen oder Abhängigkeiten des Haushaltskontextes gehören, während die Dynamik eine Neuordnung von Aktivitäten, den Wegfall oder die Integration einzelner Aktivitäten oder die Anpassung der Dauer umfassen kann. Mit der Flexibilisierung bestehender oder der Neuerstellung kompletter Tagespläne befassen sich Herangehensweisen, die zur Erstellung synthetischer Pläne und Wegeketten verwendet werden. Alle Ansätze zielen dabei auf die Bildung konkreter Wegeketten ab.

Grundsätzlich lassen sich dabei Ansätze nach dem Prinzip der Nutzenmaximierung von so genannten Computational Process Models (CPM) unterscheiden. Erstere bestimmen zunächst einige Vorgaben, wie z.B. die Art und den Ort der Hauptaktivität, und ermitteln unter Verwendung einer Nutzenfunktion eine Aktivitätenabfolge, die unter Berücksichtigung aufgestellter Prämissen (z.B. möglichst viele Aktivitäten zu erledigen, möglichst geringe Abweichungen von einer erwarteten Ankunftszeit zu erfahren) den höchsten Nutzen verspricht. Die CPM hingegen basieren auf der Berücksichtigung vielfältiger heuristischer Regeln dazu, welchen Einfluss die Wahl einer Alternative auf die Auswahl einer nachfolgenden Aktivität hat. Entsprechende Entscheidungs-Regeln werden ebenso wie vorzuziehende Randbedingungen

bei der Konstruktion der Tagespläne berücksichtigt. Z.B. könnte der Auswahl der Aktivität „Kind zur Kita bringen“ die Regel hinterlegt sein, dass es sich dabei immer um eine der primären Aktivität vorgeschaltete Aktivität handeln muss.¹

Die Bestimmung der Tagespläne und der daraus abgeleiteten Wegeketten erfolgt im Modell TAPAS unter Verwendung empirisch erhobener Informationen zur Zeitverwendung. Grundlage bilden die Zeitverwendungsmuster der Zeitbudgeterhebung des Statistischen Bundesamtes von 2001/2002. Die Befragung umfasste 5.400 Haushalte mit 12.600 Personen mit insgesamt ca. 35.000 berichteten Tagebüchern. Für die Auswahl eines Aktivitätenplans in TAPAS wird die Auswertung auf die von Dienstag bis Donnerstag berichteten „Werktagbücher“ (13.350) begrenzt. Jedes Tagebuch beinhaltet die im Zehn-Minuten-Takt berichtete Art, Dauer sowie den Zeitpunkt der im Laufe eines Tages durchgeführten Aktivitäten.² Die Kopplung der Zeitbudgetdaten an die personenbezogenen Daten der synthetischen Bevölkerung erfordert eine Aufarbeitung der berichteten Tagebücher. Diese werden zunächst mittels einer Kombination von Sequenz- und Clusteranalysen in Gruppen ähnlicher Aktivitätenmuster eingeteilt. Die Sequenzanalyse dient dazu, die Unterschiede jeweils eines Tagebuchs zu allen anderen Tagebüchern festzustellen. Die dabei ermittelten Distanzwerte sind die Basis der Clusteranalyse, die zu Kategorien ähnlicher Tagebücher führt. Mit Hilfe des Cluster-Verfahrens von Ward wurden 23 Kategorien gebildet, wobei jede Tagebuchklasse eine unterschiedlich hohe Anzahl hinterlegter Aktivitätenpläne beinhaltet.³ Nachstehende Abbildung 3 zeigt die durch die Clusteranalyse ermittelten 23 Tagebuchklassen, differenziert nach Art der Zeitverwendung.

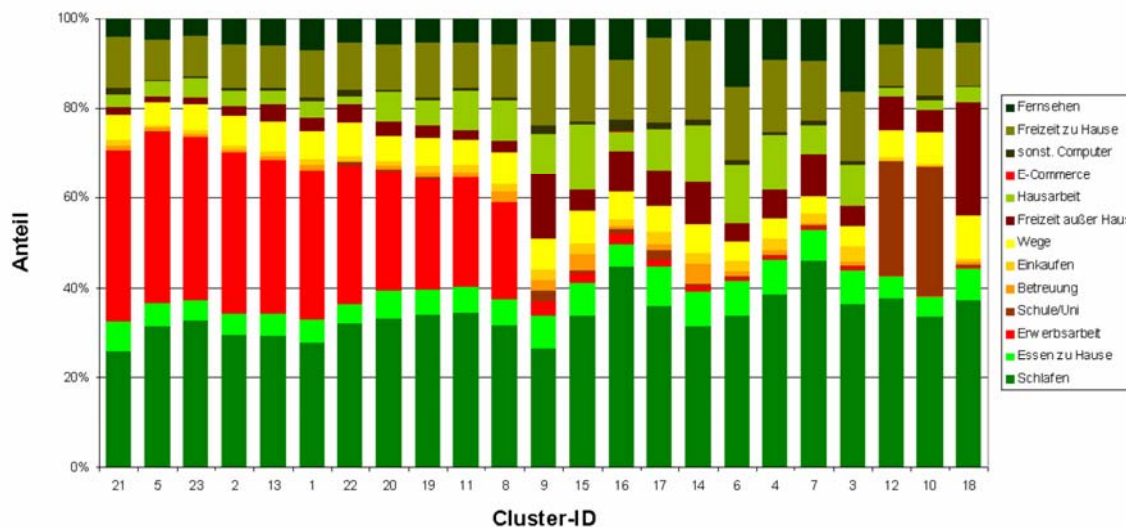


Abbildung 3: Anteil der durchschnittlichen Zeitverwendung nach Aktivitätentyp je Cluster, sortiert nach zeitlichem Anteil der Erwerbstätigkeit

Die Zuteilung eines konkreten Tagebuchs bzw. Aktivitätenplans erfolgt zweistufig. Zunächst wird die Bevölkerung in 32 Personengruppen anhand der Kriterien Alter, Geschlecht, Erwerbsstatus und Pkw-Verfügbarkeit zusammengefasst. Für jede so definierte Personengruppe unterscheiden sich die Auswahlwahrscheinlichkeiten hinsichtlich der in Abbildung 3 dargestellten Tagebuchklassen. Anhand der Wahrscheinlichkeiten wird zunächst die zu verwendende Tagebuchklasse ermittelt, anschließend erfolgt die zufallsbasierte Auswahl eines spezi-

¹ Ein aktueller Vertreter der Nutzenmaximierungsmodelle ist z.B. das Paket MATSIM, ein prominenter Vertreter des CPM-Ansatzes das Modell-System ALBATROSS.

² Im Rahmen der Zeitbudgeterhebung konnten 271 Aktivitätenarten angegeben werden. Für die Clusterung und die anschließende Verwendung im Nachfragemodell wurden die Aktivitäten zusammengefasst.

³ Die Bildung von 23 Tagebuchklassen erwies sich im Rahmen der Clusterung als sinnvoll, da mit einer abnehmenden Anzahl an Klassen die Fehlerquadratsumme innerhalb der Klassen stark anstieg.

fischen Aktivitätenplans innerhalb der Tagebuchklasse, dessen Wegeketten Eingang in die Simulation findet. Abbildung 4 weist die Auswahlwahrscheinlichkeiten einer Tagebuchgruppe in Abhängigkeit der Personenmerkmale aus. Die unterschiedlichen Auswahlwahrscheinlichkeiten in Abbildung 4 garantieren die je nach Personengruppe verstärkte Auswahl der für sie typischen Aktivitätenmuster, schließen „verwandte“ Aktivitätenmuster einer anderen Tagebuchklasse dabei jedoch nicht aus.

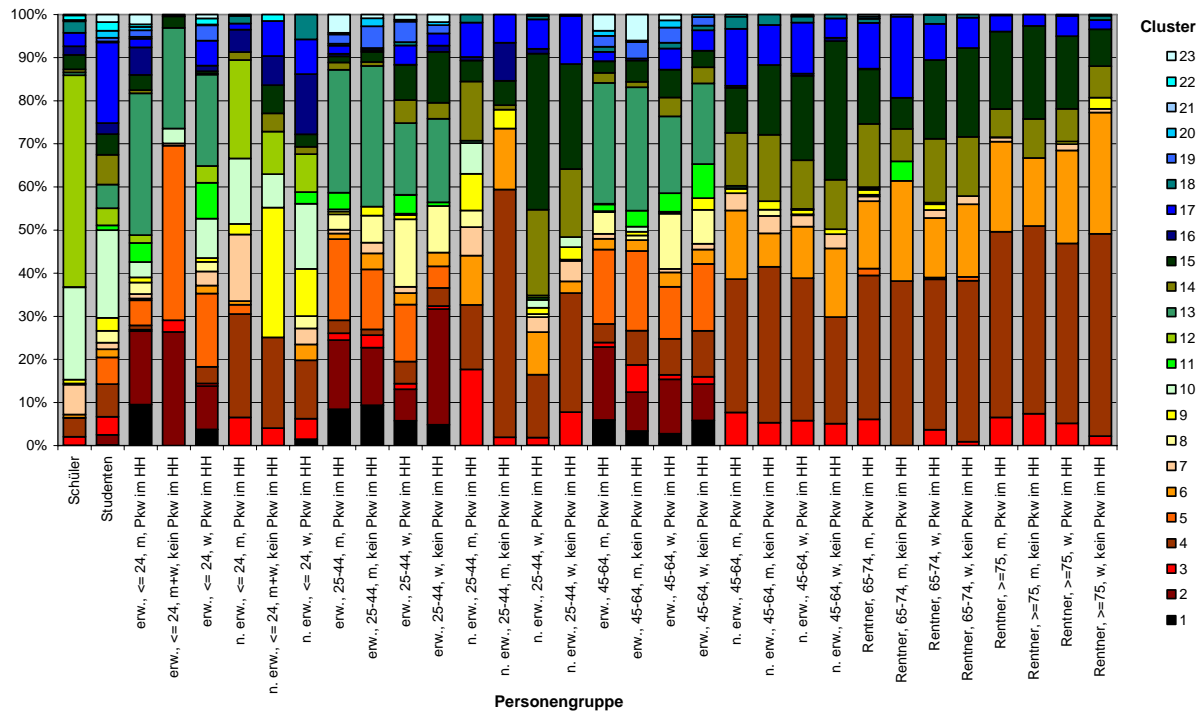


Abbildung 4: Auswahlwahrscheinlichkeiten der Tagebuchcluster in TAPAS nach Personengruppe

Die aus der Erhebung dokumentierten Aktivitätenpläne müssen hinsichtlich ihrer Informationen über berichtete Ortsveränderungen ausgewertet werden. Über die Betrachtung der jeweils letzten Aktivität vor einem Ortswechsel und der ausgeführten Aktivität am Anschlussort können aktivitätsbasierte Wegeketten ermittelt werden. Zusätzlich sind die Informationen über die Dauer der Ortsveränderung sowie der Aktivitäten dokumentiert. Abbildung 5 stellt einen Auszug aus einem Aktivitätenplan dar. Die Pläne lassen sich dabei in einzelne Episoden unterteilen, bei denen es sich um Aufenthalte (Stays) oder Ortswechsel (Trips) handelt.

Zur Abbildung realer Wegetrajektorien der einzelnen Personen sind im Schritt der Ziel- und Verkehrsmittelwahl für die im Tagesplan enthaltenen Trips sowie die sich anschließenden Aktivitäten konkrete Ausführungsorte sowie die Verwendung findenden Verkehrsmittel zu bestimmen.

EpisodenID	TagebuchID	TagebuchgruppenID	Startzeitpunkt	Dauer	Aktivitätencode	...	Zuhause	
211914	10166	22	964,531	1,0,92,220,0,514345,99,470,0,536828,3,380,1,27,5,390,0,848189,0,1				Wohnung
211915	10166	22	100,3,700,1,0,95,920,0,495074,103,930,0,504433,2,460,1,36083,3,850,1,08465,0,1					↓
211916	10166	22	103,6,10,1,0,99,450,0,530745,106,660,0,522708,4,210,0,747435,7,980,0,710669,0,1					Einkauf
211917	10166	22	109,8,700,1,0,105,710,0,551318,111,480,0,635,5,110,0,588235,10,320,0,656532,0,1					↓
211918	10166	22	117,4,880,2,0,112,910,0,494468,120,690,0,520579,3,020,1,01015,4,140,2,67261,1,0					Wohnung
211919	10166	22	121,6,50,2,0,117,930,0,57073,124,110,0,567048,4,530,0,824786,8,210,0,672673,1,0					↓
211920	10166	22	127,3,80,2,0,123,820,0,560772,130,180,0,560773,2,230,1,13961,3,610,1,28037,1,0					Einkauf
211929	10166	22	208,6,10,1,0,204,500,0,534522,211,690,0,520579,4,380,0,785674,7,810,0,743294,0,1					↓
211930	10166	22	214,3,700,1,0,210,130,0,508329,218,170,0,489702,2,550,1,49071,4,160,0,928477,0,1					Wohnung
211931	10166	22	217,2,10,1,0,214,220,0,59976,220,230,0,556415,1,750,2,2,580,1,31306,0,1					↓
211932	10166	22	219,4,700,1,16,215,930,0,570729,222,970,0,501886,3,200,1,11803,5,450,0,830455,0,1					Wohnung
211933	10166	22	223,3,531,1,0,219,580,0,540738,225,920,0,585206,2,610,1,60128,4,430,0,836242,0,1					↓
211934	10166	22	226,3,80,2,0,222,780,0,557278,230,120,0,492665,2,540,1,47442,3,770,1,13961,2,0					Freizeit
211935	10166	22	229,30,300,2,0,227,190,0,743295,233,230,0,486217,24,960,0,445435,39,020,0,332964,2,0					↓
211936	10166	22	259,3,80,2,0,255,520,0,536057,263,370,0,478365,2,490,1,40028,3,620,1,27,2,0					Wohnung
211937	10166	22	262,12,711,1,0,259,920,0,693377,266,420,0,475651,8,620,0,543928,16,510,0,470882,0,1					
211938	10166	22	274,3,700,1,0,271,190,0,59655,277,550,0,530746,2,480,1,38675,3,920,1,04257,0,1					
211939	10166	22	277,12,511,1,0,275,050,0,716113,279,320,0,656531,9,730,0,663723,13,970,0,71247,0,1					

Abbildung 5: Auszug aus einem Aktivitätenplan und die enthaltenen Informationen zu Art, Zeitpunkt und Dauer der enthaltenen Aktivitäten. Die enthaltenen Ortsveränderungen sind grün dargestellt.

4 Ansätze der Ziel- und Modalwahl

In der Regel wird die Verkehrsverteilung mittels eines Gravitationsansatzes vorgenommen, bei dem die Auswahlwahrscheinlichkeit einer Gelegenheit von ihrer Attraktivität (zumeist gemessen anhand ihrer Kapazität) und Entfernung vom Ausgangsort abhängt. Die Verkehrsaufteilung erfolgt zumeist anhand empirischer Daten zum personengruppenspezifischen Modal Split.

Grundsätzlich ist die Herangehensweise bei Mikrosimulationsansätzen sehr ähnlich. In der Regel wird jedoch versucht, statt einer sequentiellen Wahl der Gelegenheiten und Modalarten die Modal- und Gelegenheitswahl eng zu koppeln und dadurch Interdependenzen der Wahl adäquat abzubilden.

Bei der Modalwahl in mikroskopischen Nachfragemodellen finden sich vor allem Nutzenmaximierungsmodelle, zumeist in der Form eines multinomialen Logitansatzes. Ein anderer Ansatz, der auch bei TAPAS Verwendung findet, beruht auf der direkten Nutzung empirischer Modal Splits.

Bei der Gelegenheitswahl lassen sich drei gängige Herangehensweisen identifizieren. Neben dem weit verbreiteten Gravitationsansatz (Ortúzar & Willumsen 2006) lassen sich Nutzenmaximierungsansätze, bei denen die einzelnen Gelegenheiten bezüglich ihres Nutzens und des Aufwandes der Anreise gegeneinander abgewägt werden, und Modelle nach der Theorie der Intervening Opportunities unterscheiden. Dieser Ansatz basiert auf der These, dass Personen – sei es aus Unkenntnis oder auf Grund persönlicher Präferenzen – nicht immer den nächstgelegenen Ort zur Ausführung einer Aktivität wählen, und somit eine Gelegenheit mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit nicht gewählt wird (Hertkorn 2004).

4.1 Bisherige Funktionsweise der Gelegenheitswahl bei TAPAS

Die Gelegenheitswahl in TAPAS folgt dem Ansatz der Intervening Opportunities. Mittels eines mehrstufigen Verfahrens werden dabei sukzessive die einzelnen Gelegenheiten innerhalb einer Wegeketten entsprechend der Priorität der jeweiligen Aktivität bestimmt. Die Auswahl berücksichtigt den jeweiligen Standort der höher priorisierten Aktivität und legt diesen der nachfolgenden Gelegenheitswahl zu Grunde. Gleichzeitig findet eine enge Kopplung mit der Modalwahl statt, da die notwendige Fahrzeit zu einer Gelegenheit ihre Auswahlwahrscheinlichkeit beeinflusst. Innerhalb der Wegeketten erfolgt dabei ebenfalls eine Überprüfung auf das Vorhandensein von Individualverkehrsmitteln (Pkw, Rad). Eine schematische Darstellung der Funktionsweise enthält Abbildung 6.

Zu Reduzierung der Rechenkomplexität erfolgt bei der Gelegenheitswahl zunächst eine gewichtete Zufallsauswahl einer Gelegenheit pro Verkehrszelle, die für eine Iteration als Repräsentant aller Gelegenheiten der Verkehrszelle Verwendung findet. Dabei steigt die Auswahlwahrscheinlichkeit einer Gelegenheit mit zunehmender Kapazität. Um nutzerseitige Modalpräferenzen bei der Ermittlung der Reisezeiten zu berücksichtigen erfolgt anschließend eine temporäre Modalwahl für alle Repräsentanten. Diese dient der Berechnung persönlicher Modal Splits zu den im Rahmen dieser spezifischen Gelegenheitswahl untersuchten Repräsentanten. Anschließend wird für jeden Repräsentanten eine Reisezeit über alle Modalarten berechnet, eine quasi intermodale Reisezeit, bei der der Einfluss des jeweiligen Verkehrsmittels anhand dieses Modal Splits festgelegt wird.

Anschließend werden alle Repräsentanten anhand der intermodalen Reisezeit aufsteigend sortiert. Die Position im resultierenden Auswahlvektor sowie die Gesamtkapazität der Gelegenheiten in der entsprechenden Verkehrszelle bestimmen die Auswahlwahrscheinlichkeit einer Gelegenheit. Abschließend erfolgt die Wahl einer konkreten Gelegenheit nach dem Ansatz der Intervening Opportunities. Für den entsprechenden Ort wird dann eine endgültige Modalwahl durchgeführt. **Abbildung 7** fasst die Auswahl einer einzelnen Gelegenheit innerhalb einer Wegekette schematisch zusammen.

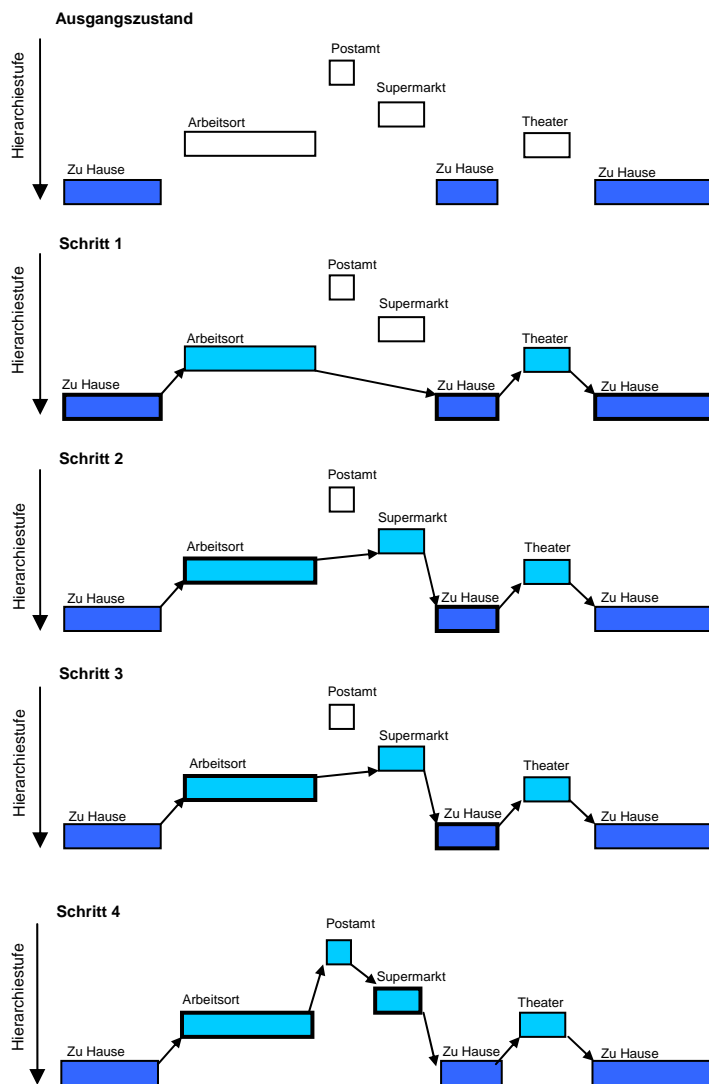


Abbildung 6: Sukzessive Orts- und Verkehrsmittelwahl für die Hin- und Rückwege der verschiedenen Aufenthalte einer Tour. Die jeweiligen Bezugsorte der Wahl im Laufe der Suchschritte sind durch eine

verstärkte Umrandung hervorgehoben. Gewählte Gelegenheiten sind farbig gekennzeichnet. Verändert nach Hertkorn 2005: 89.

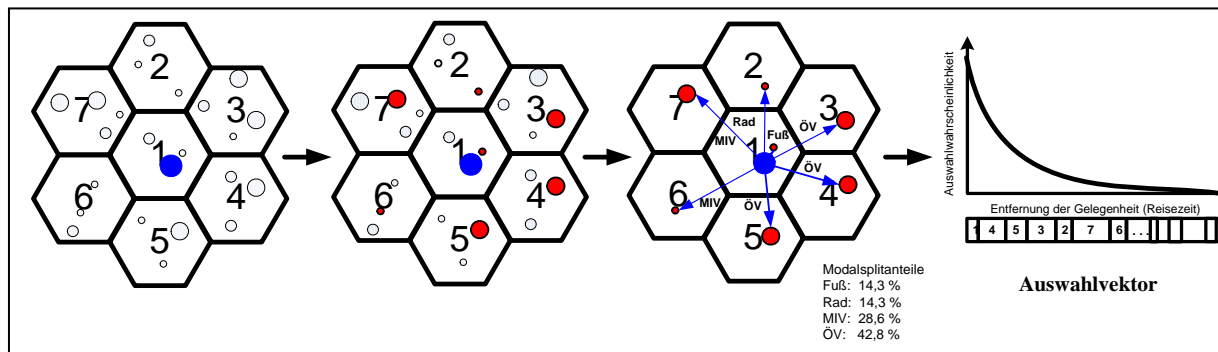


Abbildung 7: Schematischer Ablauf der Gelegenheitswahl in TAPAS. Die Ziffern entsprechen der ID der jeweiligen Verkehrszelle, die bei der Anordnung der Gelegenheiten im Auswahlvektor Verwendung findet.

4.2 Funktionsweise der Modalwahl in TAPAS

Die Modalwahl in TAPAS ist in ihrer bisherigen Form rein empiriebasiert. Die Auswahl eines Verkehrsmittels erfolgt mittels eines sogenannten CHAID-Entscheidungsbaums (Chi-Squared Automatic Interaction Detection), dessen Aufbau auf der Datenauswertung der MiD 2002 beruht. Die Aufteilung des Entscheidungsbaumes erfolgt dabei anhand der Distanz zwischen Start- und Zielort, der Art der vorgesehenen Aktivität, dem Alter und Geschlecht der entsprechenden Person sowie dem Haushaltseinkommen und der PKW-Verfügbarkeit. Die daraus resultierenden Modal-Split-Verteilungen sind in den Blättern des Entscheidungsbaumes hinterlegt und bilden die Grundlage der Verkehrsmittelwahl (vgl. Abbildung 8). Über die Auswertung raumspezifischer Teildatensätze der MiD ist es möglich, regionale Spezifika der Verkehrsmittelwahl zu berücksichtigen. Unterschiede in der regional vorhandenen Infrastruktur und daraus resultierende Verkehrsnutzungen werden somit direkt bei der Erstellung des CHAID-Baumes mit einbezogen.

Für Wege innerhalb einer Tour kann keine unabhängige Verkehrsmittelwahl erfolgen. Daher wird die Verfügbarkeit von Individualverkehrsmitteln innerhalb der Wegekette überprüft und sichergestellt, dass diese gegebenenfalls sowohl für den Hin- als auch für den Rückweg eingesetzt werden. Durch die sukzessive Wahl der Gelegenheiten und Verkehrsmittel hängt die jeweilige Verkehrsmittelverfügbarkeit von der für die Hauptaktivität getroffenen Wahl ab. Darüber hinaus erfolgt vor der Ermittlung der Modalanteile eine Überprüfung, ob die im Haushalt verfügbaren Pkw zum Zeitpunkt der geplanten Wege zur Verfügung stehen oder sich bereits im Einsatz befinden.

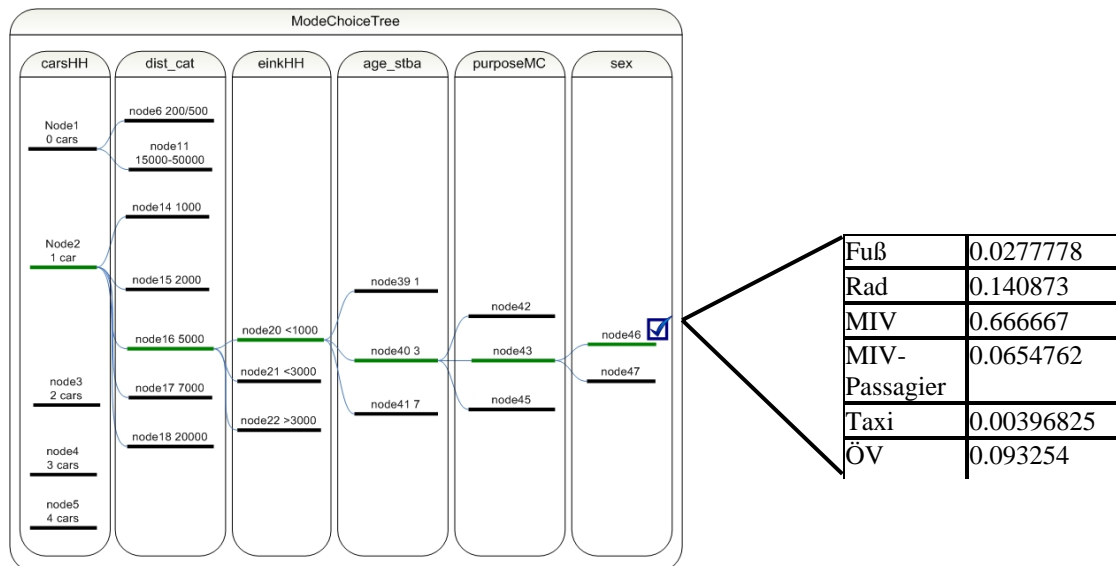


Abbildung 8: Schematische Darstellung des CHAID-Baums. Rechts ist eine exemplarische Modal-Split-Verteilung für das Blatt 46 dargestellt.

5 Ansatzpunkte einer maßnahmensensitiven mikroskopischen Nachfragemodellierung

Die aufgezeigte Funktionsweise von TAPAS beruht durchgehend auf der Auswertung empirisch belegter Verhaltensweisen und wird momentan in seinen Kernelementen erweitert, um Reaktionen auf verkehrspolitische Maßnahmen abbilden zu können. Dies betrifft insbesondere das nachfolgend dargestellte Konzept zur Integration von individuellen Mobilitätszeit- und Mobilitätskostenbudgets, die Veränderungen bei der Zuweisung eines Aktivitätenplans einer Person sowie die Modal- und Gelegenheitswahl. Darüber hinaus können bevölkerungsstrukturelle Veränderungen (demographischer Wandel) und ihr Einfluss auf die Verkehrsnachfrage über eine Anpassung der synthetischen Bevölkerung abgebildet werden. Die eingangs beschriebenen Eigenschaften der simulierten Personen im Haushaltskontext bieten weitere Möglichkeiten, derartige indirekt auf die Verkehrsnachfrage wirkende Veränderungen, z.B. durch die Zunahme von Einpersonenhaushalten bei Abnahme von Mehrpersonenhaushalten, im Modell abzubilden.

Die grundlegenden Elemente der Mikrosimulation, wie eingangs in Abbildung 1 bereits aufgezeigt, bilden folglich auch die Ansatzpunkte hinsichtlich der maßnahmensensitiven Modellierung der Verkehrsnachfrage.

5.1 Berücksichtigung individueller Freiheitsgrade

Die Reaktionen auf verkehrspolitische Maßnahmen werden im Modell vor dem Hintergrund der zeitlichen und finanziellen Möglichkeiten der Personen ermittelt und bewertet. Ausgangspunkt dieser Überlegungen zur Einführung entsprechender Budgets bildet die These, dass Personen sowohl ihre zeitlichen als auch ihre finanziellen Ausgaben für Mobilität ihren Optimalvorstellungen und Möglichkeiten anzupassen versuchen. Die Variablen Haushaltseinkommen, Alter, beruflicher Status sowie Haushaltsgröße bzw. -typ gelten dabei als Determinanten der Höhe beider Budgets (Oeltze et al. 2006). Bestehen in beider Hinsicht Beschränkungen, so ist eine Person gezwungen, den für sie günstigsten Kompromiss einzugehen. Die Zeit- und Geldausgaben und die Akzeptanz ihrer Höhe variieren zwischen einzelnen Personengruppen. Mit Hilfe von Ansätzen des VOT (Value of Time) bzw. des VTTS (Value of Travel Time Savings) ist es möglich abzuschätzen, wie viel Geld eine Personengruppe für eine Zeitersparnis zu bezahlen gewillt ist (Cirillo & Axhausen 2004). Zur Bestimmung der

finanziellen Budgets in TAPAS werden die in der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe 2003 (EVS) erfassten Informationen zum Konsumverhalten und den Ausgaben für Verkehrsleistungen in Abhängigkeit vom Einkommen Verwendung finden. Abbildung 9 stellt die Bestimmung der monetären Budgets unter Berücksichtigung von Haushaltsnettoeinkommen und Haushaltstyp dar.⁴

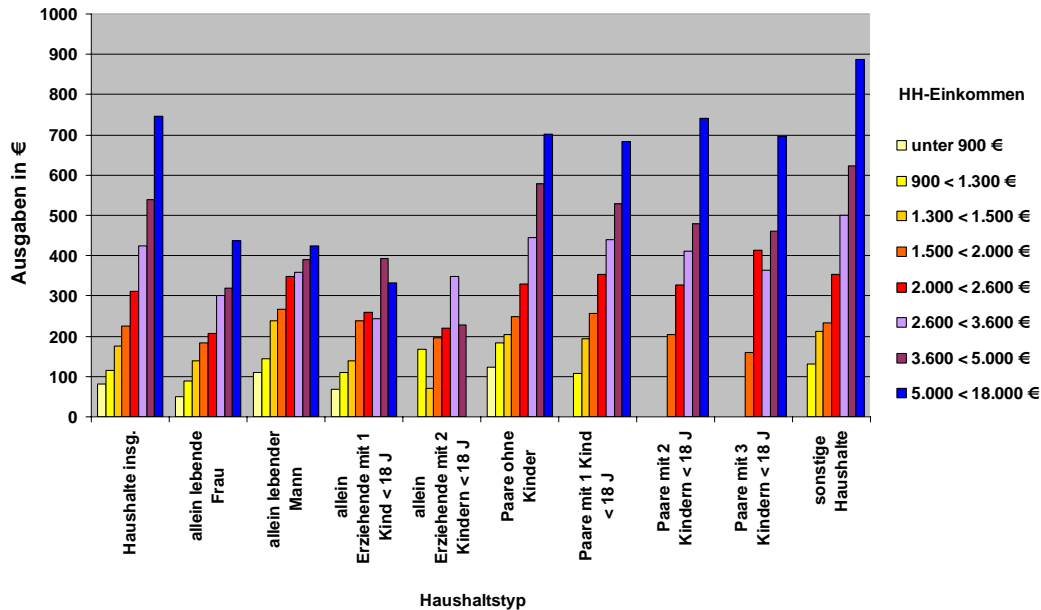


Abbildung 9: Aufwendungen privater Haushalte in der BRD für Verkehr (inkl. Kfz-Steuern und Kfz-Versicherung) nach Haushaltstyp und Haushaltsnettoeinkommen, nach EVS 2003

Im Anschluss erfolgt die Zuteilung der haushaltsspezifischen Budgets auf die einzelnen Mitglieder eines Haushalts. Verschiebungen in der Ausgabenstruktur der Haushalte durch steigendes oder sinkendes ausgabefähiges Einkommen oder Preisänderungen im Verkehr können im Modell quantifiziert werden. Hierzu wird das Mobilitätsbudget der Personen in weitere Kostenkomponenten aufgeteilt, im Wesentlichen unterschieden nach fixen (Steuern, Versicherung, Kfz-Erwerb) sowie variablen Kosten (Kraftstoffe, Wartung, Aufwendungen für den öffentlichen Verkehr, siehe Tabelle 1). Die Abbildung von verkehrspolitischen Maßnahmen erfolgt über Verschiebungen innerhalb des jeweiligen Budgets, beispielsweise ändert sich das zur Verfügung stehende Budget für Kraftstoffe und/oder Dienstleistungen im ÖV in Reaktion auf Änderungen der Fixkosten (z.B. durch eine Erhöhung der Kfz-Steuer).

Tabelle 1: Verkehrsausgaben nach der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe 2003

⁴ Im Modell werden 9 Haushaltstypen unterschieden.

		Bezogen auf das Haushaltsnettoeinkommen
Verkehrsausgaben inkl. Steuern + Versicherung		12,4%
Verkehrsausgaben exkl. Steuern + Versicherung		10,7%
Fixkosten	Kfz Erwerb	3,7%
	Kfz-Versicherung	1,3%
	Kfz-Steuern	0,4%
Variable Kosten	Kraft- und Schmierstoffe	2,9%
	Personenbeförderung + Verkehrsdienstleistungen	1,0%
	Waren und Dienstleistungen für den Betrieb von Fahrzeugen	3,1%

Quelle: eigene Darstellung nach EVS 2003

Hinsichtlich der Zeitverwendung ist davon auszugehen, dass das zeitliche Budget ebenfalls von der Haushaltsgröße bzw. dem Haushaltstyp beeinflusst wird (Zumkeller, Chlund & Lipps 1998). Generell lässt sich konstatieren, dass mit einem steigenden Anteil fest definierter Aktivitäten die Wahlfreiheit beim Scheduling, also der Neuordnung eines Aktivitätenplans, deutlich sinkt (Frusti, Bhat & Axhausen 2002). Diesen Zusammenhang aufgreifend, orientieren sich die minimal und maximal zulässigen Zeitaufwendungen je Aktivität in TAPAS zunächst an der jeweiligen Priorität der betrachteten Aktivität.⁵ Aus den Erhebungsdaten zur Zeitverwendung kann die Flexibilität von Personen hinsichtlich der Zeitverwendung je Aktivität ermittelt werden. Dazu erfolgt eine Bestimmung der Varianzen der einzelnen Episoden, also die Abweichungen von Anfangs- und Endzeit, sowie der Dauer der Episoden. Dies ermöglicht die Bestimmung empirisch dokumentierter Akzeptanzschwellen und damit die Modifikation der Tagespläne hinsichtlich der Startzeitpunkte und Dauer der Aktivitäten innerhalb der identifizierten Intervalle. Änderungen der zeitlichen Aufwendungen für Mobilität in Reaktion auf verkehrspolitische Maßnahmen, hervorgerufen z.B. durch eine veränderte Verkehrsmittel- und/oder Zielwahl, müssen sich folglich innerhalb der ermittelten Bereiche bzw. auch hinsichtlich des insgesamt an einem Tag verfügbaren Mobilitätszeitbudgets bewegen (siehe dazu Abschnitt 5.5.).

5.2 Veränderungen bei der Zuweisung von Aktivitätenplänen

Eine weitere Möglichkeit, Verhaltensänderungen im Modell abzubilden, kann über die Auswahl anderer Aktivitätenpläne oder Anpassungen innerhalb eines Plans umgesetzt werden. Die Auswahlwahrscheinlichkeit eines Aktivitätenplans für eine spezifische Person wird beispielsweise über die Pkw-Verfügbarkeit beeinflusst. Veränderte Motorisierungsraten oder politisch induzierte Impulse, die quantitative Verschiebungen in der Pkw-Verfügbarkeit veranlassen, führen in TAPAS zu veränderten Auswahlwahrscheinlichkeiten konkreter Tagespläne (siehe Abbildung 4).

Eine modifizierte Zuordnung von Tagesplänen kann auch dazu genutzt werden, älteren Personen Verkehrsverhaltensmuster einer jüngeren Kohorte zuzuweisen. Der Austausch des Aktivitätenplans eines 74-jährigen durch den einer jüngeren Kohorte trägt dann der Diskussion um

⁵ Pflichtaktivitäten wie Erwerbsarbeit, Schule und Ausbildung zeigen hinsichtlich ihrer Dauer sowie Start- und Endzeiten geringere Variabilitäten auf.

die zunehmende Mobilität der älteren Generationen Rechnung.⁶ Aus Modellsicht lassen sich so mit kalkulierbarem Aufwand fundamentale Änderungen im Mobilitätsverhalten abbilden.

Empirisch festgestellte Verhaltensänderungen, z.B. durch die spürbare Zunahme flexibler Arbeitszeitgestaltung über vermehrte Telearbeit oder partielle Änderungen im Mobilitätsverhalten auf Grund der Bildung von Fahrgemeinschaften, können ebenfalls über den Simulationsinput der Tagespläne berücksichtigt werden. Im Fall der Fahrgemeinschaften würden bevorzugt Aktivitätenpläne ausgewählt werden, die keine sekundären Aktivitäten (Einkauf, Freizeit) nach der Arbeit ausweisen.

Die Ablehnung eines Aktivitätenplans und die damit verbundene Neuwahl eines alternativen Plans der gleichen Tagebuchklasse werden vor allem dann durchgeführt, wenn sich in der Simulation zeigt, dass zeitliche Vorgaben nicht eingehalten werden können. Derzeit noch nicht umgesetzt, aber von elementarer Bedeutung, um die dynamischen Anpassungsmechanismen von Verkehrsteilnehmern „on the trip“ abzubilden, ist es, den Wegfall oder die Integration von einzelnen Aktivitäten und damit verbundener Wege einzuführen.

5.3 Erweiterung der Gelegenheitswahl

Die Gelegenheitswahl beruht bisher weitestgehend auf der Entfernung vom Ausgangsort sowie der Attraktivität der in einer Verkehrszelle vorhandenen Gelegenheiten. Veränderungen der Reisezeit sowie des Kostenaufwandes für die Anreise und den Aufenthalt, z.B. durch die Einführung einer Citymaut oder eines Parkraummanagements, können eine Änderung der Attraktivität der innerhalb dieser Zonen befindlichen Gelegenheiten hervorrufen. Dabei gilt es, die Modellierung der Reaktionen in Abhängigkeit von der Art der Aktivität und der daraus resultierenden Wahlfreiheit der synthetischen Personen vorzunehmen. Ein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der Wahlfreiheit besteht z.B. zwischen der Pflichtaktivität Arbeit und fakultativen Freizeitaktivitäten. Entsprechend wird die Reaktion auf eine preisliche Maßnahme für eine Pflichtaktivität schwächer ausfallen, da praktisch keine Alternativen gewählt werden können. Gleichzeitig sollte die Stärke der Reaktion in Abhängigkeit von der Höhe der zeitlichen und finanziellen Nutzerbudgets modelliert werden.

Die skizzierten Anforderungen bedingen eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Gelegenheiten sowie der umgebenden Verkehrszellen bei der Gelegenheitswahl. Der Ansatz der Intervening Opportunities berücksichtigt direkt die Reisezeit zum Zielort bei der Auswahl einer Gelegenheit. Auf Grund dieser engen Kopplung der Gelegenheits- und Modalwahl bewirken Veränderungen des zeitlichen Aufwandes einer Anreise eine direkte Änderung der Attraktivität bzw. der Auswahlwahrscheinlichkeit einer Gelegenheit. Eine Integration streckenbezogener Kosten bei der Ermittlung des gewünschten Verkehrsmittels wirkt sich somit direkt auf die Gelegenheitswahl aus. Die resultierende Veränderung der Gelegenheitsattraktivität erfolgt dabei unter Beachtung der personen- und aktivitätenspezifischen Modalanteile.

Die Abbildung finanzieller Kostenänderungen im Zielgebiet, die sich beispielsweise durch die Einführung eines Parkraummanagements oder einer City-Maut ergeben können, können über den Ansatz der VOT in zeitliche Mehraufwendungen übersetzt werden. Die daraus resultierende Veränderung des zeitlichen Aufwands der Anreise zu einer Gelegenheit führt in der Folge zu einer Veränderung der Position der Gelegenheit innerhalb des Auswahlvektors (vgl. Abbildung 10). Betroffene Gelegenheiten rücken somit in Abhängigkeit von der Höhe der Kostenänderung künstlich in weitere Entfernung. Dies bedingt in der Folge ein Absinken der

⁶ Hintergrund dieser Vorgehensweise bildet das Konzept des „gefühlten Alters“. Demnach nimmt die Mobilität der älteren Bevölkerung von morgen zu. Als Gründe dafür gelten die insgesamt gestiegene Lebenserwartung, verknüpft mit einer zunehmenden Agilität bis in höhere Altersjahre sowie die besonders bei Frauen wirkende nachholende Motorisierung über den steigenden Führerscheinbesitz in den höheren Altersjahren.

Auswahlwahrscheinlichkeit einer Gelegenheit. Die verwendeten VOT berücksichtigen dabei eine Differenzierung nach Einkommen und Wegezweck.

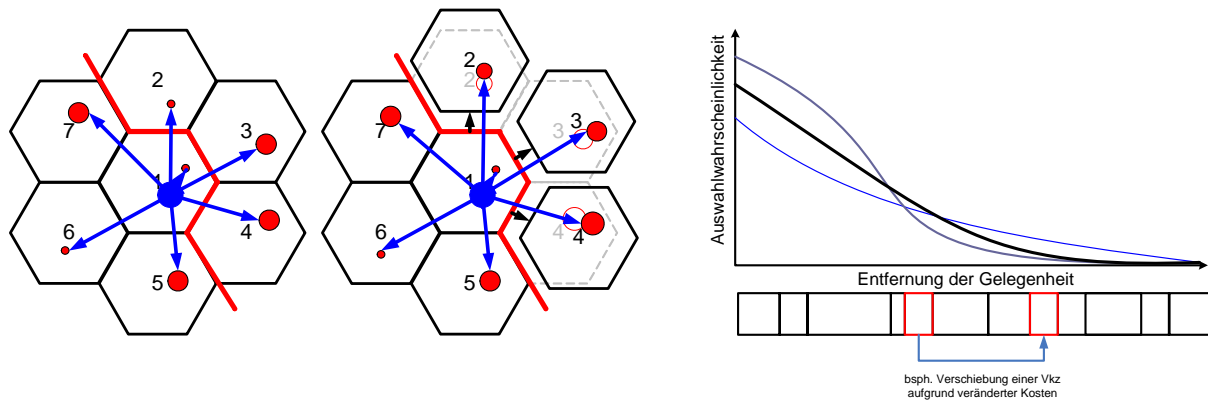


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Integration finanzieller Kostenänderungen bei der Gelegenheitswahl in TAPAS

5.4 Erweiterung der Modalwahl um Kostensensitivität

Die bisherige Modalwahl in ihrer vorgestellten empiriebasierten Form ist nicht in der Lage, Veränderungen der zeitlichen oder finanziellen Kosten bei der Ermittlung des von einer Person zu nutzenden Verkehrsmittels abzubilden. Für die Erweiterung der Modalwahl um eine Kostensensitivität wurde die Pivot-Point-Methode gewählt (Ortúzar & Willumsen 2006, S 399).

Diese ermöglicht die Prognose zukünftiger Verkehrsnachfrage auf Basis empirischer Kenntnisse der Modalwahlanteile sowie der der Wahl zu Grunde liegenden Nutzenfunktion und Kostenstruktur. Des Weiteren erlaubt sie die Ermittlung von Modal Split-Anteilen anhand der Angabe relativer Kostenänderungen.

Der aus einer Veränderung der zeitlichen oder finanziellen Kosten resultierende Modal Split-Anteil p_k^1 wird dabei anhand des Ausgangsanteils p_k^0 des Modus sowie der aus der Differenz des neuen Nutzens V^1 und des Ausgangsnutzens V^0 aller Modi abgeleiteten Veränderungsstärke ermittelt. Durch die Nutzung der MiD 2002 zur Bestimmung der Ausgangsniveaus pivotieren die resultierenden Modalanteile somit um den dort erhobenen Modalanteil.

Die inkrementelle Version eines Multinomialen Logitmodells ergibt sich anhand der nachfolgenden Formel:

$$p_k^1 = \frac{p_k^0 \exp(V_k^1 - V_k^0)}{\sum_j p_j^0 \exp(V_j^1 - V_j^0)}$$

Die hinterlegte Nutzenfunktion orientiert sich an den Arbeiten von König et al. 2004 und beinhaltet das Einkommen sowie die Weglänge.

5.5 Validierung der erstellten Tagespläne

Als Ergebnis eines Simulationslaufes liegt für jede Person der synthetischen Bevölkerung ein Tagesplan vor, der aus einer Folge von Aktivitäten in Form von Aufenthalten (Stays) und Ortsveränderungen (Trips) besteht. Für jede dieser Aktivitäten liegen neben den Informationen zur Orts- und Modalwahl der Start- und Endzeitpunkt sowie die Dauer vor. Die Dauer der Aktivitäten entspricht dabei im Falle von Stays dem ursprünglichen Zeitanteil entsprechend

des gewählten Tagesplans; die Dauer der einzelnen Trips wird anhand der Reisezeiten ermittelt.

Die erstellten Tagespläne werden anschließend hinsichtlich dreier Kriterien verifiziert:

- zeitliche Durchführbarkeit
- Vereinbarkeit mit dem zeitlichen Budget
- Vereinbarkeit mit dem finanziellen Budget.

Bei der Überprüfung der zeitlichen Durchführbarkeit eines Tagesplans erfolgt eine Untersuchung der einzelnen Episoden des Plans hinsichtlich der aufgewandten Reisezeiten, der Dauer einer Aktivität sowie den jeweiligen Anfangs- und Endzeiten einer Episode. In Rückkopplung mit der (Verkehrs-)Angebotsstruktur des Untersuchungsraumes (Lage und Kapazität von Gelegenheiten, Reisezeiten im IV und ÖPNV) kann es sich ergeben, dass der ursprünglich vorgesehene Tagesplan auf Grund der getroffenen Verkehrsmittel- und Zielwahl zeitlich nicht umgesetzt werden kann. In diesem Fall wird versucht, die Realisierbarkeit des Tagesplans zunächst durch eine Anpassung der Aktivitätendauer sowie ihres Startzeitpunktes zu erzielen. Die Variabilität der einzelnen Episoden wird dabei anhand der definierten Flexibilität der Episoden bestimmt, die aus der ZBE-Auswertung resultiert (vgl. Abschnitt 3). Die im definierten Rahmen durchführbare Anpassung von Startzeiten oder Dauer der Aktivitäten kann den entstandenen „Zeitstress“ aufheben und der Tagesplan bzw. die Wegekette findet Verwendung. Die resultierende Anpassung des Tagesplans ist in Abbildung 11 schematisch dargestellt.

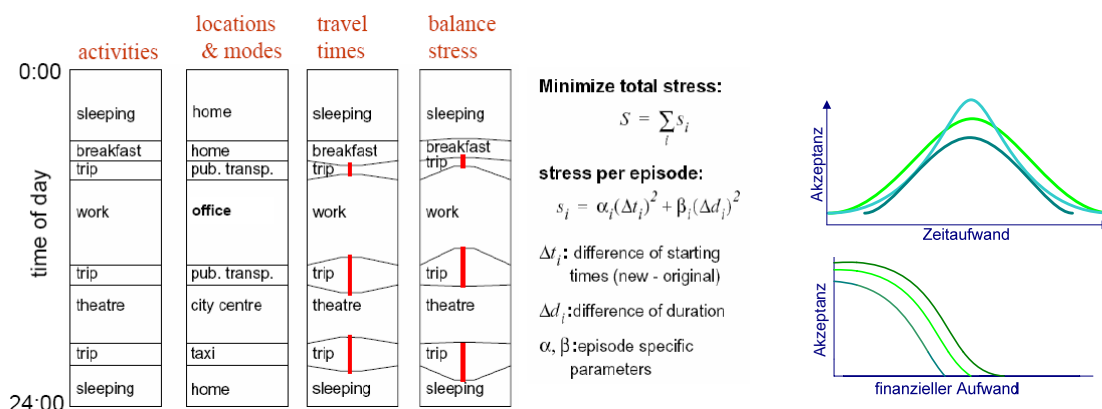


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Anpassung der Dauer und Anfangszeiten von Aktivitäten eines Tagesplans sowie beispielhafter Verlauf von Akzeptanzkurven für Änderungen des Aufwandes. Quelle: Varschen & Wagner 2006:14 (links) sowie eigene Darstellung (rechts)

In einem weiteren Schritt werden die zeitlichen und finanziellen Aufwendungen des erstellten Tagesplans auf dem aggregierten Niveau einer Überprüfung des Gesamtplans betrachtet. Der aus der Verkehrsmittel- und Gelegenheitswahl resultierende Gesamtaufwand einer Umsetzung wird dabei mit dem individuell verfügbaren zeitlichen und finanziellen Budget abgeglichen. Die Akzeptanzwahrscheinlichkeit eines erstellten Plans nimmt dabei mit der Stärke der Abweichung vom verfügbaren Budget ab. Während bei den zeitlichen Aufwendungen sowohl Über- als auch Unterschreitungen zu einer Reduzierung der Akzeptanzwahrscheinlichkeit beitragen, trifft dies im Falle des finanziellen Aufwandes nur bei der Überschreitung des Budgets zu. Abbildung 11 stellt schematisch die jeweiligen Akzeptanzkurven dar, deren Verläufe sich an der Ausgangshöhe der jeweiligen Budgets orientieren.

Wird ein Tagesplans auf Grund einer Abweichung von den Budgetgrenzen oder eines mangelnden Anpassungserfolges durch die zeitliche Aktivitätenverschiebung verworfen, so wird zunächst mehrfach versucht, eine Verbesserung des Tagesplans mit Hilfe einer erneuten Ziel- und Verkehrsmittelwahl hervorzurufen. Kann der Tagesplan auch nach mehreren Iterationen

nicht durchgeführt werden, führt dies zu einem Verwerfen des ursprünglichen Plans und einer Neuwahl innerhalb der gleichen Tagebuchgruppe.

6 Zusammenfassung, Herausforderungen und Ausblick

Der Einsatz mikroskopischer Nachfragemodelle ermöglicht die detaillierte Betrachtung des Verkehrsteilnehmers sowie die modellinterne Abbildung seiner Reaktionen auf Änderungen der Angebots- und Nachfragesituation. Die skizzierten Anknüpfungspunkte einer maßnahmensensitiven Modellierung umfassen dabei alle vier Kernbereiche der Simulation: Die Generierung der synthetischen Population mit ihren demographischen und sozioökonomischen Eigenschaften, die Auswahl eines Tagesplans und seine Verifizierung hinsichtlich der zeitlichen und finanziellen Umsetzbarkeit sowie die Gelegenheits- und Modalwahl.

Im Rahmen der vorgestellten Arbeiten erfolgt die Abbildung von individuellen Anpassungsmöglichkeiten anhand einer starken Orientierung an den empirischen Ausgangsdaten. Die Verwendung erhobener Aktivitätenpläne und regionalspezifischer Modal Splits als Ausgangsbasis jeglicher nutzenorientierter Anpassungsermittlungen setzt die maßnahmenbedingten Änderungen der Parameter stets in direkte Beziehung zum empirisch belegten Ausgangszustand.

Die aufgezeigten Arbeiten eignen sich auf Grund ihrer Funktionsweise vor allem zur Abbildung folgender Arten von Maßnahmen:

- Maßnahmen, die mittels einer Veränderung der zeitlichen und finanziellen Kosten abgebildet werden können: Hierzu zählen sowohl eine Veränderung der Fixkosten -wie den Unterhaltskosten eines Pkw - als auch des streckenbasierten finanziellen und zeitlichen Aufwands, der sich beispielsweise durch eine Veränderung der Kraftstoffpreise oder Taktungsveränderungen im ÖPNV ergeben kann.

Zielgebietsabhängige Kosten, wie sie beispielsweise durch die Einführung eines Parkraummanagements oder einer Citymaut hervorgerufen werden können, haben darüber hinaus direkten Einfluss auf die Auswahl der Gelegenheiten.

- Maßnahmen, die durch eine externe Veränderung der Personen- und Haushaltseigenschaften sowie die direkte oder implizite Veränderung der Aktivitätenplanwahl abgebildet werden können: Als Beispiel sei an dieser Stelle die Teilnahme an Car-Sharing-Angeboten aufgeführt, welches in einem Wandel der Pkw-Nutzung und folglich einer Veränderung der Tagesplanung resultiert.

Die derzeitigen Funktionalitäten von TAPAS weisen noch einige Einschränkungen auf, die es zukünftig zu adressieren gilt. Vor allem die bisherige Verwendung in sich statischer Aktivitätenpläne wird den menschlichen Reaktionsmustern nicht gerecht. Der Wegfall geplanter Aktivitäten oder Zwischenstopps, insbesondere fakultativer Aktivitäten am Tagesende oder kurzer Aufenthalte zu Hause, gelten als typische Antworten auf eine Erhöhung des zeitlichen und finanziellen Aufwandes, der mit der Realisierung eines initialen Tagesplans verbunden ist. Die Anpassungs- oder Flexibilisierungsmöglichkeit eines konkreten Aktivitätenplans sollte daher ins Zentrum zukünftiger Arbeiten rücken. Dabei gilt es ebenso, eine verbesserte Abbildung der Interaktion zwischen den Haushaltsmitgliedern zu erzielen. Sie stellt eine Voraussetzung dar, Veränderungen der MIV-Mitfahreranteile durch eine verstärkte Abstimmung der Tagesplanung innerhalb eines Haushalts korrekt abbilden zu können.

Änderungen der Haushaltseigenschaften, wie beispielsweise die An- oder Abschaffung eines Pkw oder die Wahl eines spezifischen Pkw-Typs, können bisher nur bei der Aufbereitung der Eingangsdaten berücksichtigt werden. Eine modellinterne Veränderung in Folge einer veränderten Angebots- oder Nachfragesituation ist bisher nicht möglich. Längerfristig gilt es, diesbezügliche Reaktionen direkt zu modellieren. Dies gilt ebenfalls für längerfristige Anpassungen.

sungsmuster im Bereich der Wohn- oder Arbeitsortwahl, die die Einbindung eines Flächennutzungsmodells notwendig erscheinen lassen.

Literaturverzeichnis

- Cirillo, C. and K.W. Axhausen (2004) Evidence on the distribution of values of travel time savings from a six-week diary. Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, 212, IVT. ETH Zürich, Zürich.
- Frusti, T., Bhat, C. & Axhausen, K.W. (2002): An exploratory analysis of fixed commitments in individual activity-travel patterns. Swiss Federal Institute of Technology, Institute of Transportation, Traffic, Highway- and Railway-Engineering, 2002.
- Gärling, T., Kwan, M.-P. und Golledge, R.G. (1993): Computational-Process Modelling of Household Activity Scheduling. University of California Transportation Center Technical Report No. 217.
- Hertkorn, G. (2005): Mikroskopische Modellierung von zeitabhängiger Verkehrsnachfrage und von Verkehrsflussmustern. Dissertation, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung.
- König, A., K.W. Axhausen und G. Abay (2004): Zeitkostenansätze im Personenverkehr, Hauptstudie, Forschungsauftrag SVI 534/01, Schriftenreihe, 1065, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.
- Oeltze, S., Bracher, T. et al. (2006): Szenarien der Mobilitätsentwicklung unter Berücksichtigung von Siedlungsstrukturen bis 2050. Forschungsvorhaben FE-Nr. 070.757/2004 (FOPS) des BMVBS, Abschlussbericht, Magdeburg.
- Ortúzar, J. d. D. und L.G. Willumsen (2006): Modelling Transport. 3. Auflage, John Wiley & Sons, Chichester.
- Varschen, C. und Wagner, P. (2006): Mikroskopische Modellierung der Personenverkehrsnachfrage auf Basis von Zeitverwendungstagebüchern. Vortrag auf dem 7. Aachener Kolloquium "Mobilität und Stadt" (AMUS): Integrierte Mikrosimulation von Raum- und Verkehrsentwicklung.
- Widmer, P. und K.W. Axhausen (2001): Aktivitäten-orientierte Personenverkehrsmodelle: Vorstudie. ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau. <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=incoll&nr=74>
- Zumkeller, D., Chlond, B. und Lipps, O. (1998): Konstanz / Variabilität des Verkehrsverhaltens gleicher Personen. Endbericht des Forschungsauftrages BMV FE 70.595 / 1998. Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe.

Kontakt:

Rita Cyganski und Andreas Justen
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Institut für Verkehrsforschung
Rutherfordstraße 2
D - 12489 Berlin

e-Mail: Rita.Cyganski@dlr.de
Tel.: +49-(0)30-67055-147
Internet: <http://www.dlr.de/vf>