

# Mobidrive – Längsschnitterhebungen zum individuellen Verkehrsverhalten: Perspektiven für raum-zeitliche Analysen

Stefan SCHÖNFELDER, Kay W. AXHAUSEN

Dipl.-Ing. S. Schönfelder, Prof. K W. Axhausen, ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik, Strassen und Eisenbahnbau (IVT),  
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, schoenfelder@ivt.baug.ethz.ch, axhausen@ivt.baug.ethz.ch

## 1 KOMPLEXITÄT DES VERKEHRSVERHALTENS: PHÄNOMENE UND INFORMATIONEN-BEDARF

Die Entwicklung von Massnahmen zur umwelt- und sozialgerechten Gestaltung von Mobilität lebt vom besseren Verständnis für die Gewohnheiten des Verkehrsverhaltens von Personen und Haushalten. Individuelles Verkehrsverhalten äussert sich in Zeiten weitgehender Motorisierung der Gesellschaft und der im historischen Vergleich geringen Kosten der Raumüberwindung für einen Grossteil der Bevölkerung in komplexen zeitlichen und räumlichen Strukturen. Essentiell für die Optimierung von Planungen, die auf die resultierenden Tendenzen der Verkehrs- und Siedlungsentwicklung mit sensiblen Lösungen abzielen, scheint dabei vor allem die Erschliessung von Informationen über die zeitlichen Phänomene der Mobilität wie Variabilität, Periodizität oder Dynamik zu sein. Die Ausdifferenzierung verschiedenster Lebens- und Mobilitätsstile sowie die wachsenden Spielräume des einzelnen bei seiner Alltagsgestaltung legen daneben nahe, verstärkt die intra-personelle Stabilität und Variabilität über die Zeitachse zu berücksichtigen.

Der vorliegende Beitrag präsentiert Resultate aus der laufenden Forschungsarbeit des Projektes *Mobidrive*, bei dem die angesprochenen zeitlichen Aspekte im Mittelpunkt des Interesses stehen. Die räumliche Perspektive, die die Analysen zur Alltagsmobilität über ausgedehnte Zeiträume ergänzt, unterstreicht im weiteren die Bedeutung längsschnitorientierter Verkehrserhebungen für die Raum- und Verkehrsplanung.

### Anforderungen an Datenstruktur und –qualität künftiger Verkehrserhebungen

Planung und Mobilitätsforschung haben bisher das an Zeitquerschnitten (Stichtagen) beobachtete Verhalten von Personen und Haushalten als deren optimale Entscheidung gedeutet und ein Verhaltensgleichgewicht unterstellt, das über einen genügend langen Zeitraum konstant bleibt. Damit blieben jedoch langfristige Aspekte des Verhaltens im Hintergrund, die als Indikator für die skizzierte intra-personelle Variabilität dienen. Dies hat dazu beigetragen, dass das Spektrum des individuellen Verhaltens, d.h. die Bedürfnisse und Wünsche der Reisenden von Tag zu Tag, unzureichend erklärt werden konnte. Als Folge dessen lässt die Zielgenauigkeit verkehrsplanerischer Handlungskonzepte an vielen Stellen zu wünschen übrig. Zur optimalen Steuerung der Verkehrsnachfrage ist es unseres Erachtens nötig, dass die Verkehrs- und Raumwissenschaft ihre bisherigen Ansätze der Datenerhebung und –analyse um die langfristige Perspektive ergänzt.

Im aktivitäten-basierten Ansatz der Verkehrsverhaltensforschung (vgl. Jones, Dix, Clarke und Heggie, 1983 u.a.), in dessen Kontext die weiteren Ausführungen des Beitrags zu verstehen sind, werden schon seit geraumer Zeit die zeitlichen Aspekte des Verkehrsverhaltens berücksichtigt und Anforderungen an die Qualität aussagekräftiger und vor allem longitudinaler Daten formuliert (vgl. Hanson und Huff, 1982). Dazu gehören vor allem die

- ?? möglichst grosse Detailgenauigkeit bei der Erfassung der Aktivitätenprogramme der Verkehrsteilnehmer, der Soziodemographie und der individuellen Werthaltungen und Einstellungen zur Mobilität und
- ?? die kontinuierliche Beobachtung des Verhaltens von Personen und Haushalten über einen genügend langen Zeitraum.

Letzteres ermöglicht die Erfassung der Wechselwirkungen menschlichen Verhaltens mit den – häufig periodischen – Ereignissen der physischen, sozialen und kulturellen Umwelt.

## 2 MOBIDRIVE – DYNAMIK UND ROUTINEN I M VERKEHRSVERHALTEN

Durch die Arbeiten des von der deutschen Bundesregierung geförderten Forschungsprojektes *Mobidrive – Dynamik und Routinen im Verkehrsverhalten* steht seit dem Jahr 1999 ein weltweit einzigartiger Datensatz zur Verfügung, der erstmals die Analyse der angesprochenen Muster des Verkehrsverhaltens über die Zeitachse zulässt (vgl. Axhausen, Zimmermann, Schönfelder, Rindsfuser und Haupt, 2000). Für die Wegetagebuchehebung *Mobidrive* mit über 350 Personen in den Städten Halle und Karlsruhe wurde ein Zeitraum von sechs Wochen gewählt, der sinnvolle Untersuchungen zur Rhythmik, zur intra-personellen Variabilität und zur Dynamik des Verhaltens zulassen sollte. Die einzig bekannte Wegetagbuchehebung, die einen ähnlich langen zusammenhängenden Erhebungszeitraum aufweist, ist der *Uppsala Household Travel Survey* von 1971, dessen Daten heute nicht mehr vollständig zur Verfügung stehen und nur noch bedingt den aktuellen Forschungsansprüchen entsprechen (vgl. Hanson und Burnett, 1981). Die in *Mobidrive* zunächst befürchtete Überforderung der Befragten durch die lange Erhebungsphase, die zu Ermüdungserscheinungen beim Berichten der Wege und Aktivitäten hätte führen können, ist nicht eingetreten. Die intensive Betreuung der Befragten hat zu einer überdurchschnittlichen Antwortquantität und –qualität geführt.

Die deskriptiven Analysen des Datensatzes sind inzwischen abgeschlossen (siehe z.B. Abbildung 1). Sie belegen den weitgehend routinisierten Charakter des Verkehrsverhaltens in den Bereichen Schule, Ausbildung und Arbeit, den Einfluss fester zeitlicher Strukturen der dynamischen Umwelt auf die Alltagsmobilität, aber auch die erst im Detail zu beobachtende Verhaltensvariabilität (vgl. Schlich, König und Axhausen, 2000).

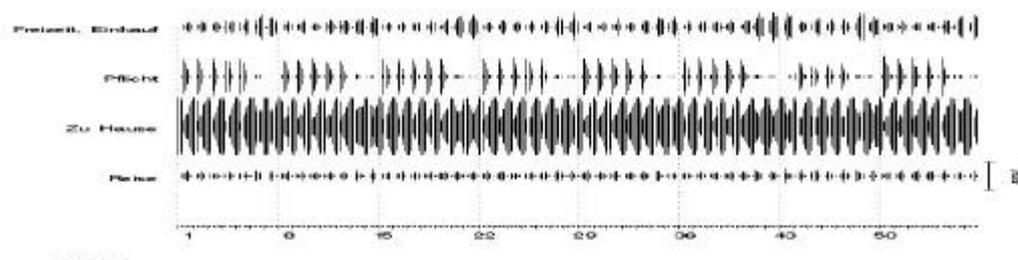


Abb. 1: Raum-Zeit-Verhalten über die Erhebungsperiode von *Mobidrive*: Dargestellt sind die relativen zeitlichen Anteile der verschiedenen Aktivitätenkategorien und des Unterwegsseins (*Reise*); Basis: Karlsruhe, beide Erhebungswellen

Nach den eher deskriptiven Analysen zur Aktivitätäusübung und zum Reiseverhalten von Personen und Haushalten sind bis dato eine Reihe von Modellschätzungen durchgeführt wurden, die teils auf bewährte quantitative Techniken der Verkehrsforschung zurückgreifen, teils mit innovativen Methoden aus artfremden Forschungsbereichen experimentieren. Mittelfristig sollen alle Ansätze in ein synthetisches, mikroskopisches Modell der Zeitplanung und des Verkehrsverhaltens integriert werden. Im Mittelpunkt der bisherigen Arbeiten standen die Identifizierung von fixen Strukturen des Alltagsverhaltens und dessen Variabilität (vgl. Schlich *et al.*, 2000) sowie die Analyse und Modellierung rhythmischer Muster des Verhaltens (vgl. Schönfelder und Axhausen, 2000a, 2000b). Letzteres wird an dieser Stelle skizziert, um einen Aspekt des *zeit-räumlichen Alltagsverhaltens* (Herz) darzustellen, der in Forschung und Praxis bisher vernachlässigt wurde.

**Analyse zeitliche Strukturen der Mobilität: Das Beispiel rhythmische Muster**

Für die Modellierung der rhythmischen Muster des Verkehrsverhaltens, d.h. wiedererkennbarer Elemente des Verhaltens, die periodisch über längere Zeiträume beobachtet werden können, wurden stochastische Modelle der *survival analysis* angewandt (vgl. Kalbfleisch und Prentice, 1980; Kleinbaum, 1996). Sie finden überall dort Anwendung, wo die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines bestimmten Ereignisses (hier: die Aufnahme einer bestimmten Aktivität im Verlauf der sechs Wochen) in Abhängigkeit von der Dauer eines Zustandes bzw. eines Prozesses prognostiziert werden sollen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit an oder nach einem bestimmten Zeitpunkt kann komprimiert durch die sogenannte Survivalfunktion  $S(t)$  und insbesondere die Hazardfunktion  $h(t)$  dargestellt werden. Die Survivalfunktion zeigt die Wahrscheinlichkeit des *Überlebens* eines Prozesses bis über einen betrachteten Zeitpunkt  $t$  hinaus. Die Hazardfunktion hingegen gibt das *unmittelbare Risiko* des Ereigniseintritts und damit das Ende des vorausgegangenen Prozesses in einer kleinen Zeitspanne zwischen den Zeitpunkten  $t$  und  $t+dt$  wieder. *Unmittelbar* deswegen, weil vorausgesetzt wird, dass das Ereignis bis dahin noch nicht eingetreten ist.

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| $Pr$ | Eintrittswahrscheinlichkeit        |
| $T$  | Andauern des Prozesses / der Dauer |
| $t$  | Betrachteter Zeitpunkt             |

Die konzeptionelle Grundannahme in *Mobidrive* besteht darin, dass die Periodizität bestimmter Verhaltensmuster im Verkehr als Wahrscheinlichkeitsfunktion im Sinne der *survival analysis* angesehen werden kann (vgl. Schönfelder und Axhausen, 2000a; 2000b). Das Risiko (*hazard*) des Ereigniseintritts ist dabei abhängig von der Dauer der Intervalle zwischen zwei Verhaltensmustern gleicher

$$h(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{Pr(t \leq T < t + dt | T \geq t)}{dt}$$

Art – beispielsweise dem Zurücklegen von Wegen mit identischen Attributen oder repräsentativer Sequenzen von Aktivitäten über einen längeren Zeitraum. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion kann somit konzeptionell als Bedürfnisaufbau angesehen werden, der zwischen der Ausübung zweier Muster zu beobachten ist – mit steigender Tendenz über den Zeitverlauf.

Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft die Ergebnisse eines non-parametrischen und damit kovariablen-unabhängigen Modells zur Analyse der Intervalle zwischen gleichartigen Aktivitäten. Dargestellt sind jeweils die Graphen der Survival- und Hazardraten für die Intervalle zwischen Aktivitäten gleicher Art. Betrachtet man die Hazardfunktionen und damit die Wahrscheinlichkeit der Aufnahme einer Aktivität nach einer gewissen Zeit, so lassen sich deutliche Muster bei den Aktivitäten *Sport (aktiv)* sowie *Verein / Initiative etc.* erkennen. Bei ihnen stellen sich die relativen Spitzen des unmittelbaren Risikos nach etwa sieben Tagen nach Aufnahme der letztmaligen Aktivität gleicher Art ein.

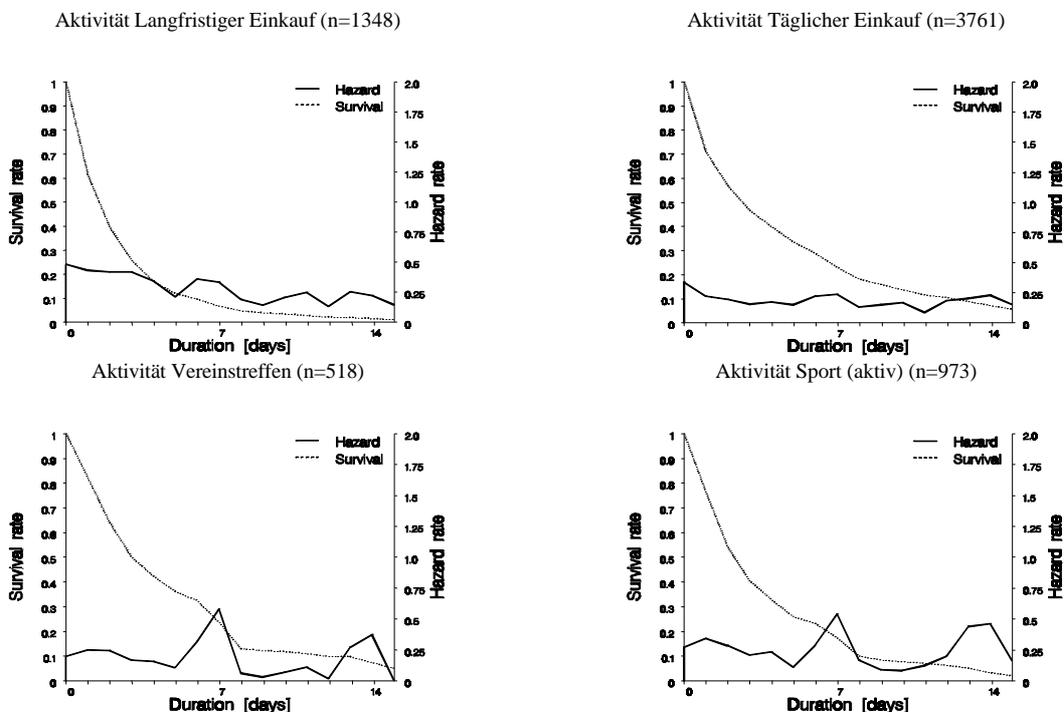


Abb. 2: Empirische Survival und Hazardraten ausgewählter Aktivitäten; Daten beider Fallstudienstädte (Schönfelder und Axhausen, 2000b)

Inhaltlich deuten die empirischen Ergebnisse darauf hin, dass das Verkehrsverhalten vor allem täglichen Strukturen folgen, bei dem wachenden Anteil von Freizeit- und Einkaufsaktivitäten jedoch auch wöchentlichen Mustern. Bei der Schätzung erster parametrischer Modelle, bei denen die sozio-demographischen Charakteristika der Reisenden als unabhängige Variablen einfließen, konnten die Rollenstrukturen im Haushaltskontext sowie Konsum- und Freizeitstile als wesentliche Determinanten der Periodizität des Verhaltens identifiziert werden.

### 3 PERSPEKTIVEN FÜR RÄUMLICHE ANALYSEN AUF DER EBENE VON PERSONEN UND HAUSHALTEN

Die längsschnitorientierte Struktur von Mobidrive bietet neben den Möglichkeiten zur Identifizierung zeitlicher Strukturen der Aktivitätenplanung und damit des realisierten Verkehrsverhaltens auf der disaggregierten Ebene interessante Ansatzpunkte für stärker räumlich-orientierte Untersuchungen über die Zeitachse. Ein Grossteil der über 40.000 berichteten Wege und Aktivitäten der Hauptstudie (September – Dezember 1999) konnten vom Projektpartner PTV AG geocodiert werden. Für die Grossräume Halle und Karlsruhe kann somit das zeit-räumliche Verhalten der Erhebungsteilnehmer koordinaten- bzw. adressscharf sichtbar gemacht werden. Hintergrund für die Geocodierung war die Generierung von kürzesten Wegen mit den entsprechenden theoretischen Reisezeiten für die beobachteten Quell-Ziel-Beziehungen, die in Entscheidungsmodelle der Ziel-, Routen- und Verkehrsmittelwahl einfließen werden.

Die Geocodierung der Mobidrive-Daten eröffnet interessante Möglichkeiten zur Analyse der Raumnutzung und –aneignung von Personen und Haushalten oder des Zusammenhangs zwischen den Erreichbarkeiten städtischer Teilräume und dem individuellen Verkehrsverhalten. Dafür können bestehende Konzepte der quantitativen Geographie angewandt werden. Neu ist nunmehr die langfristige Perspektive solcher Untersuchungen und die höhere *Aussagesicherheit* für Personen und Personengruppen. An dieser Stelle soll gezeigt werden, wie Konzepte der Aktionsraumforschung in das Analyseschema der laufenden Forschung integriert werden können (vgl. Horton und Reynolds, 1971; Klingbeil, 1978; Kreibich, Kreibich und Ruhl, 1987). In künftigen Arbeiten wird der Aspekt der Erreichbarkeiten und deren Einfluss stärker thematisiert.

#### Aktionsräumliche Analysen

Der Begriff *Aktionsraum* ist in der human-geographischen Forschung durch eine Reihe von Erklärungsansätzen charakterisiert, die u.a. die Konzepte des Wahrnehmungs- und Kenntnisraums (Dürr, 1979; Horton und Reynolds, 1971) oder das der *mental maps* (Gould und White, 1986) einschliessen. An dieser Stelle soll *Aktionsraum* im Sinne von Dürr als eine „Teileinheit des Wahrnehmungsraums, deren Einrichtungen das Individuum nicht nur kennt, sondern auch mehr oder weniger häufig aufsucht“ (Dürr 1979, 19) angesehen werden. Dabei verbinden wir diese Definition eng mit den Grundsätzen der Raum-Zeit-Geographie, die das menschliche Verhalten in ein komplexes System von individuellen und externen zeitlichen sowie räumlichen Restriktionen einordnen.

#### Anwendung 1: Point-Pattern analysis

Aussagen zur inneren Differenzierung des Aktionsraums erschliessen sich mittels quantitativer Analysemethoden aus der Geographie (vgl. dazu Fotheringham, Brundson und Charlton, 2000). Die Verteilung der Aktivitätsstandorte von Personen und Haushalten im Raum lassen sich als Punktmuster oder -wolke beschreiben, deren innere Struktur unterschiedlichen Hierarchisierungen und Intensitäten unterliegt.

#### Dispersion

Als Indikator für die Ausprägung (Dispersion) des Aktionsraums gilt die Standarddistanz  $d_s$ , definiert als Quadratwurzel der Distanz jedes einzelnen Aktivitätsstandorts vom gewichteten arithmetischen Mittelpunkt des Aktionsraums (*Gravitationszentrum*).

$$d_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}}$$

$(x_i, y_i)$     Koordinate eines beobachteten Aktivitätsortes  
 $(\bar{x}, \bar{y})$     Gewichteter arithmetischer Mittelpunkt  
 $n$             Anzahl aller beobachteten Aktivitätsstandorte einer Person

Abbildung 3 zeigt das Ausmass der Dispersion von Aktionsräumen für verschiedene sozio-demographische Gruppen der Karlsruher Stichprobe. Die Mobidrive-Daten lassen eine Darstellung über die einzelnen Wochentage zu.

Die gezeigten Boxplots erlauben eine übersichtliche Darstellung der wichtigsten statistischen Kenngrößen und damit eine vergleichende Beurteilung von Ausprägungen der errechneten Standarddistanzen. Die Box, deren innere Linie den Median repräsentiert, wird vom ersten und dritten Quartil (25. bzw. 75. Perzentil) begrenzt. Ferner sind der kleinste und der grösste Wert durch die sogenannten *whiskers* markiert, die die Ausläufer in den extremen Quartilen der Daten wiedergeben. Die *whiskers* erstrecken sich auf das 1,5-fache des Quartilabstandes. Ausreisser oder Extremwerte sind hier nicht dargestellt.

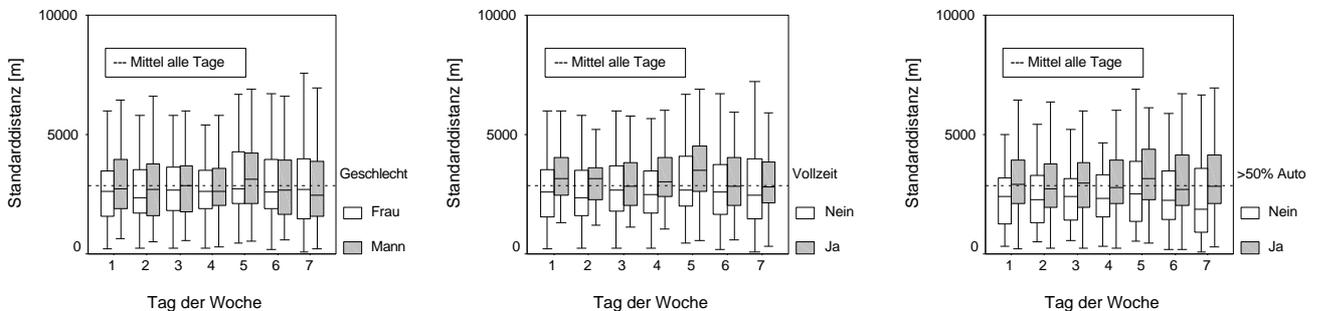


Abb. 3: Dispersionsniveaus von Aktionsräumen verschiedener sozio-demographischer Gruppen im Vergleich; Basis Mobidrive, Stichprobe Karlsruhe; alle Wege innerhalb der Stadt und des näheren Umlands (ca. 96% aller berichteten Wege); Mittel über alle Personen und Tage: 2881 m / Standardabweichung: 1146m;

Insgesamt variiert das Dispersionsniveau über die Gesamtstichprobe sowie über die Gruppen und Tage deutlich. Eine tendentiell extensive Raumnutzung ist an den Wochendenden und insbesondere an Freitagen über alle Vergleichsgruppen zu erkennen.

Zwischen den Ausprägungen der Aktionsräume von Männern und Frauen sind keine wesentlichen Unterschiede über die einzelnen Tage der Woche festzustellen, wohl aber bei denen der beiden anderen gezeigten Vergleichsgruppen. Die Aktivitätsstandorte von Vollzeitbeschäftigten mit mehr als 30 Stunden Wochenarbeitszeit und von eifrigen Nutzern des Automobils, die mehr als 50% der

berichteten Wegdistanzen mit dem Auto zurückgelegt haben, verteilen sich weniger konzentriert im Stadtgebiet als die der Vergleichspersonen über alle Wochentage. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Möglichkeiten, die das Automobil zu einer extensiveren Nutzung des Raums bietet, wahrgenommen werden. Desweiteren weisen Vollzeitbeschäftigte trotz oder gerade wegen ihrer festen wöchentlichen Zeitplanung grössere Aktionsradien auf als Personen mit vermeintlich freierer Zeiteinteilung.

**Clusterstrukturen**

Die räumliche Variabilität des Verhaltens bzw. das Spektrum der besuchten Gelegenheiten bleibt über den langen Zeitraum der sechs Wochen gesehen überschaubar (vgl. Abbildung 4) – zumindest dann, wenn die Gesamtstichprobe betrachtet und für die Wege jeweils nur das Attribut Aktivitätsstandort gewählt wird. Nur etwa 2-4 Hauptgelegenheiten decken mehr als 70% des gesamten Spektrums der besuchten Standorte ab. Selbst bei der separaten Berücksichtigung der nicht-obligatorischen und damit vermeintlich räumlich-variablen Aktivität *Freizeit* lassen sich keine wesentlichen Abweichungen vom Gesamtbild beobachten. Die zwei am meisten besuchte Gelegenheiten in der Freizeit erschliessen in *Mobidrive* rund zwei Drittel aller Wege mit dem Zweck Freizeit.

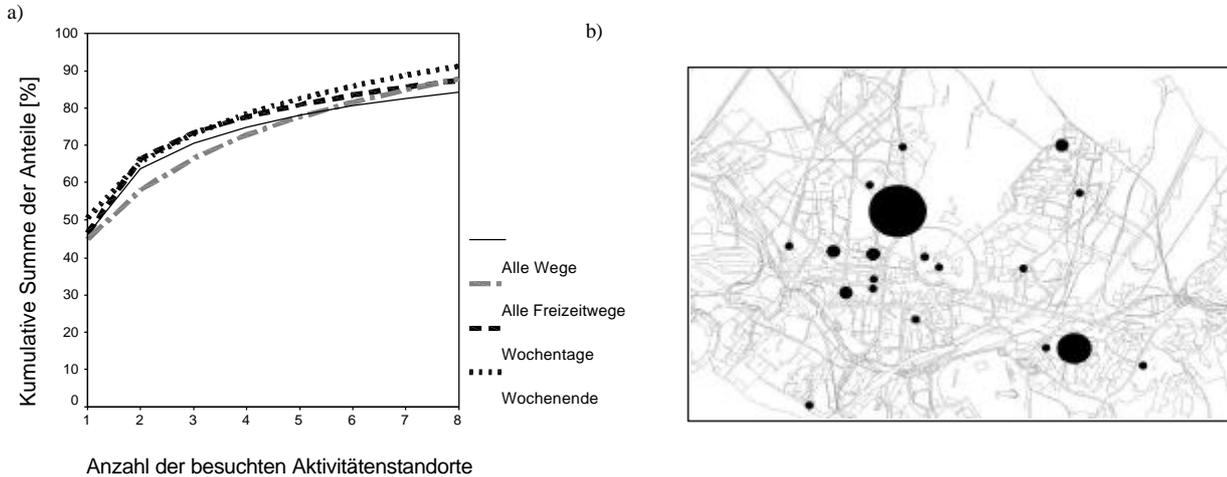


Abb. 4: a) Anzahl der besuchten Gelegenheiten und deren Anteil an allen zurückgelegten Wegen; b) Schematische Darstellung von Besuchsintensitäten berichteter Aktivitätsstandorte einer Person

Diese Resultate deuten darauf hin, dass der strukturelle Charakter von Aktionsräumen im wesentlichen durch die Bedürfnisse und insbesondere die Verpflichtungen der Verkehrsteilnehmer zur Ausübung bestimmter Aktivitäten an vorgegebenen Orten bestimmt wird. Damit bilden sich aufgrund von persönlichen Überlegungen zur Minimierung von Reisezeit und –distanzen unter Umständen Cluster von Standorten rund um die Gelegenheiten der Pflichtaktivitäten und die Wohnung. Vorherrschend sind meist bipolare Strukturen der Besuchsintensität bzw. der Verkehrsnachfrage innerhalb des Aktionsraums (vgl. Abbildung 4b).

Die Analyse der inneren Struktur solcher Cluster soll Aufschluss darüber geben, welche Art von Bedürfnissen im Nahbereich der Zentroide befriedigt werden. Für eine erste Annäherung an diese Fragestellung wurden die Aktivitätsstandorte aller Personen aufbauend auf den oben gezeigten Resultaten in drei räumliche Cluster kategorisiert (Clusteranalyse, Methode: *Disjoint cluster analysis* nach (Anderberg, 1973)). Gezeigt werden die Ergebnisse zweier ausgewählter Befragten. Auf eine Unterscheidung zwischen Wochentage und Wochenende oder von Clustern über die Zeitachse wird an dieser Stelle aufgrund der geringen Fallzahlen pro Person an den Wochenenden verzichtet.

Tabelle 1 Clusterstrukturen innerhalb der Aktionsräume ausgewählter Personen

Beispiel a) Karlsruhe, Mann, voll berufstätig, 42 Jahre, Führerschein, 4-Personen-Haushalt mit 2 minderjährigen Kindern

| Anteile der Wege mit Wegzweck ... an allen Wegen mit dem Zweck dieser Art [%] |        |        |          |                   |                       |              |                            |    |
|---|--------|--------|----------|-------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|----|
| Anzahl zugeordneter Wege<br>(Total=171)                                       | Wohnen | Arbeit | Freizeit | Einkaufen täglich | Einkaufen langfristig | Erledigungen | Jemanden bringen od. holen |    |
| Cluster 1   | 122    | 100    | -        | 76                | 83                    | 50           | 57                         | 58 |
| Cluster 2   | 39     | -      | 100      | 24                | 17                    | -            | 14                         | 5  |
| Cluster 3   | 10     | -      | -        | -                 | -                     | 50           | 29                         | 37 |

Beispiel b) Halle, Frau, 69 Jahre, Führerschein, Rentnerin, 2-Personen-Renterhaushalt

| Anteile der Wege mit Wegzweck ... an allen Wegen mit dem Zweck dieser Art [%] |        |        |          |                   |                       |              |                            |   |
|---|--------|--------|----------|-------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|---|
| Anzahl zugeordneter Wege<br>(Total=100)                                       | Wohnen | Arbeit | Freizeit | Einkaufen täglich | Einkaufen langfristig | Erledigungen | Jemanden bringen od. holen |   |
| Cluster 1   | 64     | 100    | -        | 40                | 83                    | -            | 17                         | - |
| Cluster 2   | 28     | -      | -        | 43                | 17                    | -            | 75                         | - |
| Cluster 3   | 8      | -      | -        | 17                | -                     | -            | 8                          | - |

Die Clusterstrukturen für beide Beispielpersonen zeigen, dass der Wohnstandort als Zentrum für die meisten weiteren Aktivitäten dominiert. In beiden Fällen wird im Nahbereich der Wohnung das Gros des täglichen Einkaufs absolviert sowie ein beträchtlicher Anteil an den (innerstädtischen) Freizeitaktivitäten. Signifikante Fallzahlen erreichen nur die beiden ersten Cluster – der (willkürlich definierte) dritte Cluster spielt selbst im Beispiel b) mit einer Person ohne feste Verpflichtung im Tagesverlauf (*Arbeit* oder *Schule*) nur eine untergeordnete Rolle.

### Anwendung 2: Das Prinzip der *Travel-probability fields*

Eine ähnliche Richtung der aktionsräumlichen Analyse schlagen die Arbeiten des UMOT-Projekts (*Unified Mechanism of Travel*) und nachfolgender Studien ein (Zahavi 1979; Beckmann, Golob und Zahavi 1983a; 1983b). Auch hier wurden räumliche Dichten von Aktivitätsstandorten untersucht und mit Hypothesen zum unterschiedlichen Charakter solcher Verteilungen unter Berücksichtigung der Verkehrsmittelwahl und der Raumstruktur verknüpft. Im Zentrum des Konzeptes steht die Berechnung von sogenannten *travel fields*, die als Indikator für den Aktionsraum von Verkehrsteilnehmern stehen (Zahavi, 1979). *Travel fields* sind Gebiete, in denen sich der überwiegende Teil aller beobachteten Wegziele (Aktivitätsstandorte) befinden. In den UMOT-Studien wurden einerseits regionale Verkehrsbeziehungen auf einer aggregierten Ebene untersucht, andererseits das Verkehrsverhalten von verschiedenen Bevölkerungssegmenten im Vergleich. *Mobidrive* lässt es zu, an die differenzierteren Analysen unter Berücksichtigung von Wegzwecken und sozio-demographischen Charakteristika der Reisenden anzuknüpfen.

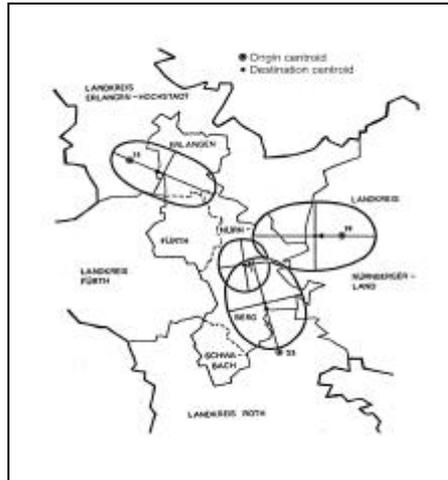
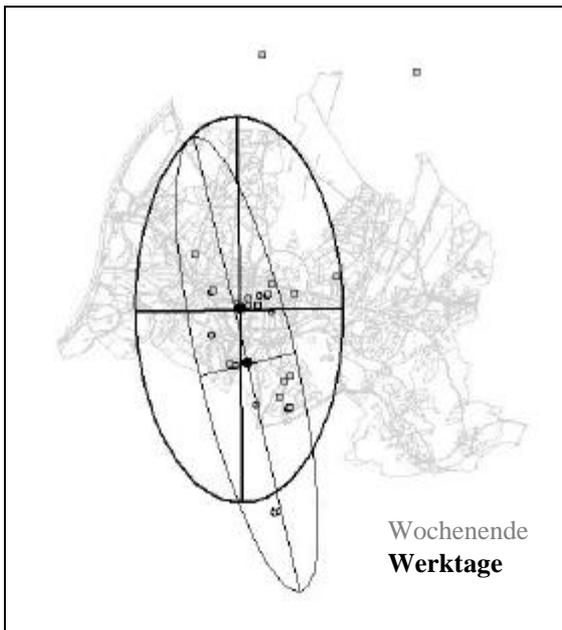


Abb. 5: Travel probability fields in der Region Nürnberg (Zahavi, 1979, 230)

Für eine Annäherung an jenes Prinzips und deren graphische Darstellung wird an dieser Stelle auf ein Tool der ARCVIEW-Extension *Movement* zurückgegriffen (Hooge, 2000), das vom *Alaska Biological Science Centre* ursprünglich für geographische Auswertungen in der Habitat-Forschung entwickelt wurde. *Movement* kommt vor allem deswegen hier zur Anwendung, weil es vollständig in eine GIS-Umgebung integriert ist und damit eine Verknüpfung zwischen räumlicher Statistik und anschaulicher Darstellung garantiert.

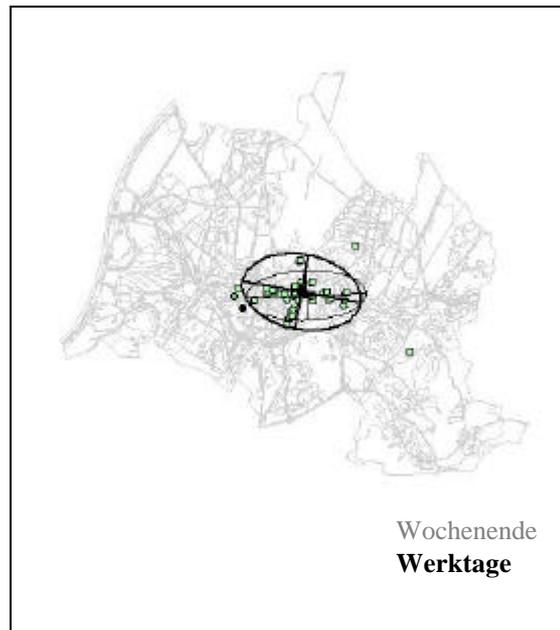
Aufgrund der Intensitäten der Nutzung bestimmter Standorte im Raum wird statistisch ein ellipsenförmiges (*nicht-rundes*) Gebiet ermittelt, in denen ein definierter Anteil der *Gesamtnutzung des Raumes* stattfindet. Dem Tool liegt das Konzept der *Non-Circular Home Range* (Jennrich, 1969) zugrunde, das ähnlich wie bei den *travel probability fields* von einer (räumlichen) Normalverteilung der Standorte ausgeht. Die Ellipsen basieren auf der Kovarianzmatrix der besuchten Standorte einer Person. Wesentlicher Unterschied zur UMOT-Konzeption ist die Tatsache, dass kein gewichtetes Zentrum für die *Wegquellen* (auf der Personen- und Haushaltsebene in der Nähe der Wohnung oder die Wohnung selber) separat betrachtet wird, sondern der Wohnstandort selbst als wichtiger Aktivitätsstandort die Analyse eingeht. Sie rückt als am häufigsten frequentiertes Ziel nah ans Zentrum der Ellipse. Damit gehen tendentiell Informationen über die räumliche Ausrichtung der Felder verloren, andererseits wird somit die stark einschränkende Annahme über die monozentrische Struktur der Stadt durch eine ggf. realistischere Annahme zur Bedeutung des Wohnstandorts als Verkehrsnachfragequelle ersetzt.

Die folgende Darstellung (Abbildung 6) bezieht sich auf einen Vergleich zweier ausgewählter Personen aus Karlsruhe. In die Analyse sind alle Aktivitätsstandorte der Reisenden eingegangen, die in einem Radius von etwa 10 km um das Stadtzentrum der Stadt Karlsruhe berichtet wurden.



Wochenende  
Werktage

Beispiel a) Vollzeitbeschäftigter, 45 Jahre, Fahrzeughalter, 3-Personen-Haushalt mit einem schulpflichtigen Kind im Haushalt



Wochenende  
Werktage

Beispiel b) Studentin, 21 Jahre, mit Fahrzeug, alleinlebend

Abb. 6: Auswahl von Gebieten intensiver Nutzung einzelner Befragungsteilnehmer im zeitlichen Vergleich (nach Jennrich, 1969); Basis: Mobidrive, Daten Karlsruhe

Die hier dargestellten Felder decken 95% der individuellen Raumnutzung im Einzugsbereich der Stadt Karlsruhe ab. Die Wahrscheinlichkeit, dass Gelegenheiten ausserhalb der Ellipsen aufgesucht werden, ist aufgrund des realisierten Verkehrsverhalten über die sechs Wochen sehr gering.

Zwischen den ausgewählten Personen, jedoch auch im intra-personellen Vergleich über die Zeitachse bestehen erkennbare Unterschiede im Ausmass (Grösse) des Aktionsraums, dessen Lage im Stadtgebiet und der Hauptachsen der Raumnutzung. Während im Fall b) – trotz der Autoverfügbarkeit – ein überschaubarer Bereich in der Innenstadt abgedeckt wird, erstreckt sich das Feld im ersten Fall auf ein vielfach grösseres Gebiet im Westen der Stadt Karlsruhe. Die Hauptachsen der Raumnutzung orientieren sich aufgrund der anzunehmenden bipolaren Struktur der Aktivitätsstandorte an der Verbindung zwischen Wohnung und dem Standort der Hauptaktivität wie Arbeit oder Ausbildung. Besonders deutlich wird dies im zweiten Beispiel, wo die Hauptachse sich an die infrastrukturelle Ost-West-Ausrichtung der Kernstadt anlehnt.

Interessant ist der intra-personelle Vergleich der Felder zwischen den Werktagen und dem Wochenende. Während im Beispiel der Studentin keine wesentliche Variabilität in der Grösse und Ausrichtung des Aktionsraums festzustellen ist, verkleinert sich der Bewegungsraum im ersten Fall deutlich – ohne jedoch seine Hauptausrichtung zu verlieren.

Insgesamt erscheint das Prinzip der *travel fields* als gute Technik der räumlichen Analyse, weil Interaktionen zwischen Verkehrsnachfrage, Infrastruktursystemangebot und städtischer Struktur berücksichtigt werden können. Detailliertere Untersuchungen werden zeigen, ob die Resultate der UMOT-Studien wie beispielsweise

- ?? die Ausrichtung der Hauptachsen in Richtung des Stadtzentrums und an der gegebenen Netzinfrastruktur
  - ?? Unterschiede bei der Extensität der Raumnutzung je nach vorherrschender Verkehrsmittelwahl und
  - ?? die Abhängigkeit der Grösse der Felder von der Entfernung des Wohnstandorts vom Stadtzentrum
- bestätigt werden können.

#### 4 IMPLIKATIONEN FÜR FORSCHUNG, PLANUNG UND POLITIK

Die skizzierten Untersuchungen und Ergebnisse zu den Strukturen der Mobilität von Personen und Haushalten über die Zeitachse belegen unseres Erachtens die Bedeutung von Längsschnittstudien für die Verkehrs- und Raumwissenschaft. Aufgrund der langen Erhebungsperiode von Mobidrive ist es möglich, Aussagen über die individuelle Alltagsmobilität zu treffen, die weit über den Detaillierungsgrad der bisherigen Stichtagsbefragungen hinausgehen. Damit können der Planung und Politik, aber auch den Anbietern von öffentlichen und privaten Verkehrsdienstleistungen wichtige Hinweise über die Struktur der Verkehrsnachfrage und deren zeitliche Struktur gegeben werden.

Die Erfahrungen und Resultate aus Mobidrive stellen Forschung und insbesondere die planerisch-politischen Akteure vor neue Herausforderungen, worauf abschliessend kurz eingegangen werden soll:

##### Forschung

- ?? Längsschnitterhebungen stellen eine sinnvolle Ergänzung des Pools an Datenquellen für die Verkehrs- und Raumplanung dar, nicht zuletzt, weil sie die Aussagesicherheit zum persönlichen Verkehrsverhalten deutlich verbessern. Sie sollten neben den klassischen Stichtagserhebungen (KONTIV, Mikrozensus etc.) verstärkt eingesetzt werden, um das Alltagsverhalten detaillierter darzustellen und die Wechselwirkungen mit dem Reisekontext zu erfassen.
- ?? Die Ergänzung des Erhebungsreportoirs um Langfristuntersuchungen erfordert für grössere Stichproben, bei denen ein ähnlich hoher Betreuungsaufwand wie in Mobidrive nicht geleistet werden kann, eine Modifikation bzw. Beschränkung des Erhebungsaufwandes. Im Raum steht die Frage, ob für periodisch wiederkehrende Aktivitäten oder Wege die Abfrage von Häufigkeiten anstatt des retrospektiven Berichtens in Wegetagbüchern nicht die effizientere Lösung darstellt. Erste Erfahrungen mit der Formel „*frequency-based surveys versus trip-based surveys*“ konnten bereits in Frankreich gesammelt

werden (Massot, Madre und Armoogum, 2000). Desweiteren könnten Tools zum Einsatz kommen, die das Verhalten von Verkehrsteilnehmern automatisch erfassen (Mobilfunk, GPS o.ä.).

- ?? Die 6-Wochen-Daten zeigen eine vermeintlich hohe Stabilität des intra-personellen zeit-räumlichem Verhaltens – insbesondere dann, wenn Wege oder Aktivitäten nur durch wenige Attribute beschrieben werden. Insgesamt jedoch besteht eine grosse Hintergrundvariabilität und -dynamik, wenn Mobilität im umfassenden Sinne erfasst wird. Wesentliche Voraussetzung für die Analyse und Prognose jener Variabilität im Verkehrsverhalten von Personen und Haushalten ist die Entwicklung geeigneter Methoden zur Messung und zum Vergleich von Verhaltensaspekten – insbesondere von individuellen täglichen Aktivitätsmustern und resultierenden Wegeketten.
- ?? Die bisher generierten explorativen Ergebnisse in *Mobidrive*, die im Projektverbund weiter ergänzt und nach Freigabe der Daten für Dritte sicher noch zahlreicher werden, sollten in eine umfassende Mikrosimulation des Verkehrsverhaltens von Personen und Haushalten münden. Schon jetzt sind Anknüpfungspunkte mit bestehenden Konzepten wie z.B. *scheduling tools* (z.B. HATS, CHASE etc.) erkennbar, die mit den Informationen zu den langfristigen zeitlichen Strukturen des Verhaltens ergänzt und optimiert werden können.

#### Planung und Politik

Longitudinale Daten vervollständigen die empirischen Grundlage für verkehrsrelevante politische und planerische Entscheidungen. Die Erhebung und Auswertung von Langfristedaten wird dazu beitragen, die Wechselwirkungen zwischen Zeitplanung, Aktivitätenerzeugung und Entscheidungsfindung der Reisenden zu repräsentieren. Damit kann die Kenntnis über nötige Störungen zur Veränderung von Verhaltensroutinen im Verkehr verbessert werden. Eine Unterstützung von langfristigen Erhebungsansätzen seitens öffentlicher und privater Entscheider wird die Methodenentwicklung für diesen neuen Bereich der Verkehrsverhaltensforschung voranbringen, vor allem aber die Basis für zielgenaue und sensible Planungen für Mobilität und Raum optimieren.

Dies gilt insbesondere für die Bereiche der Entscheidungsfindung, in denen die Alltagsmobilität und deren zeitliche Strukturen von grosser Bedeutung sind. Dazu gehören die kleinräumige Organisation von Flächennutzungen bei Neuplanung und im Bestand bzw. die Ausstattung städtischer Teilräume mit konsum- und freizeitorientierter Infrastruktur, das Design von Angebotskonzepten im öffentlichen Verkehr und dort vor allem für den wachsenden Bereich des Freizeitverkehrs (Anpassung der Angebotsstruktur an tatsächliche Nachfrage) oder aber die Steuerung der Nachfrage durch Information und Preise. Die weitere Gestaltung des Verkehrsmarktes durch nachfragegerechte Angebote und die Kenntnis der Wirkungen von politischen Entscheidungen können damit gleichermaßen gefördert werden.

## 5 LITERATURVERZEICHNIS

- Anderberg, M.R. (1973) *Cluster Analysis for Applications*, Academic Press, New York.
- Axhausen K.W., A. Zimmermann, S. Schönfelder G. Rindsfuser and T Haupt (2000) Observing the rhythms of daily life: A six-week travel diary, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **25**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau der ETH Zürich, Zürich.
- Beckmann, M.J., T.F. Golob and Y. Zahavi (1983a) Travel probability fields and urban spatial structure: 1. Theory, *Environment and Planning A*, **15**, 593-606.
- Beckmann, M.J., T.F. Golob and Y. Zahavi (1983b) Travel probability fields and urban spatial structure: 2. Empirical tests, *Environment and Planning A*, **15**, 727-738.
- Dürr, H. (1979) Planungsbezogene Aktionsraumforschung – Theoretische Aspekte und eine Pilotstudie, *Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, **34**, Hannover.
- Fotheringham, A.S., C. Brunsdon und M. Charlton (2000) *Quantitative Geography*, Sage, London.
- Gould, P. und R. White (1986) *Mental Maps*, Routledge, London.
- Hanson, S. und J.O. Huff (1982) Assessing day-to-day variability in complex travel patterns, *Transportation Research Record*, **891**, 18-24.
- Hanson, S. und K.O. Burnett (1981) Understanding complex travel behavior: Measurement issues, in P.R. Stopher, A.H. Meyburg und W. Brög, *New Horizons in Travel-Behaviour Research*, 207-230, Lexington, Massachusetts/Toronto.
- Hooge, P.N. (2000) Movement, Animal Movement analysis arcview extension, [http://www.absc.usgs.gov/glba/gistools/animal\\_mvmt.htm](http://www.absc.usgs.gov/glba/gistools/animal_mvmt.htm), Alaska Biological Science Center, Glacier Bay.
- Horton, F. und D.R. Reynolds (1971) Effects of Urban Spatial Structure on Individual Behaviour, *Economic Geography*, **47**, 36-48.
- Jennrich, R.I. (1969) Measurement of non-circular home range, *Journal of Theoretical Biology*, **22**, 227-237.
- Jones, P.M., M.C. Dix, M.I. Clarke, und I.G. Heggie (Hrsg.) (1983) *Understanding Travel Behaviour*, Gower, Aldershot.
- Kalbfleisch, J.D. und R.L. Prentice (1980) *The Statistical Analysis of Failure Time Data*, Wiley, New York.
- Kleinbaum, D. G. (1996) *Survival analysis : A Self-learning Text*, Springer, New York.
- Klingbeil, D. (1978) Aktionsräume im Verdichtungsraum, Zeitpotentiale und ihre räumliche Nutzung, Münchener Geographische Hefte, **41**, Verlag Michael Lassleben, Kallmünz/Regensburg.
- Kreibich, V., B. Kreibich und G. Ruhl (1987) Aktionsraumforschung in der Landes- und Regionalplanung, Entwicklung eines Raum-Zeit-Modells, Schriftenreihe Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen, **1041**, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS), Dortmund.
- Massot, M.-H., J.-L. Madre und J. Armoogum (2000) Monthly frequency versus previous day description of trips, What information is needed on urban mobility? Presentation at the 9<sup>th</sup> International Association of Travel Behaviour Conference, Gold Coast/Queensland.
- Schlich, R., A. König und K.W. Axhausen (2000) Stabilität und Variabilität im Verkehrsverhalten, *Straßenverkehrstechnik*, **44** (9) 431-440.
- Schönfelder, S. und K.W. Axhausen (2000a) Periodizität im Verkehrsverhalten: Erste Ergebnisse mit Überlebenszeitmodellen, *Stadt Region Land*, **69**, 131-144, Institut für Stadtbauwesen, RWTH Aachen.
- Schönfelder, S. und K.W. Axhausen (2000) Analysing the rhythms of travel using survival analysis, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **43**, Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH, Zürich.
- Schönfelder, S. und K.W. Axhausen (2000b) Modelling the rhythms of travel using survival analysis, *Arbeitsberichte Verkehr- und Raumplanung*, **43**, IVT, ETH, Zürich.
- Zahavi, Y. (1979) The 'UMOT' Project, *US Department of Transportation RSPA-DPB*, **20-79-3**, US Department of Transportation, Washington.

## DANKSAGUNG

Die Autoren danken Frau S. Kickner, Universität Göttingen, für die freundliche Überlassung von Geodaten und GIS-Coverages für die Stadt Karlsruhe.

