Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**
**Office fédéral des routes**
**Ufficio federale delle Strade**

# Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs

## Activity oriented analysis of induced travel demand

## Analyse orientée aux activités du trafic induit

**IVT, ETH Zürich**
**Claude Weis**
**Kay W. Axhausen**

**Forschungsauftrag SVI 2004/012 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

**April 2012** **1362**

# Impressum

## Forschungsstelle und Projektteam

**Projektleitung**
Kay W. Axhausen

**Mitglieder**
Claude Weis

## Begleitkommission

**Präsident**
Michel Simon

**Mitglieder**
Stefan Dasen
Helmut Honermann
Samuel Waldvogel
René Zbinden

## Antragsteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

## Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von http://partnershop.vss.ch heruntergeladen werden.

# Inhaltsverzeichnis


**Impressum** ..... **4**
**Zusammenfassung** ..... **7**
**Résumé** ..... **11**
**Summary** ..... **14**

**1 Motivation und Zielsetzung** ..... **17**
**2 Definition und Abgrenzung des Begriffs „Neuverkehr“** ..... **21**
**3 Erster Teil: Aggregierte Zeitreihenanalyse** ..... **24**
3.1 Stand der Forschung ..... **24**
3.2 Datenquellen und -aufbereitung ..... **25**
3.2.1 Schweizer Mikrozensen Verkehr, 1974 – 2005 ..... 25
3.2.2 Gemeindedaten ..... 27
3.2.3 Preisindex Personenverkehr ..... 27
3.3 Konstruktion der Pseudopanel-Daten ..... **27**
3.3.1 Verwendete Variablen ..... 28
3.4 Formulierung der generalisierten Kosten ..... **32**
3.4.1 Erreichbarkeiten der Gemeinden ..... 32
3.4.2 Logsum-Terme aus Modellen der Verkehrsmittel- und Zielwahl ..... 35
3.4.3 Preisindex Personenverkehr ..... 35
3.5 Deskriptive Analyse der Daten ..... **35**
3.5.1 Haushaltsgrösse ..... 36
3.5.2 Erwerbstätigkeit ..... 36
3.5.3 Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen ..... 37
3.5.4 Mobilität ..... 38
3.6 Grundmodelle ..... **39**
3.6.1 Modellansatz ..... 40
3.6.2 Ergebnisse der Modellschätzung ..... 40
3.7 Structural Equation Modelle ..... **47**
3.7.1 Modellansatz ..... 48
3.7.2 Ergebnisse der Modellschätzungen ..... 49
3.8 Berechnung der Nachfrageelastizitäten ..... **51**
3.9 Anwendung ..... **53**
3.10 Zwischenfazit ..... **56**
**4 Zweiter Teil: Disaggregierte Analyse** ..... **57**
4.1 Stand der Forschung ..... **57**
4.2 Methodik ..... **58**
4.2.1 Verkehrstagebücher ..... 58
4.2.2 Stated Adaptation Interviews ..... 61
4.3 Feldarbeit ..... **63**
4.3.1 Rekrutierungserfolg und Rücklauf ..... 63
4.3.2 Deskriptive Analyse der Teilnehmerstichprobe ..... 64
4.4 Berichtetes Verkehrsverhalten ..... **68**
4.4.1 Generelle Mobilitätsindikatoren ..... 68
4.4.2 Verkehrsmittelwahlanteile ..... 69
4.4.3 Fahrtzweckanteile ..... 70
4.5 Veränderung der Rahmenbedingungen ..... **70**
4.6 Anpassungen der Verhaltensmuster ..... **71**
4.6.1 Veränderungen der Anzahl Aktivitäten und Reisen ..... 71
4.6.2 Veränderungen der Abfahrtszeit ..... 74
4.6.3 Veränderungen der Aktivitätendauer ..... 74
4.6.4 Veränderungen der Unterwegsdauer ..... 74
4.6.5 Veränderungen der Zeit zu Hause ..... 74
4.7 Modellansatz ..... **79**
4.7.1 MNL für die Vorhersage der Reaktion ..... 81
4.7.2 Regressionsmodell für die Vorhersage der Menge kompensierter Zeit ..... 82
4.7.3 MDCEV für die Vorhersage der Aufteilung der kompensierten Zeit ..... 82
4.7.4 CNL für die Vorhersage zusätzlicher Anpassungen ..... 83

4.8 Modellergebnisse ..... **84**
4.8.1 MNL für die Vorhersage der Reaktion ..... 84
4.8.2 Regressionsmodell für die Vorhersage der Menge kompensierter Zeit ..... 86
4.8.3 MDCEV für die Vorhersage der Aufteilung der kompensierten Zeit ..... 88
4.8.4 CNL für die Vorhersage zusätzlicher Anpassungen ..... 91
4.9 Anwendung der Modellergebnisse ..... **94**
4.9.1 Allgemeine Beispiele ..... 94
4.9.2 Konkrete Fallstudien ..... 97
4.9.3 Elastizitäten ..... 102
4.10 Zwischenfazit ..... **103**
**5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen ..... 105**
**6 Dank ..... 106**

**Anhänge ..... 107**
**Literaturverzeichnis ..... 135**
**Abkürzungen ..... 141**
**Projektabschluss ..... 143**
**Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen ..... 147**

# Zusammenfassung

## Ziele und Motivation

Neuverkehr oder induzierter Verkehr, ein Phänomen welches hier als zusätzliche durch Verbesserungen der Verkehrsbedingungen erzeugte Verkehrsnachfrage definiert ist, ist in der Verkehrsmodellierung seit Jahren Thema verschiedener Forschungsprojekte. Diese konzentrierten sich bisher hauptsächlich auf die Bewertung der Nebeneffekte einzelner Massnahmen, welche solche Verbesserungen erzeugen. Im Vergleich zu früheren Studien, welche sich meist mit spezifischen und lokalen Veränderungen, wie z.B. dem Bau neuer Strassen oder Bahnlinien in bestimmten Korridoren, und vor allem mit deren Nebeneffekten, beschäftigten, weichen die Zielsetzungen im hier beschriebenen Projekt methodisch und thematisch ab.

Es soll aufgezeigt werden, wie sich Veränderungen in den generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme auf die Erzeugung der Verkehrsnachfrage auswirken. Die interessierenden Dimensionen der Nachfrage liegen hier auf der Seite derer Erzeugung auf Individuen- bzw. Kohortenebene: die Wahrscheinlichkeit, an einem bestimmten Tag eine oder mehrere Aktivitäten ausser Haus zu unternehmen, also mobil zu sein; die Anzahl der unternommenen Aktivitäten und der damit einhergehenden Wege, Wegeketten und Reisen; und die daraus resultierenden gesamthaft ausser Haus verbrachten Dauern und zurückgelegten Entfernungen.

Die zentralen Hypothesen betreffen hier Nachfrageveränderungen als Reaktion auf Veränderungen der generalisierten Kosten. Wenn die generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme sinken, steigen sowohl die Zeit- als auch die monetären Ressourcen zum Unternehmen von Wegen und Aktivitäten. Es wird angenommen, dass diese Verschiebung der Ressourcenverfügbarkeit in den hier relevanten Dimensionen zu einer Anzahl von nachfrageerzeugenden Reaktionen führt:

- Zunahme der Wahrscheinlichkeit, an ausser-Haus-Aktivitäten teilzunehmen, also mobil zu sein;
- Zunahme der Anzahl und Dauer der ausser Haus durchgeführten Aktivitäten und Wege;
- Zunahme der Nachfrage nach Verkehrsleistungen (zurückgelegte Distanzen).

## Langfristige Analyse

Im Idealfall verlangt die Analyse der hier formulierten Hypothesen und deren Zusammenspiel für einen längeren Zeithorizont, wie sie im ersten Teil des Projektes durchgeführt wurde, nach einem Datensatz im Längsschnitt (Panel, also wiederholte Befragung derselben Personen), welcher sowohl eine lange Zeitperiode als auch eine grosse räumliche Ausdehnung abdeckt (um genügend Variation zur Quantifizierung der Effekte zu beinhalten), und gleichzeitig nach einer sorgfältigen Beschreibung der Niveaus und Veränderungen der generalisierten Kosten. Aufgrund mangelnder Datengrundlagen für eine echte Panel-Analyse wurde in diesem Projekt nach einer zweitbesten Lösung gesucht. Diese besteht hier in der Anwendung eines sogenannten *Pseudopanel*s.

Zur Bildung eines *Pseudopanels* werden individuelle Datensätze verschiedener Querschnittserhebungen in Gruppen mit konsistenter Definition zusammengefasst. Die durchschnittlichen Mitglieder dieser Gruppen werden dann wie Individuen, welche in einem echten Panel über die Zeit verfolgt werden, behandelt. So entsteht ein künstlicher Panel-Datensatz aus der Zusammenfassung einer Serie von Querschnittserhebungen. Die Hauptquelle für die Erstellung des *Pseudopanel*-Datensatzes stellen die Mikrozensen Verkehr Schweiz von 1974 bis 2005 dar. Es handelt sich bei den Mikrozensen um personenbezogene Befragungen zum effektiven Verkehrsverhalten an einem bestimmten Tag,

welche ca. alle 5 Jahre durchgeführt werden.

Der für das Testen der oben aufgezählten Hypothesen verwendete Modellansatz ist ein *Structural Equation Modell*, welches die simultane Quantifizierung aller exogenen (unabhängigen) Variablen auf alle endogenen (abhängigen) Variablen erlaubt und gleichzeitig sowohl Fehlerkorrelationen als auch direkte Beeinflussungen unter den endogenen Variablen abzubilden vermag. Die wesentlichen Schlüsse aus den Modellergebnissen werden hier kurz skizziert.

Der für die vorliegende Arbeit interessanteste Effekt ist sicherlich der Einfluss der Variablen zur Beschreibung der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme. So hat selbst nach Einbindung aller übrigen Variablen die Erreichbarkeit einen signifikant positiven Einfluss auf die Mobilität, während für den Preisindex ein negativer Effekt nachgewiesen werden konnte. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass reduzierte generalisierte Kosten der Verkehrsteilnahme tatsächlich einen positiven Effekt auf die Mobilität haben.

Aus den geschätzten Regressionsparametern wurden für die Variablen, welche für die Beschreibung der generalisierten Kosten verwendet wurden, langfristige Nachfrageelastizitäten ermittelt, welche eine konsistente Quantifizierung der oben beschriebenen Effekte liefern und deren Anwendung auf verschiedene Szenarien erlaubt.

Ermittelte Nachfrageelastizitäten

| | | |
|---|---|---|
| Erreichbarkeit (MIV & ÖV) | Ausser-Haus-Anteil | 0.61 |
| | Anzahl Wege | 0.44 |
| | Anzahl Wege pro Reise | 0.24 |
| | Ausser-Haus-Dauer | 0.10 |
| | Zurückgelegte Distanz | 1.14 |
| Preisindex Personenverkehr | Ausser-Haus-Anteil | -0.06 |
| | Anzahl Wege | -0.19 |
| | Anzahl Wege pro Reise | -1.66 |
| | Ausser-Haus-Dauer | -0.84 |
| | Zurückgelegte Distanz | -1.95 |

Bezogen auf die Erreichbarkeiten im motorisierten Individualverkehr und im öffentlichen Verkehr implizieren die berechneten Elastizitäten, dass eine Erhöhung der Erreichbarkeit um 1% folgende Effekte erzielt:

- Anstieg des Anteils mobiler Personen um 0.6%;
- Anstieg der Anzahl unternommener Wege um 0.4%;
- Anstieg der Anzahl Wege pro Reise um 0.2%, also Bildung etwas längerer (komplexerer) Wegeketten;
- Anstieg der täglichen Ausser-Haus-Dauer um 0.1%.

Die Ergebnisse, welche im ersten Teil der Studie erzielt wurden, bestätigen die Hypothesen, welche in der Einleitung formuliert wurden. Es konnte gezeigt werden, dass Reduktionen der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme auf Kohortenebene höhere Mobilität induzieren. Dies wird durch die Modellergebnisse und insbesondere die signifikanten Effekte der Erreichbarkeit und des Preisindex, welche zur Abbildung der generalisierten Kosten verwendet wurden, bestätigt.

## Kurzfristige Analyse

Kurzfristige Effekte auf die Zeitplanung von Verkehrsteilnehmern wurden im zweiten Projektteil mittels einer *Stated Adaptation* Befragung analysiert. Auch hier liegt das Hauptaugenmerk auf der Verkehrserzeugungsseite. In der Befragung wurden die teilnehmenden Personen zunächst mittels eines 5-tägigen Verkehrstagebuchs zu ihrem aktuellen Verkehrsverhalten befragt. Einer dieser Tage wurde ausgewählt und dessen Rahmenbedingungen in einem persönlichen Interview mit den Haushalten nach bestimmten Kriterien angepasst, um signifikante Veränderungen der generalisierten Kosten (hier abgebildet über die Reisezeiten) der Verkehrsteilnahme an diesem Tag zu erreichen. Die Befragten wurden dann gebeten, ihre wahrscheinliche Reaktion auf diese Veränderungen abzuschätzen.

Der Modellansatz zur Analyse der erhobenen Befragungsdaten aus den *Stated Adaptation* Interviews geht vom Standpunkt aus, dass die Reisezeitgewinne und –verluste durch die Befragten auf mehrere Arten kompensiert werden können. Die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten sind dabei:

- Anpassungen der Abfahrtszeit;
- Anpassungen der Reisezeit (sei es über veränderte Verkehrsmittel, Ziele oder Wegeketten);
- Anpassungen der Aktivitätendauer.

Diese Variablen stehen daher im Fokus des im Bericht vorgestellten Modellansatzes. Dieser beinhaltet mehrere Stufen des Auswahlprozesses, der zur Anpassung der Aktivitätenmuster der Befragten führt. Die mehrstufige Struktur des Modellansatzes beinhaltet für die jeweiligen Fragestellungen geeignete Teilmodelle, welche werden bei der Anwendung zur Prognose sequentiell durchgeführt werden müssen.

Zentrale Eingangsgrösse aller Teilmodelle ist die Reisezeitveränderung, bzw. davon abgeleitete Grössen.

Die einzelnen Teilmodelle sind:

(1) ein *multinomiales Logit*-Modell (MNL), welches vorhersagt, ob eine Person auf ein bestimmtes Szenario überhaupt mit einer Anpassung ihres Verhaltens reagiert oder nicht;

(2) ein lineares Regressionsmodell, welches für jene Personen, welche auf ein Szenario reagieren, voraussagt, wie viel der gewonnenen bzw. verlorenen Reisezeit durch Anpassungen im Aktivitätenmuster kompensiert wird;

(3) ein sogenanntes *Multiple Discrete-Continuous Extreme Value* (MDCEV) Modell, welches die Aufteilung der kompensierten Zeit auf die drei oben genannten Möglichkeiten modelliert;

(4) ein *Cross Nested Logit* (CNL) Modell, welches anhand der vorhergesagten Anpassungen der Aktivitätendauern und Reisezeiten eine Aussage darüber trifft, ob zusätzlich Veränderungen an der Struktur des Tagesplans vorgenommen werden, also die Anzahl Aktivitäten und/oder Reisen verändert wird oder für einen Weg ein alternatives Verkehrsmittel verwendet wird.

Hierbei gehen die vorhergesagten Ergebnisse eines Modellteils jeweils als Eingangsgrössen in den nächsten Schritt ein.

In den vorgängigen Analysen der Befragungsdaten und auch in den Modellergebnissen zeigt sich, dass die Teilnehmenden an der Befragung zwar Reaktionen auf die ihnen vorgelegten Szenarien angeben, hierbei jedoch sehr selektiv vorgehen. Die prominentesten

Anpassungen der berichteten Tagespläne beschränken sich auf die Anpassung der Abfahrtszeit von zu Hause, um zur gewünschten Zeit am Ort der ersten Aktivitätsausübung einzutreffen. Ebenfalls häufig wird die gewonnene bzw. verlorene Reisezeit durch Anpassungen bei den Wegen selber kompensiert, also über Veränderungen der Verkehrsmittel- oder Zielwahl.

Auf der anderen Seite zeigt sich, dass die Reaktionen, welche zentral für Effekt des induzierten Verkehrs wären, also zusätzlich durchgeführte oder weggelassene Aktivitäten, Wege und Reisen, trotz der teilweise sehr starken Eingriffe in die Tagespläne nur in sehr wenigen Fällen als gangbare Alternative angesehen werden. In einigen Beispielen der Modellanwendung konnte gezeigt werden, dass die Modellergebnisse die Existenz solcher Effekte nur sehr geringfügig, und sehr lokalisiert, aufzeigen.

## Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Es konnte gezeigt werden, dass Reduktionen der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme insgesamt eine höhere Mobilität der Verkehrsteilnehmenden induzieren. Dies wird durch die in beiden Projektteilen erzielten Modellergebnisse und insbesondere die signifikanten Effekte veränderter Erreichbarkeiten, welche zur Abbildung der generalisierten Kosten verwendet wurden, bestätigt. Die globale Steigerung der Erreichbarkeiten, und somit auch die erwartete Nachfragewirkung für diejenigen Dimensionen der Verkehrsnachfrage, welche über die ermittelten Elastizitäten abgebildet werden können, ist bei lokalen Projekten sehr gering. Im unmittelbaren Umfeld solcher Massnahmen sind Erreichbarkeitssteigerungen im Bereich von bis zu mehreren Prozent jedoch durchaus denkbar.

Zur Abschätzung der im Rahmen dieses Projekts untersuchten Effekte für lokale Projekte wird empfohlen, als Näherung die in diesem Bericht ausgewiesenen langfristigen Nachfrageelastizitäten und das Anwendungsverfahren, welches im Merkblatt in Anhang III beschrieben ist, zu verwenden. Diese Elastizitäten erlauben eine grobe Abschätzung der Nachfrageeffekte, welche sich aus einer Massnahme und den daraus resultierenden Reisezeit- und Erreichbarkeitsveränderungen ergeben würden.

Abschliessend bleibt festzuhalten, dass die im Vorfeld des Projekts getätigten Hypothesen, dass bei Verbesserungen des Verkehrsangebots ein signifikanter Effekt der induzierten Nachfrage existiert, im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsauftrags bestätigt werden konnten.

# Résumé


## Buts et motivation

Le trafic induit, un phénomène qui est défini dans ce contexte comme demande additionnelle générée par des améliorations des conditions générales, est un sujet de nombreux projets de recherche dans le domaine de la planification des transports. Ceux-ci se concentrent néanmoins sur l'évaluation des effets secondaires de mesures individuelles qui engendrent ces améliorations. Relativement aux études récentes, qui traitent en général d'améliorations spécifiques et locales comme p.ex. la construction de nouvelles routes ou tracés ferroviaires, et plus spécifiquement des effets secondaires de celles-ci, les buts de ce projets diffèrent méthodiquement et thématiquement.

Il fallait démontrer les répercussions des changements des coûts généraux des transports sur la génération de la demande. Les dimensions à considérer de la demande furent celles de la génération sur le niveau individuel respectivement des cohortes: la probabilité de conduire des activités à l'extérieur du domicile pour une journée donnée; le nombre des activités conduites et des déplacements y liés; ainsi que les durées totales des activités et les distances franchies qui en résultent.

Les hypothèses centrales concernent les changements de la demande en réaction aux changements des coûts généralisés. Quand ces derniers diminuent, les ressources temporelles ainsi que monétaires pour la conduction de trajets et d'activités augmentent. On assume que décalage dans la disponibilité de ressources mènera à un nombre d'effets générant de la demande additionnelle sur les niveaux mentionnée ci-dessus :

- augmentation de la probabilité de participer à des activités hors du domicile, donc d'être mobile ;
- augmentation du nombre et de la durée des activités et trajets ;
- augmentation de la demande pour les prestations de transport (les distances franchies).

## Analyse à long terme

Au cas idéal, une analyse des hypothèses formulées ici conduite pour un horizon temporel prolongé bénéficierait d'une base de données longitudinale, recouvrant une longue périose ainsi qu'une étendue spatiale importante et en même temps d'une description détaillé des niveaux et des changements des coûts généralisés. Comme une base de données pour une analyse *panel* réelle n'est pas disponible, on se rabat sur l'application d'une analysé dite *pseudo panel*.

Pour la formation d'un *pseudo panel*, des données individualles de multiples sondages transversaux sont regqoupés selon une définition consistente. Les membres types de ces groupes sont alors traîtés comme des individus dans une analyse *panel*. Ainsi on construit une base de donnée *panel* fictive d'une série de sondages transversaux. La source principale pour la formation de cette base de données sont les données des *Microrecensements* de 1974 à 2005. Ces sondages relèvent le comportement en matière de mobilté de personnes et sont conduit toutes les 5 années environ.

Le modèle choisi pour tester les hypothèses formulées ci-dessus est und *Structural Equation Model*, qui permet de quantifier simultanément les effets de toutes les variables indépendantes sur plusierus variables dépendantes et en même temps permet d'analyser les effets mutuels entre les variables indépendantes. Les résultats les plus importants sont brièvement mentionnés ici.

L'effet le plus intéressant pour ce projet est l'influence des coûts généralisés, approximés

ici par l'accessibilité des communes, qui a un effet positif sur la mobilité même en considérant les effets concurrents relevants. Pour les coûts monétaires, une influence négative a pu être démontrée. Ces résultats suggèrent qu'une réduction de coûts généralisés a effectivement un effet sur le génération de la demande en matière de transports.

À partir des paramètres provenant des modèles, des élasticités de la demande à long terme ont été calculées, qui permettent de quantifier les effets mentionnés ci-dessus et de les appliquer sur différents scénarios.

Elasticités de la demande

| | | |
|---|---|---|
| Accessibilité | Mobilité | 0.61 |
| | Nombre de trajets | 0.44 |
| | Nombre de trajets par déplacement | 0.24 |
| | Durée des activités | 0.10 |
| | Distance franchie | 1.14 |
| Indice des prix | Mobilité | -0.06 |
| | Nombre de trajets | -0.19 |
| | Nombre de trajets par déplacement | -1.66 |
| | Durée des activités | -0.84 |
| | Distance franchie | -1.95 |

Relativement aux accessibilités, les élasticités impliquent qu'une augmentation de 1% aura les effets suivants :

- augmentation de la quote-part des personnes mobiles de 0.6% ;
- augmentation du nombre de trajets effectués de 0.4% ;
- augmentation du nombre de trajets par déplacement de 0.2%, donc formation d'enchaînements plus longs (et plus complexes) ;
- augmentation de la durée passée en dehors du domicile de 0.1%.

Les résultats trouvés dans la première partie du projets confirment donc les hypothèses formulées dans l'introduction. On a montré que les réductions des coûts généralisés induisent une augmentation de la mobilité générale. Ceci est démontré par les résultats des modèles statistiques et plus spécifiquement par les effets significatifs des accessibilités modifiées, qui ont été utilisées comme représentation des coûts généraux.

## Analyse à court terme

Les effets à court terme ont été analyés dans la deuxième partie du projet en utilisant des données d'un sondage *Stated Adaptation*. Comme auparavant, le but principal est d'analyser la génération de la demande. Dans le sondage, les parcticipants ont d'abord rapporté leur comportement en matière de mobilité actuel pendant 5 jours. Un de ces jours fut alors choisi, et les conditions générales de cette journée furent modifiées pour former la base d'interviews personnels avec les participants. Les participants furent alors demandés d'adapter leur comportement à ces situations modifiées. qui représentent des modifications des coûts généraux (et plus spécifiquement des temps de parcours).

Le modèle utilisé pour analyser ces données part de la supposition que les participants compensent les gains et pertes de temps en adaptant :

- les temps de départs pour leurs trajets ;
- les temps de parcours (en changeant le mode, les destinations ou les enchaînements de trajets) ;
- les durées des activités conduites.

Ces variables sont donc au centre du modèle présenté. Celui-ci comporte plusieurs phases d'un procès ou les participants choisissent les combinations d'adaptations qui leur conviennent le mieux.

Les parties individuelles du modèle, qui comportent toutes le changement du temps de parcours total comme variable indépendante, sont :

(1) un modèle *Multinomial Logit* (MNL), pour la prédiction de la présence d'une réaction de la personne sur le scénario posé ;

(2) un modèle de régresison linéaire pour la prédiction du montant du temps perdu ou gagné qui sera compensé par la personne ;

(3) un modèle *Multiple Discrete-Continuous Extreme Value* (MDCEV) pour la prédiction de la répartition du temps compensé sur les méthodes mentionnées ci-dessus ;

(4) un modèle *Cross Nested Logit* (CNL) pour la prédiction des changements additionnels de la structure du plan journalier de la personne (addition ou subtraction d'activités et de trajets, changements de mode etc.).

Les résultats d'une partie du modèle sont utilisés pour calculer les prédictions de la partie suivante.

Les analyses suggèrent que les participants au sondage n'adaptent leur comportement que très sélectivement. La plupart se limitent à adapter leur temps de départ du domicile afin de compenser les temps perdus en route et pour arriver à temps à leurs destinations. Souvent, les adaptations concernent les trajets modifiés eux-mêmes, par un changement de destination ou de mode de transport.

De l'autre coté, les changements nécessaires à un effet significatif de trafic induit, donc des activités, tarjets et déplacements additionnels, sont rarement considérés comme valables, malgré les changements substantiels des plans journaliers des personnes concernées. Par plusieurs exemples d'application, on a montré que ces effets n'adviennent que localement et sont peu importants.

## Conclusions et recommandations

On a montré que les réductions des coûts généralisés induisent une augmentation de la mobilité générale. Ceci est démontré par les résultats des modèles statistiques des deux parties du projet et plus spécifiquement par les effets significatifs des accessibilités modifiées, qui ont été utilisées comme représentation des coûts généraux. L'augmentation générale des accessibilités, et en conséquence les effets attendus sur la demande qui peut être modelée avec les élasticités calculées, est plutôt petite. Néanmoins, des augmentations de quelques pourcents sont possibles dans les environs immédiats de mesures menant à ces augmentations, et les effets ne sont donc pas à négliger.

Pour l'estimation des effets analysés, on recommande d'utiliser les élasticités de la demande montré dans le tableau ci-dessus et le procédé décrit dans l'appendice III.

# Summary


## Goals and motivation

Induced travel demand, a phenomenon that is here defined as additional demand for transport services caused by improving travel conditions, has been a topic of research for many years, the main focus often being the assessment of side effects of measures bringing about such im-provements. In contrast to previous studies on the topic, which have focused on specific and localised changes, such as the construction of new roads or rail lines in given corridors, and the assessment of their side effects, the research described in this thesis chooses a different approach.

The goal of the work presented here is to analyse effects of changing generalised costs of travel on the generation of travel demand on both aggregate and disaggregate (individual) lev-els. The demand effects that are of interest in the context of this thesis are considered on an individual, respectively cohort, level: the propensity of participating in out-of-home activities, or being mobile, on a given day; the number of trips and journeys conducted; and the resulting total times spent outside the home location and distances travelled.

When generalised costs decrease, time or monetary resources (or both) for participating in travel and non-travel activities increase. It is reasonable to expect that this shift in resource availability will lead to a number of demand generation responses, namely:

- that the propensity of participating in out-of-home activities will increase;
- that the number and duration of out-of-home activities and trips will increase;
- and that the demand for transport services (distances travelled) will increase.

## Long-term analysis

Ideally, a long-term analysis of the effects stipulated above would require a longitudinal panel data set in association with a careful description of the levels and changes in generalised costs covering both a long enough time period and a large enough area to obtain enough variation for the detection of the effects of any change. Such combined data sets are however not available anywhere. Therefore, a second-best approach is used here, where a so-called pseudo panel data set is constructed.

Individuals from cross sectional observations are grouped into cohorts, the averages of which are treated as individual observations in an artificial panel. These data can be used in the absence of actual panel data to approximate the latter by following virtual persons over time and test for individual as well as dynamic effects. The *pseudo panel* data set was constructed with the Swiss National Travel Survey data, a household and person based survey of travel behaviour. The survey has been carried out approximately every 5 years since 1974.

The modelling framework that was used for testing the hypotheses formulated above is a *structural equation model* (SEM), which allows to model the effects of all exogenous (independent) variables on all endogenous (dependent) variables simultaneously, and also to account for both error correlations and direct effects between the endogenous variables.

The most interesting effect is observed for the generalised cost measures. In fact, all other factors being accounted for, accessibility (sum of the road and public transport accessibilities) to population has a significant positive effect on mobility. The inverse holds for the price index variable: the negative effect implies that higher transport price levels cause lower mobility and vice-versa. These findings suggest that reductions in general-

ised costs do indeed increase travel demand.

Demand elasticities were computed for the main variables, and are show in the table below.

Ermittelte Nachfrageelastizitäten

| | | |
|---|---|---|
| Accessibility | Weekday mobility | 0.61 |
| | Number of trips | 0.44 |
| | Trips per tour | 0.24 |
| | Out-of-home duration | 0.10 |
| | Distance | 1.14 |
| Price index | Weekday mobility | -0.06 |
| | Number of trips | -0.19 |
| | Trips per tour | -1.66 |
| | Out-of-home duration | -0.84 |
| | Distance | -1.95 |

The values from the SEM imply that, as a consequence of accessibility rising by 1%:

- the share of mobile persons will increase by 0.6%;
- the number of trips conducted will increase by 0.4%;
- the number of trips per journey will increase by 0.2%, thus people will trip chain slightly more.
- covered distances will increase by 0.1%.

The results obtained in this first part of the thesis largely confirm the hypotheses postulated in the introduction. Overall, decreases in generalised costs of travel were found to induce higher mobility at the cohort level, as the significant effects of the accessibility measure and price index, used as approximations for generalised costs, on mobility behaviour confirm.

## Short-term analysis

In the second part of the thesis, short-term effects of changes to the transport infrastructure and the resulting changes in travel times were assessed by the means of a *stated adaptation* survey. A five day travel diary survey was conducted, based on which the general conditions for carrying out a schedule were modified. Thus, new generalised costs for the schedule were implied. The respondents were then asked to progressively adapt their schedules to these new conditions in an interactive survey software environment.

The modelling approach that is described here makes the general assumption that time gains or losses can be compensated by the respondents in three different ways (apart from doing nothing, which results in less time spent at home as has been mentioned above), which can be combined in any way to form a new, adapted, schedule:

- adaptation of the departure time from the home location;
- adaptation of the time spent travelling (by changing travel modes or destinations, or by changing the number of trips);

- adaptation of the time spent at out-of-home activities.

As a consequence, these are the three variables which are the main focus of the modelling approach, which attempts to reproduce the multiple levels of the decision process leading to the adapted schedules.

The sub-models were chosen to appropriately account for the relevant decisions and are run sequentially when using the model for forecasting. A central input for all model steps is the implied travel time gain or loss, or variables directly derived from those differences. The sub-models are:Zentrale Eingangsgrösse aller Teilmodelle ist die Reisezeitveränderung, bzw. davon abgeleitete Grössen.

(1) a *Multinomial Logit* (MNL) model for the decision whether or not to react at all to a given scenario;

(2) a *Linear Regression* model predicting how much time is compensated (only for those respondents that do react at all);

(3) a *Multiple Discrete-Continuous Extreme Value* (MDCEV) model, estimating the distribution of the compensated time over the three abovementioned options;

(4) a *Cross-Nested Logit* (CNL) model, which, based on the resulting changes in travel times and activity durations, predicts whether additional adaptations to the schedule structure will be carried out, that is whether there will be changes to the number of activities and tours or mode choice changes.

When using the model to forecast reactions to a given scenario, the results from one step enter the next step as input variables. The following sub-sections describe the sub-models in detail and provide their results.

It was shown that, while the respondents to the survey did adapt their behaviour to the new conditions, the decision process is very selective. The most prominent schedule adaptations concern departure times from the home location, leading to reaching the location of the first conducted activity on time. Another often chosen means of compensating for travel time gains or losses is an adaptation of the trip durations themselves, by changing modes or destinations.

The reactions which would be central for the presence of an induced demand effect such as it is defined in this study (that is, additional activities, trips and tours) are however minor. Despite the substantial interferences that the *stated adaptation* scenarios impose on the reported schedules, such drastic measures are seldom seen as viable. In some examples of model applications, such effects could be seen, but were only marginal and locally restricted.

## Conclusions and recommendations

It could be shown that changes in generalised costs do effectively lead to induced travel demand effects. This is confirmed by the results from both parts of the study and particularly the significant effects on increasing accessibilities on travel demand. The expected global effects on accessibility values, as well as their repercussions on the dimensions of travel demand that are discussed here, are however marginal for localised projects. For a detailed analysis, and cases where data on the existing demand is available in the form of individuals' schedules (for example, from travel diaries) the modelling approach presented in the appendix III may by applied for forecasting the detailed adaptations.

# 1 Motivation und Zielsetzung

Die Zielsetzung des Projekts ist es, die Entstehung von Neuverkehr aufgrund der Entwicklung der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme zu analysieren. Neuverkehr oder induzierter Verkehr, ein Phänomen welches hier als zusätzliche durch Verbesserungen der Verkehrsbedingungen erzeugte Verkehrsnachfrage definiert ist, ist in der Verkehrsmodellierung seit Jahren Thema verschiedener Forschungsprojekte. Diese konzentrierten sich bisher hauptsächlich auf die Bewertung der Nebeneffekte einzelner Massnahmen, welche solche Verbesserungen erzeugen. Im Vergleich zu früheren Studien, welche sich meist mit spezifischen und lokalen Veränderungen, wie z.B. dem Bau neuer Strassen oder Bahnlinien in bestimmten Korridoren, und vor allem mit deren Nebeneffekten, beschäftigten, weichen die Zielsetzungen im hier beschriebenen Projekt methodisch und thematisch ab.

Es soll aufgezeigt werden, wie sich Veränderungen in den generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme auf die Erzeugung der Verkehrsnachfrage auswirken. Die interessierenden Dimensionen der Nachfrage liegen hier auf der Seite derer Erzeugung auf Individuen- bzw. Kohortenebene: die Wahrscheinlichkeit, an einem bestimmten Tag eine oder mehrere Aktivitäten ausser Haus zu unternehmen, also mobil zu sein; die Anzahl der unternommenen Aktivitäten und der damit einhergehenden Wege, Wegeketten und Reisen; und die daraus resultierenden gesamthaft ausser Haus verbrachten Dauern und zurückgelegten Entfernungen.

Die erste Frage, welche hier beantwortet werden soll, ist jene nach einer ausreichend vollständigen Abbildung der aggregierten generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme, also der risiko- und komfortgewichteten Summe der für das Reisen verbrauchten Ressourcen (Zeit und monetäre Kosten). Die hedonischen, sozialen und monetären Profite der Teilnahme an einzelnen Aktivitäten können hier nicht im Detail erfasst werden. Im Bericht werden verschiedene Ansätze für die Formulierung der generalisierten Kosten aufgegriffen.

Das Ziel des Projektes ist es des Weiteren, die in der Literatur aufgetretenen Probleme aufzugreifen und die Problematik unter Einbezug längerer Zeitperioden und einer grösseren räumlichen Ausdehnung anzugehen, als dies bisher der Fall war. Als zentrale Grösse für die Erklärung der Nachfrageveränderungen werden Erreichbarkeitsgrössen verwendet, da diese auch in politischen Diskussionen über Verkehrsmassnahmen immer wieder auftauchen.

Die Erreichbarkeit (Fröhlich, 2008a, 2008b; Ben-Akiva und Lerman, 1985) deckt sowohl die Veränderungen der generalisierten Kosten als auch jene in der Anzahl und Verteilung der Gelegenheiten ab. Somit ist sie eine Grösse, welche die Qualität des Verkehrssystems gut beschreibt. Die Hypothesen in diesem Bericht werden aufgestellt unter der Annahme, dass Verkehr ein normales Gut ist, die Verkehrsteilnehmer also auf Reduktionen der generalisierten Kosten mit einer Erhöhung des Konsums reagieren (Varian, 1992). Weiter wird angenommen, dass das beobachtete Verkehrsverhalten Gleichgewichtsbedingungen wiedergibt, dies sowohl auf der Ebene des Verhaltens wie auch auf jener der Bewegungen im Verkehrsnetz und der damit einhergehenden Reisezeiten.

Die Verkehrsteilnehmer steuern ihr Verhalten als Reaktion auf eine Veränderung der generalisierten Kosten auf mehreren Ebenen:

- Entscheidung, ausser Haus zu gehen, also an einem bestimmten Tag mobil zu sein und Aktivitäten ausser Haus durchzuführen;
- Anpassung der ausser Haus unternommenen Aktivitäten und der damit einhergehenden Wege;
- Verknüpfung von Aktivitäten und Wegen zu Reisen oder Wegeketten;

- Zeitplanung (Festlegung der Anfangszeiten und Dauern) der Aktivitäten, und damit auch der Abfahrtszeiten der Wege;

- Wahl von Orten zur Aktivitätsausübung (Zielwahl);

- Wahl einer Verbindung für den Weg vom Abfahrts- zum Zielort (Verkehrsmittel- und Routenwahl).

Aufgrund der grossen Anzahl existierender Studien, welche sich mit den beiden letztgenannten Dimensionen (welche dem 2., 3., und 4. Schritt im klassischen Vier-Stufen-Modell entsprechen; siehe Ortúzar und Willumsen, 2001) befassen, und des sehr spezifischen und individuellen Prozesses der Zeitplanung, wurde das Hauptaugenmerk im ersten Teil des Projekts auf eine aggregierte Analyse der oberen Ebenen der Nachfrageerzeugung gelegt.

Wenn die generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme sinken, steigen sowohl die Zeit- als auch die monetären Ressourcen zum Unternehmen von Wegen und Aktivitäten. Es wird angenommen, dass diese Verschiebung der Ressourcenverfügbarkeit in den hier relevanten Dimensionen zu einer Anzahl von nachfrageerzeugenden Reaktionen führt:

- Zunahme der Wahrscheinlichkeit, an ausser-Haus-Aktivitäten teilzunehmen, also mobil zu sein;

- Zunahme der Anzahl und Dauer der ausser Haus durchgeführten Aktivitäten und Wege;

- Zunahme der Nachfrage nach Verkehrsleistungen (zurückgelegte Distanzen).

Die Anzahl Wege pro Reise (Abfolge von Wegen mit Start und Ziel zuhause) könnte hierbei sowohl abnehmen, da die Rückkehr nach Hause nach dem Abschluss jeder Aktivität billiger (in generalisierten Kosten) wird; als auch zunehmen, da die zusätzlichen Wege eher zu bereits existierenden Wegeketten hinzugefügt werden als neue Reisen zu erzeugen. Welcher der beiden Effekte überwiegt, wird sich aus den geschätzten Modellen ergeben.

Im Idealfall verlangt die Analyse der hier formulierten Hypothesen und deren Zusammenspiel nach einem Datensatz im Längsschnitt (Panel, also wiederholte Befragung derselben Personen), welcher sowohl eine lange Zeitperiode als auch eine grosse räumliche Ausdehnung abdeckt (um genügend Variation zur Quantifizierung der Effekte zu beinhalten), und gleichzeitig nach einer sorgfältigen Beschreibung der Niveaus und Veränderungen der generalisierten Kosten. Solche Daten sind jedoch nicht verfügbar. Das Deutsche Mobilitätspanel (1994 – 2009; siehe Zumkeller *et al.*, 2009) und das Puget Sound Panel (1990 – 2003; siehe Yee und Niemeier, 2000; Goulias *et al.*, 2003) wären passend, was die zeitliche Länge und die geographische Ausdehnung angeht, bei beiden fehlt jedoch die notwendige Koppelung an kontinuierlich aufgezeichnete Netzmodelle.

Aufgrund mangelnder Datengrundlagen für eine echte Panel-Analyse wurde in diesem Projekt nach einer zweitbesten Lösung gesucht. Diese besteht hier in der Anwendung eines sogenannten *Pseudopanel*-Ansatzes (Deaton, 1985; Mason und Wolfinger, 2004), welcher in den vergangenen Jahren in der Verkehrsforschung vermehrt zum Einsatz gekommen ist (z.B. Bush, 2003; Dargay, 2002, 2007; Huang, 2007).

Zur Bildung eines *Pseudopanels* werden individuelle Datensätze verschiedener Querschnittserhebungen in Gruppen mit konsistenter Definition zusammengefasst. Die durchschnittlichen Mitglieder dieser Gruppen werden dann wie Individuen, welche in einem echten Panel über die Zeit verfolgt werden, behandelt. So entsteht ein künstlicher Panel-Datensatz aus der Zusammenfassung einer Serie von Querschnittserhebungen.

Der für das Testen der oben aufgezählten Hypothesen verwendete Modellansatz ist ein *Structural Equation Modell*, welches die simultane Quantifizierung aller exogenen (unab-

hängigen) Variablen auf alle endogenen (abhängigen) Variablen erlaubt und gleichzeitig sowohl Fehlerkorrelationen als auch direkte Beeinflussungen unter den endogenen Variablen abzubilden vermag.

Eine Reihe von generalisierten linearen Regressionsmodellen (*General Linear Models* – GLM) wurde verwendet, um die Hypothesen in einem ersten Schritt für alle relevanten Dimensionen separat zu testen. Aufbauend auf diese Modelle wurde dann das *Structural Equation Modell* unter zusätzlichen Hypothesen der gegenseitigen Beeinflussung zwischen den abhängigen Variablen formuliert.

Aus den geschätzten Regressionsparametern wurden langfristige Nachfrageelastizitäten ermittelt, welche eine konsistente Quantifizierung der oben beschriebenen Effekte liefern und deren Anwendung auf verschiedene Szenarien erlaubt.

Kurzfristige Effekte auf die Zeitplanung der Haushalte wurden im zweiten Projektteil mittels einer *Stated Adaptation* Befragung in der Tradition der *Household Activity Travel Simulator* (*HATS*; Jones, 1979; Jones *et al.*, 1980) Experimente analysiert. Auch hier liegt das Hauptaugenmerk auf der Verkehrserzeugungsseite; Zielwahleffekte werden als Konsequenz des Zwangs, das Zeitbudget vom Reisen hin zur Aktivitätenteilnahme umzuschichten, angesehen. Die Verkehrsmittelwahl wird nur am Rande und als sekundärer Effekt betrachtet, während die Routenwahl hier nicht untersucht wird.

In der *HATS*-Befragung wurden 200 teilnehmende Personen zunächst mittels eines 5-tägigen Verkehrstagebuchs zu ihrem aktuellen Verkehrsverhalten befragt. Einer dieser Tage wurde ausgewählt und dessen Rahmenbedingungen in einem persönlichen Interview mit den Haushalten nach bestimmten Kriterien angepasst, um signifikante Veränderungen der generalisierten Kosten (hier abgebildet durch die Reisezeiten) der Verkehrsteilnahme an diesem Tag zu erreichen. Die Befragten wurden dann gebeten, ihre wahrscheinliche Reaktion auf diese Veränderungen abzuschätzen.

Der Bericht ist wie folgt gegliedert:

Das nächste Kapitel 2 behandelt die Definitionen der im Bericht verwendeten Begriffe und grenzt insbesondere den Begriff des „Neuverkehrs“ ab.

Die Beschreibung der Arbeiten aus dem ersten Teil des Projektteils, also der aggregierten Analyse, sind Gegenstand des darauffolgenden Kapitels 3 und seiner Unterpunkte:

- Abschnitt 3.1 gibt eine Übersicht über vorherige Projekte bzw. den Stand der Forschung;
- Abschnitt 3.2 beschreibt die vorhandenen Datenquellen, welche für die hier vorgestellten Analysen verwendet wurden;
- Abschnitt 3.3 behandelt die Konstruktion des *Pseudopanels* aus diesen Daten;
- Abschnitt 3.4 stellt die verschiedenen möglichen Formulierungen der generalisierten kosten in den Modellen vor;
- Abschnitt 3.5 behandelt die deskriptive Analyse des *Pseudopanel*-Datensatzes (insbesondere was die zeitliche Variabilität der relevanten Grössen angeht);
- Abschnitt 3.6 befasst sich mit der Schätzung der *General Linear Models*;
- Abschnitt 3.7 behandelt analog dazu die *Structural Equation Modell*e;
- Abschnitt 3.8 beschreibt die Berechnung der Nachfrageelastizitäten;
- und Abschnitt 3.9 die Anwendung der Modellergebnisse auf konkrete Beispiele.

Im anschliessenden Kapitel 4 werden die Arbeiten aus dem zweiten Projektteil, also der Analyse der kurzfristigen Reaktionen der Befragungsteilnehmer, abgehandelt:

- Abschnitt 4.1 gibt analog zum vorherigen Kapitel einen Überblick über den Stand der Forschung;
- Abschnitt 4.2 beschreibt den Befragungsansatz und die angewandte Methodik;
- Abschnitt 4.3 behandelt die Feldarbeit in der Befragung;
- die Abschnitte 4.4, 4.5 und 4.6 nehmen eine qualitative Untersuchung der erhobenen Daten vor;
- Abschnitt 4.7 beschreibt die Struktur auf Basis der erhobenen Daten geschätzten Verhaltensmodelle;
- Abschnitt 4.8 stellt die Ergebnisse der Schätzung dieser Modelle vor;
- Abschnitt 4.9 zeigt einige Anwendungsfälle der Modelle und die Berechnung der relevanten Nachfrageelastizitäten, und stellt diese den Ergebnissen aus dem ersten Teil gegenüber, um schliesslich zu Empfehlungen für die Anwendung dieser Grössen zu gelangen.

Das inhaltlich abschliessende Kapitel 5 beinhaltet Schlussfolgerungen der Arbeiten und Empfehlungen für das weitere Vorgehen bzw. weiteren Forschungsbedarf zum Thema.

# 2 Definition und Abgrenzung des Begriffs „Neuverkehr“

Die Definitionen für induzierten Verkehr gehen weit auseinander (siehe auch die vorangegangenen Kapitel). Daher soll hier nochmals eine klare Abgrenzung der Grössen stattfinden, welche Gegenstand der im Rahmen dieses Projekts angestellten Untersuchungen sind. Diese Definition umfasst die Dimensionen, in welchen der Neuverkehr beschrieben wird. In der Literatur wird induzierter Verkehr meist in zusätzlich erzeugten Fahrten (Goodwin, 1996) oder gefahrenen Fahrzeug-Kilometern (Noland und Levinson, 2000) auf einem bestimmten Streckenabschnitt oder in einer abgegrenzten Region gemessen (mittels vorher-nachher-Vergleichen von Zählungen).

Wie im einleitenden Kapitel beschrieben, resultieren diese messbaren Grössen aus den Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer, welche die Verkehrserzeugung, die Ziel-, Abfahrtszeit-, Verkehrsmittel- und Routenwahl betreffen. Hills (1996) ist ein Beispiel einer relativ frühen Arbeit, welche diese verschiedenen Dimensionen der Verkehrsnachfrage aufzeigt. Es werden dort auch verschiedene Definitionen des induzierten Verkehrs eingehend diskutiert und auf die Unterscheidung zwischen neu erzeugtem und umgeleitetem Verkehr, sowie die Schwierigkeiten, diese Effekte bei Messungen auseinanderzuhalten, hingewiesen. *Abb. 1* ist ein Versuch, die Darstellung aus Hills (1996) zu reproduzieren, um in der Folge die Bereiche des induzierten Verkehrs abzugrenzen, welche für die laufende Forschungsarbeit relevant sind. In der Kreuztabelle ist jeweils dargestellt, welche Art des induzierten Verkehrs (Erzeugung neuer Wege, zusätzlich zurückgelegte Distanzen oder beides) in den verschiedenen Szenarien entsteht. Die Arbeiten im laufenden Projekt beziehen sich nur auf Neuverkehr, welcher bei gegebenen Ausgangsorten erzeugt wird. Wechsel des Wohnstandorts oder des Arbeitsplatzes sollen also nicht modelliert werden. Der Hauptfokus liegt auf der Erzeugung neuer Wege bei gegebenen Ausgangs- und Zielorten, also der Entwicklung der Häufigkeit der Aktivitätenteilnahme. Hier werden sowohl die Anzahl zurückgelegter Wege als auch die zusätzlich gefahrenen Entfernungen in die Modelle einfliessen. Die Zielwahl wird nicht explizit, sondern allenfalls über die zusätzlich zurückgelegten Kilometer abgebildet; deren Effekte werden in den hier diskutierten Modellen also nicht von jenen der Routenwahl unterschieden. Ebenfalls nicht betrachtet wird die Verkehrsmittelwahl, da alle in diesem Bericht besprochenen Modelle lediglich aggregierte Effekte (also gesamthaft unternommene Aktivitäten, Distanzen und Dauern) erklären.

Die Untersuchungen in diesem Forschungsprojekt beschränken sich also auf die Elemente des induzierten Verkehrs, welche in untenstehender Tabelle grau hinterlegt dargestellt sind. Wie bereits erwähnt handelt es sich hierbei um die Effekte auf der Seite der Verkehrserzeugung. Diese werden basierend auf personenbezogenen Daten betrachtet. Der verfolgte aktivitätenorientierte Ansatz sucht individueller Ebene nach Erklärungen dafür, wie und wie viele zusätzliche Fahrten generiert werden, und wie diese in Verkehrsleistungen umgesetzt werden. Es wird also bewusst ein Modell gesucht, welches die Verkehrserzeugung auf sehr aggregierter Ebene erklärt. Explizit nicht modelliert werden demnach Effekte einzelner lokaler Projekte wie bestehende Wege, welche auf neue Strassen oder zu neuen Zielen umgeleitet werden, oder Auswirkungen einer Massnahme auf die Verkehrsmittelwahl. Diese erzeugen zwar auch Neuverkehr im Sinne von zusätzlich erbrachten oder umverteilten Verkehrsleistungen, deren Analyse erfolgt jedoch an anderen Stellen (siehe Literaturübersicht), zudem fehlt hier die Datengrundlage für deren Detailanalyse. Die Wirkung von Einzelprojekten auf die hier betrachteten Dimensionen der Verkehrsnachfrage kann hingegen mittels der in diesem Bericht diskutierten Modelle abgeschätzt werden, und zwar über die Veränderung der Erreichbarkeiten, welche durch diesen erzeugt werden. Auf der anderen Seite stehen die Grössen, welche für die Erklärung dieses Neuverkehrs verwendet werden, also die Beschreibung der generalisierten Kosten. Diese werden in Kapitel 3.4 abgehandelt.

*Abb. 1 Abgrenzungen des Begriffs „Neuverkehr“ (grau hinterlegt)*

| Ausgangsorte | Veränderung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | keine | Häufigkeit | Zielort | Abfahrtszeit | Verkehrsmittel | Route |
| gegeben | keine neuen Wege | neue Wege | keine neuen Wege | keine neuen Wege | keine neuen Wege | keine neuen Wege |
| | keine Veränderung der Distanzen | evt. Veränderung der Distanzen | evt. Veränderung der Distanzen | keine Veränderung der Distanzen | evt. Veränderung der Distanzen | Veränderung der Distanzen |
| neu gewählt | keine neuen Wege | neue Wege | neue Wege | keine neuen Wege | keine neuen Wege | keine neuen Wege |
| | Veränderung der Distanzen | Veränderung der Distanzen | Veränderung der Distanzen | Veränderung der Distanzen | Veränderung der Distanzen | Veränderung der Distanzen |

Quelle: basierend auf einer Darstellung in Hills (1996)

# 3 Erster Teil: Aggregierte Zeitreihenanalyse

## 3.1 Stand der Forschung

Goodwin (1992, 1996), Noland und Lewison (2000), Graham und Glaister (2004) sowie Goodwin *et al.* (2004) bieten Überblicke bekannter Einkommens-, Preis- und Angebotselastizitäten für den Mobilitätswerkzeugbesitz und die Nachfrage nach Verkehrsleistungen, gemessen in gefahrenen Fahrzeugkilometern. Ähnliche Analysen finden sich in den Arbeiten von Oum (1992), Cerwenka und Hauger (1996), Cairns *et al.* (1998) de Corla-Souza und Cohen (1999), Lee *et al.* (1999), Barr (2000), Fulton *et al.* (2000), Noland und Cowart (2000), Noland (2001) sowie Cervero und Hansen (2002). Fröhlich (2003) liefert eine Retrospektive über Literatur zu Modellen, welche die Effekte erhöhter Strassenkapazitäten messen.

All diesen Studien gemein ist die Definition des induzierten Verkehrs, welche sie verwenden, nämlich die Reaktion der Nachfrage nach Verkehrsleistungen (Reisezeiten und zurückgelegte Distanzen) auf die Verbesserung der Kapazitäten des Verkehrssystems und die damit verbundenen Reduktionen der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme. Auch Hymel *et al.* (2010) verwenden diese Definition.

Analoge Studien in der Schweiz, welche sich mit durch lokale Veränderungen des Verkehrssystems induziertem Verkehr befassen, wären Sommer *et al.* (2004), Güller *et al.* (2004) Giacomazzi *et al.* (2004) und Aliesch *et al.* (2006). Sie liefern ex-post-Analysen der Effekte des Baus der Autobahn A7, der Implementierung von S-Bahn-Linien im Grossraum Zürich, neuer Verkehrsanlagen im Kanton Tessin und der räumlichen Auswirkungen der Eröffnung des Vereina-Tunnels.

All diese Studien erlauben jedoch nur vage Rückschlüsse bezüglich der beschriebenen Effekte. Wie alle ex-post-Analysen leiden sie unter den enormen Anforderungen an die empirische Datenerhebung. Für eine detaillierte und korrekte Quantifizierung des erzeugten Neuverkehrs müssten nämlich alle umgeleiteten Wege auf einer vor und nach dem Bau der untersuchten Anlage aufgezeichnet werden. Rudel und Maggi (2007) stellen aktuelle Ergebnisse auf Basis der Analyse potentieller Mobility-Pricing-Schemen vor.

Die Effekte der strukturellen Veränderungen des Gesamtsystems sind das Thema dreier kürzlich abgeschlossener Dissertationen am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT, ETH Zürich). Die Studien stützen sich zum Teil auf dieselben Datenquellen, welche auch in der hier beschriebenen Arbeit verwendet wurden – die Schweizer Netzmodelle für den motorisierten Individualverkehr sowie den öffentlichen Verkehr (Fröhlich *et al.*, 2005), von welchen für jedes Jahrzehnt seit 1950 eine Version vorliegt; sowie eine detaillierte Datenbank der Schweizer Gemeinden mit deren Eigenschaften seit 1950, welche mit räumlichen Daten und Angaben zur Wohlfahrt angereichert wurde (Tschopp *et al.*, 2003). Fröhlich (2008a) verwendet die Daten, um die Entwicklung des Pendlerverhaltens seit 1970 zu erklären. Tschopp (Tschopp *et al.*, 2005; Tschopp, 2007) analysiert den Einfluss von Veränderungen im Verkehrssystem und der damit einhergehenden Erreichbarkeiten auf die Bevölkerungs- und Erwerbstätigenzahlen in den Gemeinden. Bodenmann (2007) untersucht die Interaktion zwischen der Standortwahl von Unternehmen und deren Umzügen, und der Entwicklung des Verkehrssystems seit 1970.

Literatur zu den Dimensionen der Verkehrsnachfrage, welche im vorliegenden Bericht besprochen werden, ist im Vergleich zu den oben genannten Beispielen relativ wenig vorhanden, was darauf hindeutet, dass die Untersuchung der Erzeugung zusätzlicher Aktivitäten und damit einhergehend Wegen in den vergangenen 30 Jahren vernachlässigt worden ist.

Einige Beispiele, welche die hier angewendeten Konzepte aufgreifen, seien dennoch genannt. Kumar und Levinson (1992) untersuchen ein Erzeugungsmodell für Arbeits- und Freizeitwege. Madre *et al.* (2004) liefern eine Metaanalyse von Verkehrstagebuchbefragungen bezüglich der Anteile der Teilnehmer, welche keine Wege berichten (also nicht-

mobil sind). Die Literaturübersicht in Mokhtarian und Chen (2004) umfasst Studien, in welchen der Ansatz des konstanten Zeitbudgets diskutiert wird. Van Wee *et al.* (2006), suchen nach Erklärungen für steigende tägliche Gesamtwegedauern. Die Arbeit von Primerano *et al.* (2008) enthält Definitionen für die Bildung von Wegeketten.

Meier (1989) unternimmt einen frühen Versuch, induzierten Verkehr in der Schweiz generell zu erklären, unter anderem durch die Analyse der Variation der Mobilität (ausgedrückt als Anteil mobiler Personen und Anzahl zurückgelegter Wege) aufgrund der Zuteilung von Regionen in Erreichbarkeitsklassen. Hier wurde gezeigt, dass in Regionen in den oberen Erreichbarkeitsklassen eine höhere Mobilität der Bevölkerung verzeichnet wird. Insbesondere dieser Aspekt der Nachfragegenerierung soll auch vertieft analysiert werden.

## 3.2 Datenquellen und -aufbereitung

### 3.2.1 Schweizer Mikrozensen Verkehr, 1974 – 2005

Die Hauptquelle für die Erstellung des *Pseudopanel*-Datensatzes stellen die Mikrozensen Verkehr Schweiz von 1974 bis 2005 dar. Es handelt sich bei den Mikrozensen um personenbezogene Befragungen, welche ca. alle 5 Jahre durchgeführt werden. Im Allgemeinen wird nur eine einzelne Person eines jeden Haushaltes zu ihrem Verkehrsverhalten befragt, grosse Haushalte mit mehreren Befragten bilden die Ausnahme.

Im Laufe der Jahre hat die Befragungsmethodik zur Durchführung der Mikrozensus-Erhebungen mehrmals geändert. Dies führt einerseits zu Abweichungen in der Datenqualität, jedoch auch zu Schwierigkeiten bei der Vergleichbarkeit der einzelnen Datensätze, da die Definitionen der Kernelemente teilweise verschieden sind. Eine Übersicht der verschiedenen Befragungsmethoden gibt *Abb. 2* (Informationen übernommen aus Simma, 2003).

*Abb. 2 Schweizer Mikrozensen Verkehr 1974 – 2005: Übersicht*

| Jahr | Befragungsmethode | Anzahl Haushalte in Stichprobe |
|---|---|---|
| 1974 | Zeitbudgetstudie | 2’114 |
| 1979 | (Kombination schriftlicher Fragebogen / persönliches Interview) | 2’000 |
| 1984 | Wegebasiertes Tagebuch | 3’513 |
| 1989 | (Schriftlicher Fragebogen) | 20’472 |
| 1994 | Etappenbasiertes Tagebuch (CATI-Interview) | 16’570 |
| 2000 | | 28’054 |
| 2005 | | 31’950 |

Quelle: Basierend auf einer Darstellung in Simma (2003)

Aufgrund der oben beschriebenen Diskrepanzen mussten die vorliegenden Datensätze einem gründlichen Aufbereitungsprozess unterworfen werden, um zu einem uniformen Datenformat für alle Personen über alle Jahre sowie zu einer konsistenten Kodierung der relevanten soziodemographischen Variablen und insbesondere der Mobilitätskenngrössen (Anzahl Wege etc.) zu gelangen.

So wurde beispielsweise bei der Analyse der Daten festgestellt, dass in den Datensätzen von 2000 und 2005 die Kodierung der Wege fehlerhaft, bzw. nicht konsistent mit der Definition ist. Konkret wurden aufeinanderfolgende Wege desselben Zwecks, zwischen welchen eine Aktivität mit einer Dauer von weniger als einer Stunde liegt, zu einem einzigen Weg zusammengefasst. Die Definition eines Weges als Summe aller zurückgelegten

Etappen zwischen zwei Aktivitäten sollte jedoch für alle Aktivitäten gelten, unabhängig von deren Dauer, Zweck und Abfolge.

Dies führt zu einer Unterschätzung der Anzahl Wege und Aktivitäten sowie zu einer Überschätzung der Unterwegsdauern (da die Dauern der unterdrückten Aktivitäten dem zusammengefassten Weg zugerechnet werden). Da beide Indikatoren für die Modellierung wichtig sind und somit eine korrekte Abbildung dieser unabdingbar ist, musste eine Neukodierung der Wege aufgrund der zugrundeliegenden Etappendatensätze vorgenommen werden. Die Unterschiede in den Wege- resp. Aktivitätenanzahlen für die verschiedenen Aktivitätentypen sind beispielhaft für den Datensatz von 2000 in *Abb. 3* dargestellt.

*Abb. 3 Differenz der Anzahl Aktivitäten nach Typ im MZ 2000*

| Wegzweck | Anzahl Wege nach Kodierung BFS | Anzahl Wege nach neuer Kodierung | Differenz [%] |
|---|---|---|---|
| Arbeiten | 13’633 | 13’947 | 2.3 |
| Ausbildung, Schule | 4’587 | 4’608 | 0.5 |
| Einkaufen | 11’097 | 12’602 | 11.9 |
| Besorgungen | 3’138 | 3’379 | 7.1 |
| Geschäftliche Tätigkeit | 1’912 | 2’411 | 20.7 |
| Dienstfahrt | 474 | 650 | 27.1 |
| Freizeitaktivität | 29’605 | 31’914 | 7.2 |
| Begleitweg | 1’636 | 1’772 | 7.7 |
| Rückkehr nach Hause | 41’970 | 42’014 | 0.1 |
| Anderes | 942 | 1’012 | 6.9 |
| Total | 108’994 | 114’309 | 4.6 |

Es ist ersichtlich, dass durch die Entscheidung, Aktivitäten unter einer Stunde nicht als solche anzuerkennen, vor allem Einkaufs- und Freizeitaktivitäten sowie geschäftliche Tätigkeiten unterdrückt werden. Insgesamt ergeben sich durch die Umkodierung knapp 5% mehr Wege als im Originaldatensatz.

Dass dies sich auch erheblich auf die berichteten Gesamtdauern, welche im Durchschnitt pro Tag mit den jeweiligen Aktivitätentypen zugebracht werden, und die entsprechenden Unterwegsdauern auswirkt, zeigt *Abb. 4*.

*Abb. 4 Differenz der durchschnittlichen täglichen Aktivitätendauern nach Typ im MZ 2000*

| Aktivität | Gesamtdauer nach Kodierung BFS | Gesamtdauer nach neuer Kodierung | Differenz [%] |
|---|---|---|---|
| Arbeit | 141.5 | 142.1 | 0.4 |
| Ausbildung | 26.6 | 26.6 | 0.1 |
| Einkauf / Besorgung | 17.3 | 18.3 | 5.1 |
| Geschäftlich | 10.7 | 11.2 | 4.2 |
| Freizeit | 128.0 | 129.4 | 1.1 |
| Service- / Begleitweg | 3.1 | 3.1 | 0.0 |
| Total Aktivitäten | 327.2 | 330.7 | 1.1 |
| Total zuhause | 1’016.4 | 1016.6 | 0.0 |
| Warten und umsteigen | 10.1 | 6.3 | -58.9 |
| Total Wege | 96.4 | 92.7 | -4.0 |
| Anzahl Wege | 3.49 | 3.69 | 5.3 |

Durch die Umkodierung wird die Konsistenz der Daten mit den üblichen Definitionen der Begriffe „Weg“ und „Aktivität“ erreicht.

Des Weiteren wurde im Datensatz von 1989 im Vergleich zu allen anderen Jahren eine beträchtliche Reduktion der berichteten Mobilität festgestellt (Simma, 2003). Diese Diskrepanz scheint nicht alleine durch saisonale Schwankungen erklärbar zu sein, sondern auf unterberichtete Mobilität in der Befragung zurückzuführen zu sein. Diese Effekte, welche offensichtlich Artefakte der Befragungsmethode oder der Feldarbeit im entsprechenden Jahr sind, wurden bei der in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Modellierung berücksichtigt. Lleras *et al.* (2003) diskutieren mögliche Ansätze, um solche Inkonsistenzen in Analysen von Serien mehrerer verschiedener Datensätze zu korrigieren.

### 3.2.2 Gemeindedaten

Zusätzlich zu den Mikrozensus-Daten stand für die Analyse ein angereicherter Datensatz zu den Schweizer Gemeinden ab 1950 zur Verfügung (Tschopp *et al.*, 2003). Diesem wurden Angaben zu den Erreichbarkeiten der Gemeinden nach verschiedenen Definitionen (Tschopp, 2005 bzw. Fröhlich 2008) zugespielt. Da diese immer nur jahrzehnteweise zur Verfügung stehen, mussten deren Werte für die Mikrozensus-Jahre aufgrund linearer Interpolation errechnet werden. Die Auflösung der Mikrozensus-Daten erlaubt die Verknüpfung mit den Gemeindedaten ab dem Erhebungsjahr 1979.

### 3.2.3 Preisindex Personenverkehr

Der Preisindex für den Personenverkehr (Abay, 1995, 2000) wurde für die den Mikrozensen entsprechenden Jahre herausgelesen und den aufbereiteten Mikrozensus-Datensätzen zugespielt. Dieser Index spielt bei der hier beschriebenen Modellierung des Verkehrsverhaltens eine zentrale Rolle. Es handelt sich um einen aggregierten Index ohne räumliche Differenzierung. Der Index stellt die Kosten der Verkehrsteilnahme dem jeweiligen Landesindex der Konsumentenpreise gegenüber und ist somit ein Instrument zur Bewertung der relativen Kosten der Mobilität (siehe auch Abschnitt 3.4.3).

## 3.3 Konstruktion der Pseudopanel-Daten

Das Konzept der *Pseudopanel*-Daten wurde erstmals von Deaton (1985) eingeführt. Es

besteht darin, Individuen aus verschiedenen Querschnittsbeobachtungen in vordefinierten Kohorten zu gruppieren und die Variablenmittelwerte dieser Gruppen dann wie Einzelbeobachtungen in einem künstlichen Panel-Datensatz zu behandeln.

Die so entstehenden Daten können in Abwesenheit echter Panel-Daten zur Annäherung letzterer verwendet werden und erlauben es so, das Verhalten virtueller Personen (welche durch die Aggregation in Kohorten entstehen; sie z.B. Mason und Wolfinger, 2004) kontinuierlich zu verfolgen. So können sowohl statische Effekte der Gruppenzugehörigkeit als auch dynamische, also aufgrund zeitlicher Veränderungen entstehende, Reaktionen analysiert werden.

Beispiele für die erfolgreiche Anwendung des beschriebenen Ansatzes in der Verkehrsforschung finden sich in Bush (2003), einer Arbeit welche sich mit der Frage nach der zukünftigen Verkehrsnachfrage der *Baby Boomers* auseinandersetzt (siehe hierzu auch Goulias *et al.*, 2007); sowie die Arbeiten von Dargay (2002, 2007) und Huang (2007), in welchen der substantielle Einfluss von Kohorteneffekten auf die Verfügbarkeit von Personenwagen in Haushalten nachgewiesen wird.

Bei der Bildung der Kohorten für ein *Pseudopanel* sollte darauf geachtet werden, dass die Charakteristika, nach welchen die Gruppen gebildet sind, zeitinvariant sind oder zumindest unter bestimmten Voraussetzungen als solches betrachtet werden können. Das offensichtlichste Beispiel für eine solche Aufteilungsvariable wäre das Geburtsjahr (welches auch in mehreren Studien verwendet wurde, z.B. Dargay, 2002 und Huang, 2007).

Andere Kriterien wie Geschlecht, Ausbildungsgrad, Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen oder räumliche Charakteristika, sind denkbar, bei deren Einsatz sollte jedoch immer der Zeithorizont betrachtet werden, über welchen sie als konstant betrachtet werden können, sowie die Implikationen, welche solche Annahmen für die Aussagen der mit den Daten geschätzten Modellen haben, bedacht werden.

### 3.3.1 Verwendete Variablen

Die Bildung eines *Pseudopanels* sollte zwei eigentlich gegenläufigen Anforderungen entsprechen. Auf der einen Seite ist darauf zu achten, dass die Variabilität der Kohortenmittelwerte und die Anzahl der künstlich generierten Beobachtungen ausreichend gross ist, um postulierte Effekte mittels robuster Modelle testen zu können. Auf der anderen Seite jedoch wird mit zunehmendem Detaillierungsgrad die Anzahl tatsächlicher Beobachtungen, aus welchen eine Kohorte zusammengesetzt ist, für einzelne Zeitperioden klein. Dies kann dazu führen, dass die Mittelwerte durch Ausreisser in der Ausgangsstichprobe, welche bei der Berechnung dann ein grösseres Gewicht erhalten, stark verzerrt werden (Huang, 2007). Als Kompromiss zwischen einer ausreichenden Disaggregationsstufe und genügend grossen Kohorten wurde eine Aufteilung anhand dreier Kriterien gewählt:

- Geburtsjahr (aufgeteilt in 10-Jahres-Bänder von 1896 bis 1985);
- Geschlecht;
- Grossregion (eine von 7 Schweizer Grossregionen, welche den EU NUTS 2 Regionen entsprechen; Eurostat, 2008).

Letztere räumliche Aufteilung wurde gegenüber einer Alternative, welche auf Gemeindetypen (Zentren, ländliche Gemeinden, etc.) basiert, bevorzugt. Die dahinterliegende Argumentation ist, dass Standortwechsel zu Orten mit besserer Erreichbarkeit unter Umständen aufgrund einer bestimmten gewünschten Mobilitätskultur stattfinden. Eine solche Aufteilung wäre also teleologisch und würde vermutlich die Modellergebnisse verzerren. Der postulierte direkte kausale Effekt der Erreichbarkeit auf die Verkehrserzeugung könnte hier nicht mehr von einem gleichzeitig stattfindenden Selbstselektionseffekt unterschieden werden (Boarnet und Crane, 2004; Mokhtarian and Cao, 2008).

Die Annahme der stabilen Kohorten setzt voraus, dass Umzüge nur innerhalb eines Standorttyps stattfinden. Diese Annahme wird zwar auch bei der Formulierung des Pseu-

dopanels anhand von Grossregionen vermutlich verletzt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass solche Verschiebungen nicht wie jene zwischen Gemeindetypen strukturelle Gründe haben und somit die Stabilität der Kohorten nicht verletzen. *Abb. 5* zeigt die Verteilung nach Gemeindetypen, *Abb. 6* jene nach Grossregionen – auch hier wird deutlich, dass instabile Kohorten bei der Aufteilung nach Gemeindtypen wahrscheinlicher sind.

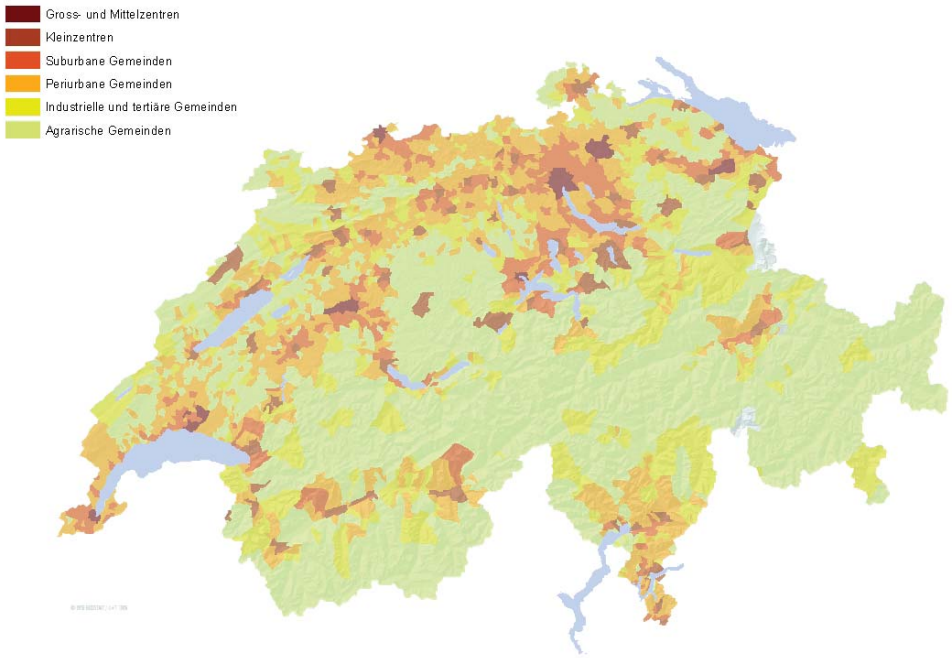



*Abb. 5 Die 6 Gemeindetypen der Schweiz*

*Abb. 6 Die 7 Grossregionen der Schweiz*

Des Weiteren stellt die Aufteilung nach Grossregionen eine genügend grosse Variabilität

der erklärenden Variablen (Erreichbarkeit) sicher. Während bei der Aufteilung nach Gemeindetypen die Erreichbarkeiten von Typ zu Typ hierarchisch geordnet sind und innerhalb einer Kohorte nur wenig variieren (*Abb. 7*), ist die Bandbreite innerhalb der jeweiligen Kategorien bei der hier gewählten Aufteilung grösser (*Abb. 8*), so dass er effektive Einfluss der Erreichbarkeit hier besser abgebildet werden kann. Die *Boxplots* in den Abbildungen stellen jeweils den Median, die Quartile sowie die Extremwerte der Verteilung dar. Die „Box" ist ein durch die Quartile begrenztes Rechteck, welches 50% der Daten beinhaltet. Der Abstand der beiden Quartile ist der sogenannte Interquartilsabstand, welcher als Mass für die Streuung der Daten dient. Des Weiteren ist der Median in die Box eingezeichnet. Dessen Lage innerhalb der Box gibt einen Eindruck über die Schiefe der Daten.

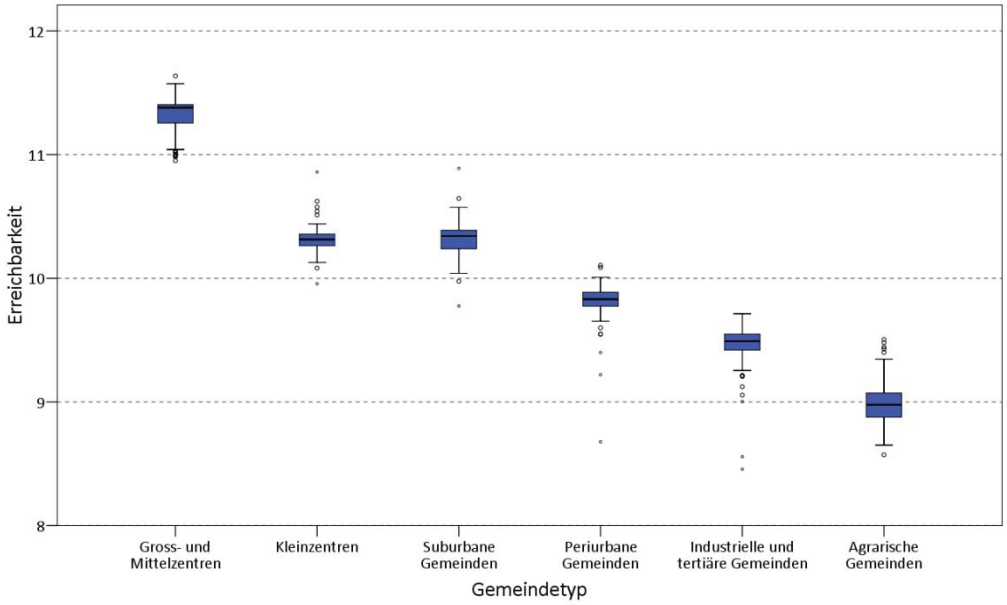



*Abb. 7 Verteilung der Erreichbarkeiten bei Aufteilung nach Gemeindetypen*

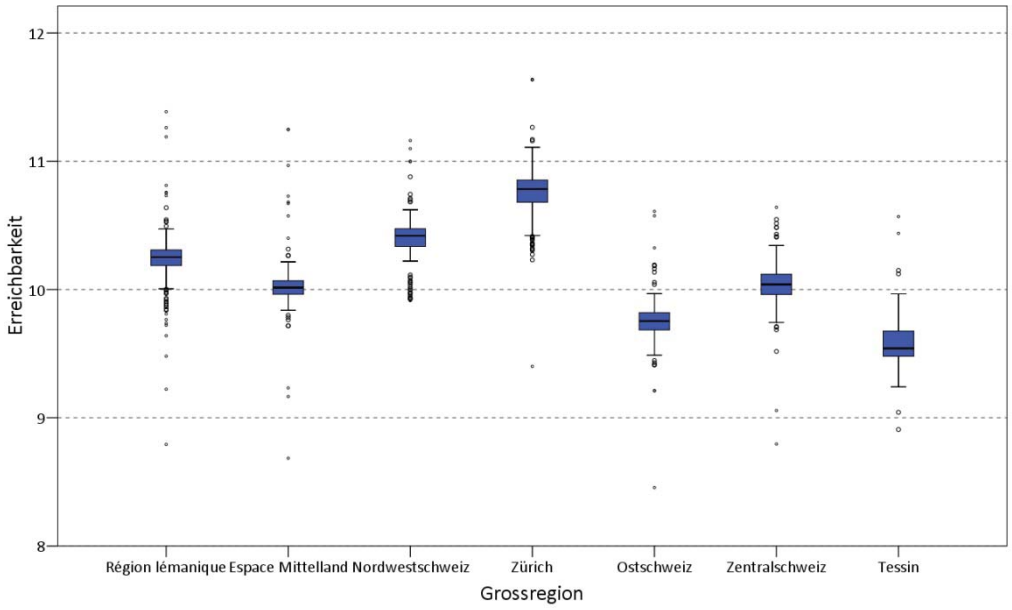



*Abb. 8 Verteilung der Erreichbarkeiten bei Aufteilung nach Grossregionen*

Der aus der beschriebenen Aufbereitung der Mikrozensus-Daten entstandene *Pseudopanel*-Datensatz enthält 709 virtuelle Beobachtungen für die sieben betrachteten Erhebungsjahre zwischen 1974 und 2005. Aus Konsistenzgründen wurden nur Datensätze erwachsener Personen (über 18 Jahre) in die Stichprobe einbezogen (da für Kinder nicht in allen Befragungsperioden Mobilitätsdaten erhoben wurden) Die Verteilung der resultierenden Kohortengrössen ist aus *Abb. 9* ersichtlich.

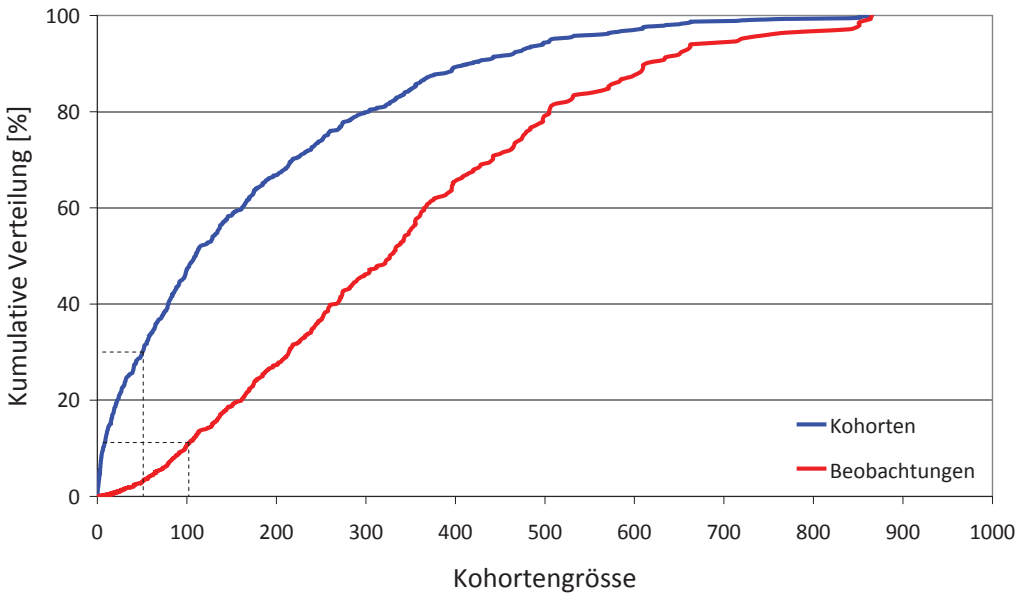



*Abb. 9 Verteilung der Kohortengrössen*

Wie zu sehen ist, ist ein grosser Teil der Kohorten recht klein – etwa 30% davon enthalten weniger als 50 tatsächliche Beobachtungen. Es ist jedoch auch ersichtlich, dass diese kleinen Kohorten relativ wenige der insgesamt betrachteten Beobachtungen enthalten. Ungefähr 85% der ursprünglichen Beobachtungen kommen in Kohorten akzeptabler Grösse zu liegen (diese wird in der Literatur mit ca. 100 Beobachtungen angegeben; siehe Huang, 2007). Dadurch, dass die Daten bei der Modellierung zusätzlich über die Kohortengrösse gewichtet werden, dürfte der Einfluss von Ausreissern auf die Modellergebnisse somit nicht signifikant sein.

Die Auswahl der exogenen (unabhängigen) Variablen, welche berücksichtigt werden konnten, musste durch die Abweichungen in den Befragungen über die Jahrzehnte (Unterschiede in der Kodierung der Variablen, fehlende Grössen) eingeschränkt werden. Der ausgewählte Satz an Variablen deckt einen gemeinsamen Kern ab, welcher regelmässig in Verkehrsverhaltensmodellen zum Einsatz kommt (Dargay, 2002; Bush, 2003; Huang, 2007). Die Kohorten-Mittelwerte für jene Grössen, für welche ein Einfluss auf die relevanten Dimensionen der Verkehrsnachfrage erwartet werden kann, wurden für jeden Erhebungszeitraum berechnet:

- Alter;
- Haushaltsgrösse;
- Beschäftigungsgrad (in Prozent der Vollzeit oder Teilzeit-Erwerbstätigen in der Kohorte);
- Personenwagen- und Motorrad-Führerscheinbesitz (in Prozent der Besitzer in der Kohorte);

- Anzahl Personenwagen, motorisierte Zweiräder und Fahrräder im Haushalt.

Des Weiteren wurden die entsprechenden Werte für die Mobilitätsindikatoren, welche in den Modellen als endogene (abhängige) Variablen betrachtet werden, ermittelt:

- Ausser-Haus-Anteil (in Prozent mobiler Personen);
- Anzahl unternommener Wege zur Ausübung von Aktivitäten;
- Anzahl Wege pro Reise von zuhause zurück nach Hause;
- Gesamtdauer der ausser Haus verbrachten Zeit;
- durch die Befragten geschätzte zurückgelegte Gesamtdistanz (da geokodierte Orte und aus Netzmodellen abgeleitete Entfernungen erst ab dem Mikrozensus 2000 verfügbar sind).

Um den Unterschieden in der Stichprobenziehung zwischen den einzelnen Erhebungen Rechnung zu tragen, wurden nur Mobilitätskennziffern für Werktage einbezogen. So kann einer Verzerrung der Mittelwerte durch Über- oder Unterrepräsentation von Wochenenden vorgebeugt werden. Des Weiteren wurde der Datensatz mit den in Abschnitt 3.4 beschriebenen Erreichbarkeitsdaten und Preisindizes angereichert. Diese werden bei der Modellierung stellvertretend für die Veränderung der generalisierten Kosten der Verkehrs- und Aktivitätsteilnahme verwendet. Deren Definition und Entstehung wird im folgenden Kapitel diskutiert.

## 3.4 Formulierung der generalisierten Kosten

### 3.4.1 Erreichbarkeiten der Gemeinden

Die Erreichbarkeit auf Bevölkerungsniveau ist formal wie folgt definiert (Tschopp *et al.*, 2005; Ben-Akiva und Lerman, 1985):

$$A_i = \ln\left[\sum_{j=1}^{n} X_j \cdot f\left(c_{ij}\right)\right],$$

wobei $A_i$ das Erreichbarkeitsmass für die räumliche Einheit $i$ (hier sind die räumlichen Einheiten die Schweizer Gemeinden; die Erreichbarkeit misst also den Einfluss, welchen sämtliche Gemeinden der Schweiz auf die jeweils betrachtete Gemeinde ausüben) darstellt. $X_i$ ist die Anzahl Gelegenheiten, hier Einwohner, der räumlichen Einheit $i$. $c_{ij}$ sind die generalisierten Kosten der Reise zwischen $i$ und $j$, wobei in der Formulierung in Tschopp *et al.* (2005) die Reisezeit verwendet wird. $n$ ist die Gesamtanzahl Gemeinden. $f$ ist eine Gewichtungsfunktion für die Wirkung der Zunahme der Entfernung zwischen zwei Gemeinden auf die Abnahme deren gegenseitiger Beeinflussung. Tschopp *et al.* (2005) verwenden als Gewichtung eine negative Exponentialfunktion:

$$f\left(c_{ij}\right) = e^{-\beta \cdot c_{ij}},$$

und stellen somit sicher, dass der Einfluss auf die Erreichbarkeit mit zunehmenden generalisierten Kosten der Wege abnimmt.

*Abb. 10* zeigt den Verlauf der Gewichtungsfunktion für verschiedene Werte des Parameters $\beta$. Die in dieser Arbeit verwendeten Erreichbarkeitsgrössen wurden mit einem Parameter von $\beta = 0.2$ berechnet, was einer relativ harten Abbildung der Grenze entspricht, bis zu welcher ein Beitrag zur Erreichbarkeit einer Gemeinde stattfindet. Ab einer Reisezeit von ca. einer Stunde ist dieser Beitrag vernachlässigbar. Lediglich Gemeinden mit sehr hohen Einwohnerzahlen (also die grossen Städte) üben über diese Grenze hinaus einen Einfluss aus (da hier der multiplikative Term wiederum nicht vernachlässigbare Werte annimmt). Angesichts der in den letzten Jahren immer grösser gewordenen Pendlerdistanzen bliebe festzustellen, ob bei einer Neuberechnung der Elastizitäten ein kleine-

rer Wert für $\beta$ verwendet werden müsste, um den grossräumigeren Anziehungen Rechnung zu tragen. In der vorliegenden Studie ist dies jedoch nicht das Ziel, daher wird hier die Empfehlung aus der Literatur verwendet.

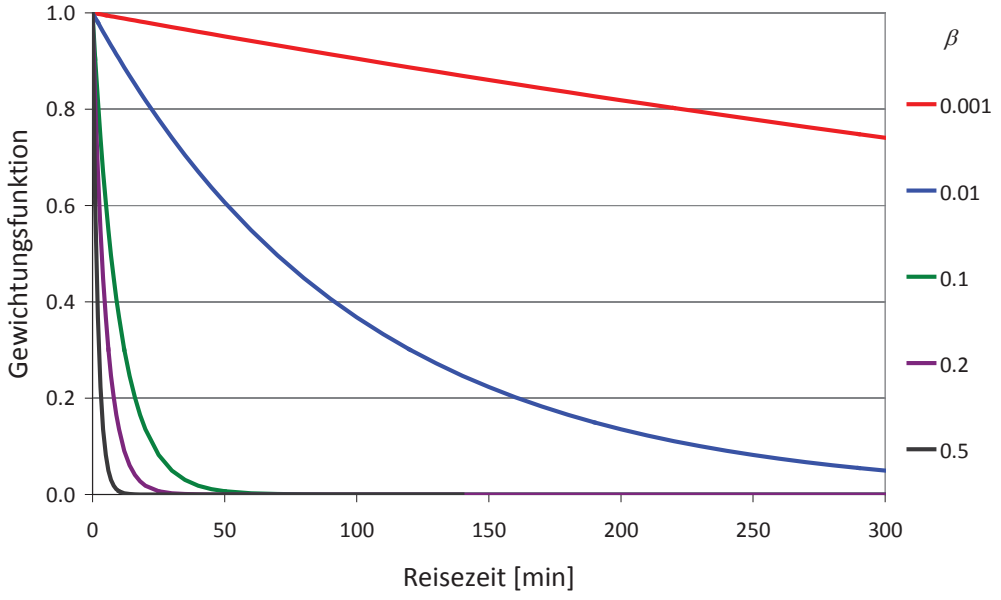



*Abb. 10 Gewichtungsfunktionen für Erreichbarkeiten mit verschiedenen Parametern*

Der Beitrag einer Zone zu ihrer eigenen Erreichbarkeit wird mittels einer angenäherten durchschnittlichen internen Reisezeit berücksichtigt (siehe z.B. Fröhlich *et al.*, 2005, für eine Berechnungsformel dieser zoneninternen Reisezeit). Die Erreichbarkeit kann für beide Verkehrsmittel, MIV und ÖV, angegeben werden. Da diese beiden Erreichbarkeitsgrössen sehr stark miteinander korreliert sind und somit deren einzelne Einflüsse in einem linearen Modell, wie es in der Folge verwendet wird, nur schwer separierbar sind, wurde eine aggregierte Grösse, welche beide Erreichbarkeiten zusammenfasst, ermittelt. Diese resultiert aus der Logarithmierung der Summe der Beiträge der MIV- und ÖV-Verbindung zur Erreichbarkeit.

Die Logik bei der Anwendung dieser Grösse in den Modellen basiert darauf, dass steigende Erreichbarkeiten eine Abbildung für sinkende generalisierte Kosten der Verkehrsteilnahme darstellen und somit unter den in Kapitel 1 getroffenen Annahmen die Verkehrsnachfrage beeinflussen sollten. Die Erreichbarkeit wird also als zentrale erklärende Grösse in der Modellierung und beim Testen der aufgestellten Hypothesen verwendet.

Die Erreichbarkeiten aller Schweizer Gemeinden von 1970 bis 2005 folgen der Verteilung, welche in *Abb. 11* dargestellt ist.

Es ist ersichtlich, dass die Erreichbarkeit über die betrachteten 3 Jahrzehnte zwar stetig, aber im Mittel nur geringfügig zugenommen haben. Es sei angemerkt, dass der beobachtete Anstieg des Medians von 9.13 (1970) auf 9.47 (2000) einer Bevölkerungszunahme von 1.2 Millionen Personen, zusätzlichen 840 Autobahn-Kilometern sowie ca. 29 Milliarden Schweizer Franken an Investitionen entspricht. Eine eingehende Diskussion der Effekte von Ausbauten auf die Erreichbarkeitsverteilungen findet sich in Abschnitt 3.9.

*Abb. 12* zeigt die Verteilung der MIV-Erreichbarkeiten, welche durch die Netzausbauten zwischen 1990 und 2000 erreicht wurden. Wie ersichtlich ist, sind diese für den grössten Teil der Schweiz nahe an null. Die grössten Gewinne wurden erwartungsgemäss dort erreicht, wo das Nationalstrassennetz im betrachteten Jahrzehnt ergänzt wurde. Diese Ausbauten betreffen hauptsächlich Gemeinden im Wallis, in der Region um den Neuen-

burgersee, in der Nordostschweiz sowie im Tessin.

Es bleibt festzuhalten, dass die erzielten Erreichbarkeitsgewinne maximal bis zu einen Punkt betragen und somit im Bereich unter 10 Prozent liegen. Diese Erkenntnis wird bei der Diskussion der Modellergebnisse in Abschnitt 3.9 eine zentrale Rolle spielen.

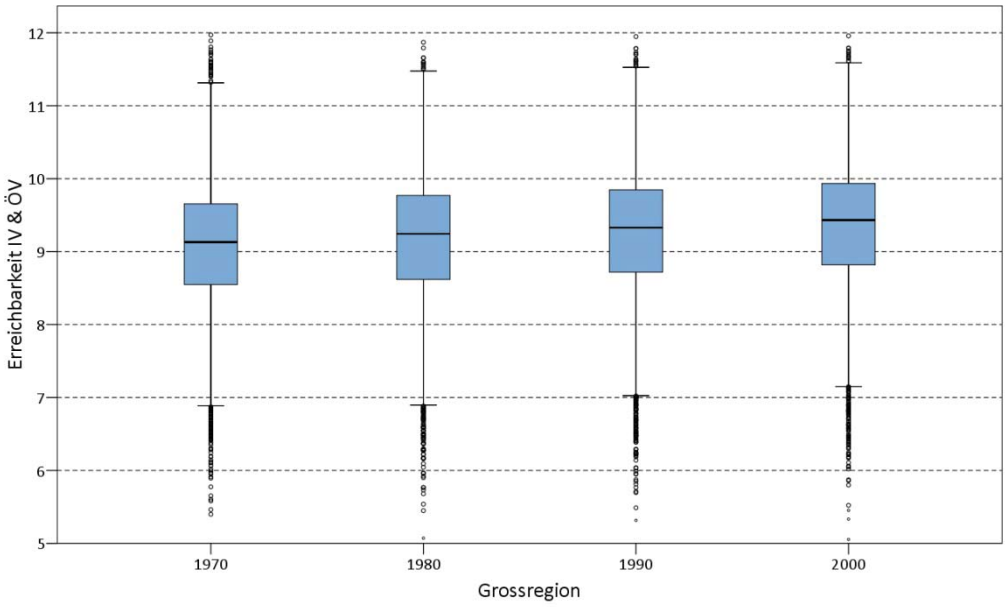



*Abb. 11 Verteilung der Erreichbarkeiten, 1970 – 2000*

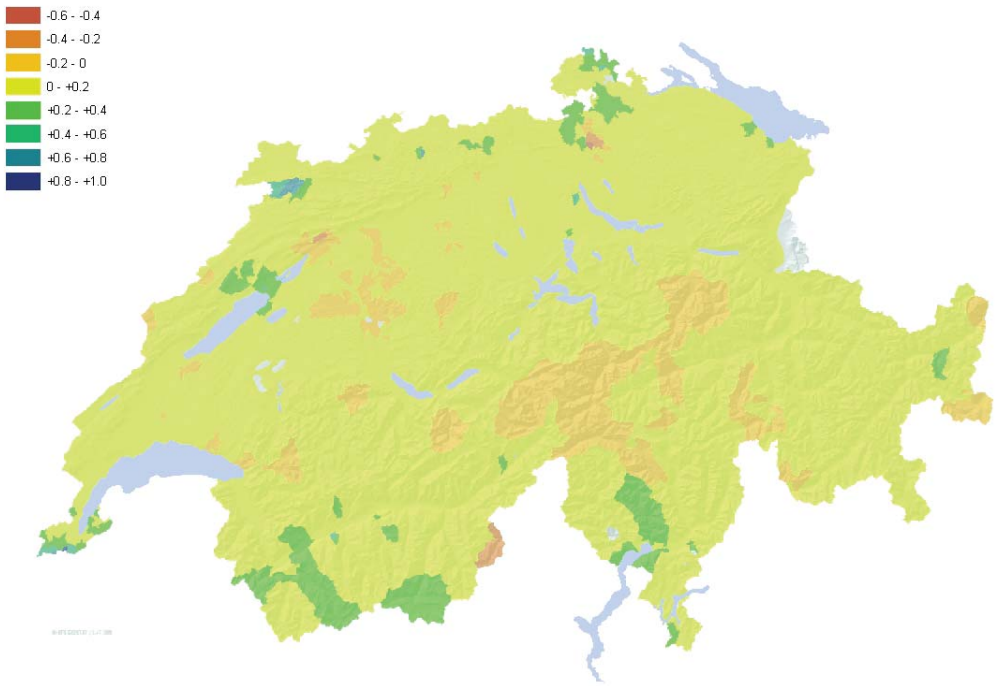



*Abb. 12 Veränderung der MIV-Erreichbarkeiten zwischen 1990 und 2000*

### 3.4.2 Logsum-Terme aus Modellen der Verkehrsmittel- und Zielwahl

Ein anderer Ansatz für die Berechnung von Erreichbarkeiten stellt Fröhlich (2008a, b) vor. Er besteht in der Berechnung der Logsumme der Nutzen aus einem simultanen diskreten Entscheidungsmodell für die Verkehrsmittel- und Arbeitsplatzwahl. Diese ist theoretisch ein konsistenter Erreichbarkeitsindikator, besitzt jedoch eine inhärente Komponente, welche das Nutzenmaximierende Verhalten abbildet. Daher ist es fraglich, ob dieser Index als kausale Grösse in einem Verhaltensmodell geeignet ist. Zudem ist der Indikator auf Arbeitswege beschränkt und gibt somit nur einen Teil der gesamten Erreichbarkeitsgewinne wieder. Das Verkehrsmittelwahlmodell berücksichtigt Reisezeit, Umsteigevorgänge und –wartezeiten, Takte, qualitätsbereinigte PW-Kosten, und inflationsbereinigte distanzbasierte Kosten.

### 3.4.3 Preisindex Personenverkehr

Das oben beschriebene vereinfachte Erreichbarkeitsmass misst generalisierte Kosten als Funktion der Reisezeit. Um zusätzlich einen monetären Indikator in die Modelle einbringen zu können, werden Preisindizes für den Personenverkehr, wie sie in Abay (1995, 2000) definiert sind, verwendet. Der Index, welcher für die Jahre bis 1972 zurückgerechnet wurde, basiert auf dem Schweizer Index der Konsumentenpreise und wurde umgewichtet, um inflationsbereinigte Preise wiederzuspiegeln. Hierbei dient 1972 als Basisjahr, der Index wird für dieses Jahr also auf 1 gesetzt.

Der Index ist somit ein Mass für die Kosten von Verkehrsleistungen relativ zu den allgemeinen Konsumentenpreisen für alle Güter. Die Entwicklung des Index von 1972 bis 2005 ist in *Abb. 13* dargestellt.

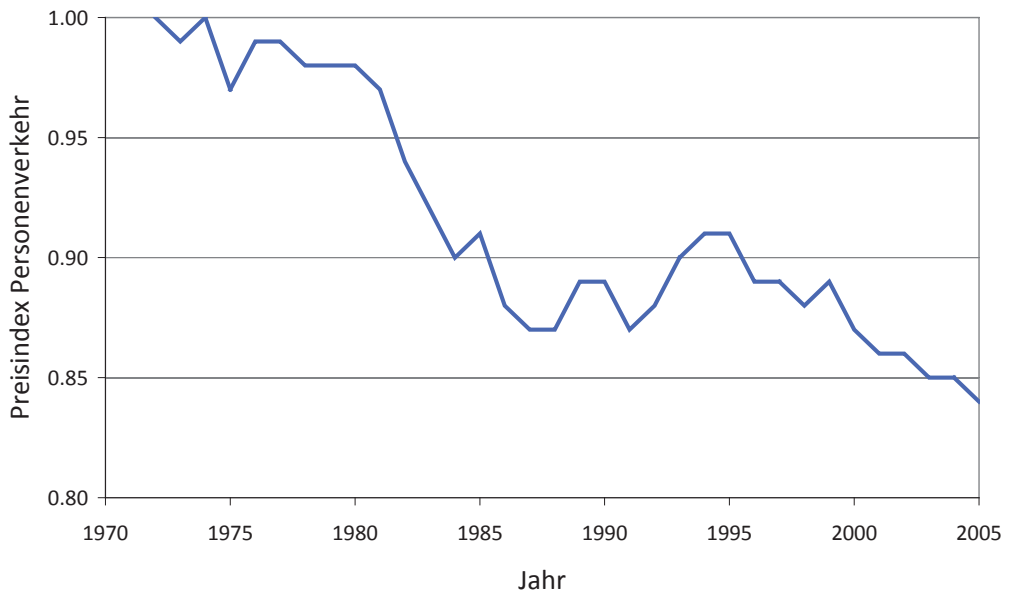



*Abb. 13 Entwicklung des Preisindex Personenverkehr, 1970 – 2005*

## 3.5 Deskriptive Analyse der Daten

Dieses Kapitel beschreibt die Charakteristika des *Pseudopanel*-Datensatzes und deren zeitliche Variation, und zeigt die Generationen- und Lebenszyklusverläufe der relevanten Mobilitätsindikatoren sowie der übrigen Variablen, welche in den Modellen verwendet werden. Ebenfalls werden die oben beschriebenen unerwünschten Effekte der verschiedenen Befragungsmethoden auf die berichtete Mobilität in den jeweiligen Erhebungszeiträumen aufgezeigt.

### 3.5.1 Haushaltsgrösse

*Abb. 14* zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen Haushaltsgrösse für Personen aus den jeweiligen Geburtsjahrkohorten in Abhängigkeit des Alters.

Hier können sowohl ein sogenannter Generationen- als auch ein Lebenszykluseffekt ausgemacht werden. Ersterer bezeichnet den Unterschied zwischen den einzelnen Kohorten und ist durch die verschiedenen Linien in der Abbildung dargestellt. Der Lebenszykluseffekt ist innerhalb einer Generation die Entwicklung der betrachteten Grösse über die Lebensdauer der durchschnittlichen Person.

Der Lebenszykluseffekt zeigt für alle Kohorten den erwarteten Trend. Junge Erwachsene leben häufig noch in den Haushalten ihrer Familien. In den Mittzwanzigern werden dann eigene Haushalte gebildet, was zu einer Reduktion der durchschnittlichen Haushaltsgrösse führt. Ab 30 Jahren steigt diese dann wieder dadurch, dass eigene Familien gegründet werden. Ab den Mittvierzigern nimmt die durchschnittliche Haushaltsgrösse, zunächst durch den Auszug der eigenen Kinder, später durch den Tod des Lebenspartners, stetig ab.

Auf der anderen Seite zeigt der Unterschied zwischen den einzelnen Kohorten, dass jüngere Generationen vermehrt in kleineren Haushalten wohnen, was teilweise durch den grösseren Anteil an Ein-Personen-Haushalten, speziell bei jungen Erwachsenen, erklärt werden kann. Auch die sinkende Geburtenrate spielt hierbei eine Rolle. Zudem bleiben ältere Menschen öfter als früher nach dem Tod des Lebenspartners alleine wohnen, anstatt zu ihren Familien zu ziehen oder sich in ein Pflegeheim zu begeben.

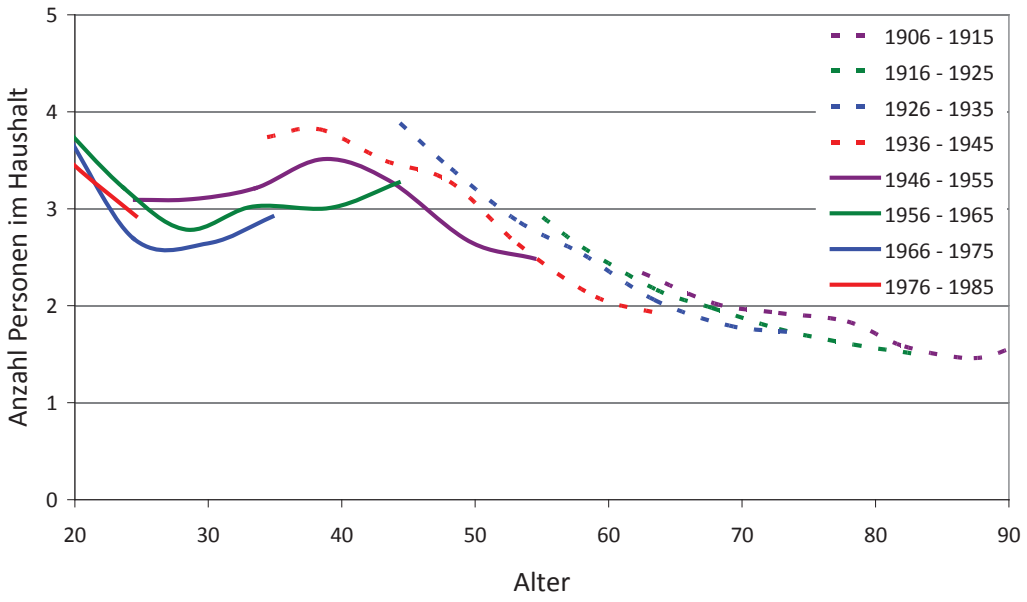



*Abb. 14 Haushaltsgrösse nach Alter für verschiedene Kohorten*

### 3.5.2 Erwerbstätigkeit

Analog zur Darstellung in *Abb. 14* ist in *Abb. 15* der Verlauf des Anteils Erwerbstätiger dargestellt. Auch hier zeigt der Lebenszyklus den erwarteten Verlauf, insbesondere der sehr steile Abfall der Kurve zwischen dem 60. und 70. Lebensjahr spiegelt den Effekt der Pensionierungen wieder.

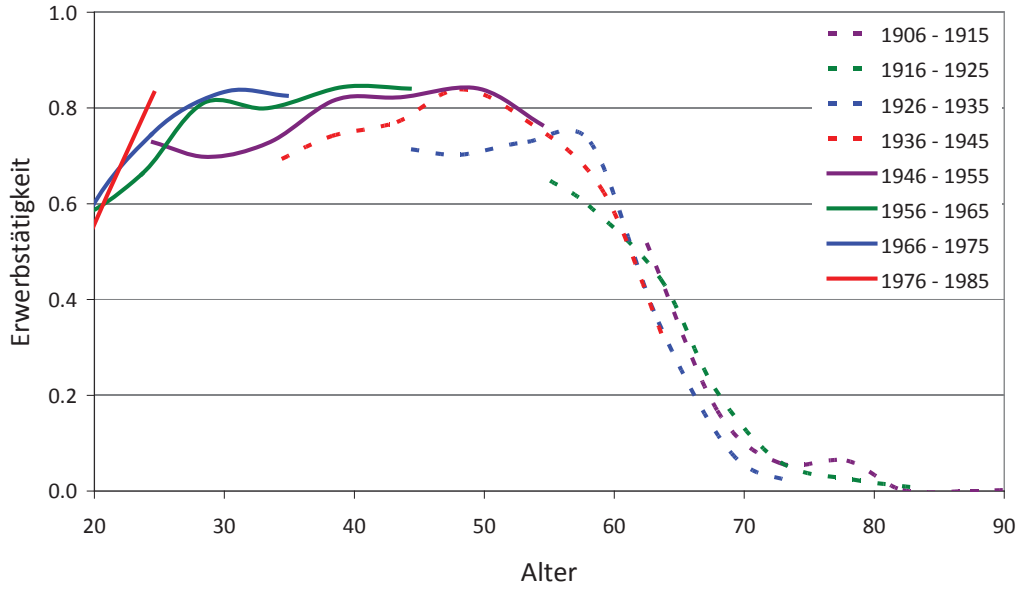



*Abb. 15 Erwerbstätigkeit nach Alter für verschiedene Kohorten*

Im Übrigen zeigt der Generationeneffekt den erwarteten Trend. Dass in jüngeren Kohorten mehr Personen erwerbstätig sind, lässt sich durch die drastisch erhöhte Quote der ausserhalb des eigenen Haushaltes berufstätigen Frauen erklären.

### 3.5.3 Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen

Die Kohorten- und Lebenszykluseffekte für den Besitz eines Personenwagen-Führerscheins sind in *Abb. 16* gezeigt. Diese gilt stellvertretend für die allgemeine Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen. Eine ähnliche Auswertung für ÖV-Abonnemente kann leider nicht gezeigt werden, da die entsprechenden Zahlen in den frühen Mikrozensus-Datensätzen fehlen, bzw. verschieden kodiert vorliegen.

Hier zeigt sich, dass heutzutage im Vergleich zu früher vermehrt bereits in jungem Alter ein Führerschein erworben wird. Im Jahr 2005 wird ein praktisch konstanter Anteil von 80% Führerscheinbesitzern über alle Altersgruppen bis zu 60 Jahren. Der Führerscheinbesitz nimmt mit dem Alter leicht ab und ist für Kohorten, welche vor dem Zweiten Weltkrieg geboren sind, weitaus geringer als für die späteren. Auch dies lässt sich wiederum durch die erst relativ spät aufkommende Tendenz des Führerscheinerwerbes generell, und insbesondere bei Frauen, erklären.

Allgemein geht der Trend in Richtung höhere Besitzanteile in jüngeren Kohorten und deutet somit wiederum auf eine Steigerung der Verfügbarkeit für Mobilitätswerkzeuge und damit einhergehend auch der Mobilität über die Zeit hin.

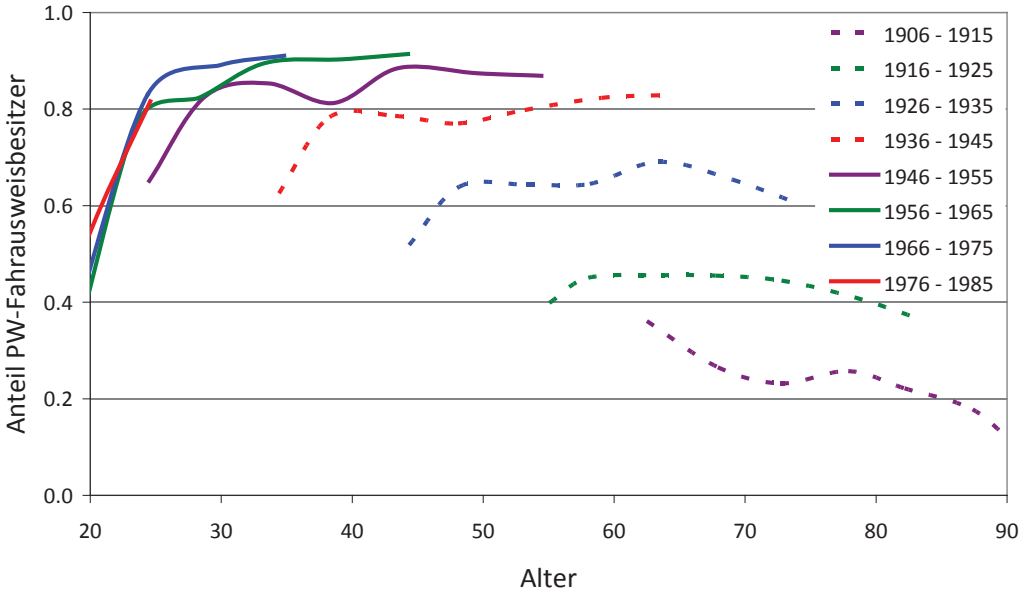



*Abb. 16 PW-Fahrausweisbesitz nach Alter für verschiedene Kohorten*

### 3.5.4 Mobilität

Haushaltsgrösse, Erwerbstätigkeit sowie die Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen (angenähert durch den Besitz eines Führerscheins), drei wichtige Charakteristiken der Haushaltsstruktur und damit mögliche Indikatoren für die Beeinflussung der Mobilität von Personen, zeigen die vermuteten und konsistenten Trends über die Zeit, die verschiedenen Altersgruppen und Kohorten, sowie die einzelnen Befragungsperioden. Die hier wichtigen Mobilitätsindikatoren, welche in den folgenden Abschnitten beschrieben und in der Folge bei der Modellierung eingesetzt werden, folgen nicht denselben klaren Schemen.

Die relevanten Grössen zeigen signifikante Fluktuationen für die verschiedenen Befragungszeiträume. Wie bereits oben diskutiert, sind dies keine Effekte saisonaler Schwankungen, sondern müssen als Artefakte der verwendeten Erhebungsmethodik angesehen werden. Wie *Abb. 17* zeigt, reproduziert die Mobilität an Wochentagen (als Prozentsatz der Personen, welche am Befragungstag mindestens einen Weg angegeben haben) annähernd den erwarteten Lebenszykluseffekt der sinkenden Mobilität mit steigendem Alter.

Jedoch zeigt sich in jeder Kohorte ein signifikanter Abfall der berichteten Mobilität gegen die Mitte der Kurve. Dieser Trend wird durch die Darstellung in *Abb. 18* bestätigt und fällt mit den Mikrozensen 1984 und 1989 zusammen. Da keine natürliche Erklärung für diese Schwankung ersichtlich ist, deutet sie darauf hin, dass in diesen Jahren Fehler in den Messungen vorhanden sind und ein zu hoher Anteil berichteter Nicht-Mobilität vorliegt.

Der unerwünschte Effekt wird noch deutlicher, wenn die berichteten Wegeanzahlen in *Abb. 18* betrachtet werden. Selbst die Normalisierung hin zur durchschnittlichen Anzahl Wege pro mobiler Person gleicht den Effekt nicht aus. Es handelt sich also um fehlende berichtete Mobilität auf zwei Ebenen: einerseits die bereits oben angesprochene Überrepräsentation nicht-mobiler Personen und zusätzlich das Phänomen, dass selbst mobile Personen einzelne Wege unzureichend aufzeichnen und somit der Durchschnitt verzerrt wird. Dies deutet sowohl auf eine fehlende Bereitschaft zur Teilnahme an der Erhebung als auch auf geringe Aufmerksamkeit bei der Feldarbeit und der Plausibilisierung der erhobenen Daten hin.

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Modellschätzungen berücksichtigen die hier angesprochenen Effekte explizit und versuchen, geglättete Lebenszykluseffekte zu reproduzieren, welche das tatsächliche Verhalten widerspiegeln und zudem korrekte Parameterwerte für die übrigen erklärenden Variablen zu liefern.

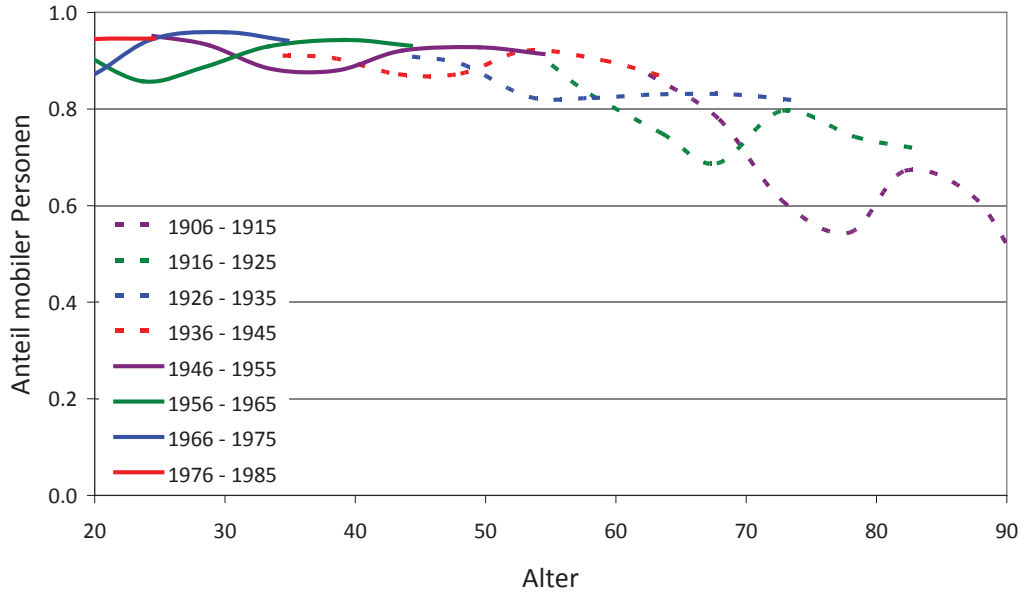



*Abb. 17 Anteil mobiler Personen nach Alter für verschiedene Kohorten*

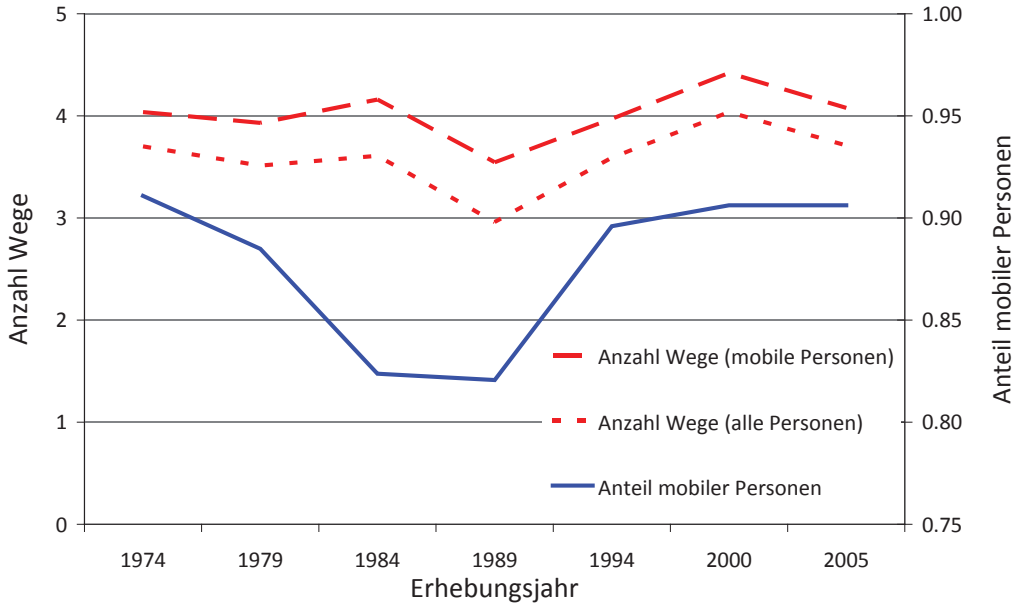



*Abb. 18 Berichtete Mobilität für verschiedene Erhebungsperioden*

## 3.6 Grundmodelle

Dieses Kapitel geht auf die Schätzungen der Grundmodelle für die verschiedenen Mobilitätsindikatoren ein. Als abhängige Variablen kommen die oben angegebenen relevanten Grössen zum Einsatz: Anteil mobiler Personen, Anzahl Wege, Anzahl Wege pro Reise, gesamte Ausser-Haus-Dauer, sowie zurückgelegte Distanz.

Die hier diskutierten Ergebnisse resultieren aus einem langwierigen Prozess, in welchem Modelle für verschiedene abhängige Grössen und unter Einbezug einer ganzen reihe von unabhängigen Variablen getestet wurden. Hier vorgestellt wird jeweils das beste sich aus

diesem Prozess ergebende Modell, welches es erlaubt, die Fragestellung aus der Zielformulierung zu beantworten.

*Abb. 19* zeigt die deskriptive Statistik der kontinuierlichen Grössen, welche in den Modellen als erklärende Variablen verwendet wurden. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert, der Median, die Standardabweichung sowie das Minimum und Maximum der in der *Pseudopanel*-Stichprobe vorkommenden Werte.

*Abb. 19 Deskriptive Statistik der in den Modellen verwendeten Variablen*

| Variable | Mittelwert | Median | Std. Abw. | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|
| Alter | 54 | 54 | 22 | 17 | 99 |
| Haushaltsgrösse | 2.56 | 2.59 | 0.82 | 1.00 | 6.00 |
| Beschäftigungsgrad | 0.48 | 0.51 | 0.37 | 0.00 | 1.00 |
| PW-Fahrausweisbesitz | 0.61 | 0.73 | 0.32 | 0.00 | 1.00 |
| Erreichbarkeit | 10.15 | 10.10 | 0.46 | 7.70 | 11.64 |
| Preisindex Personenverkehr | 0.90 | 0.89 | 0.04 | 0.84 | 1.00 |

### 3.6.1 Modellansatz

Als Modellansatz wird zunächst ein *General Linear Model* (GLM) verwendet. Dieses ist eine Verallgemeinerung des üblichen linearen Regressionsmodells, welches den Einbezug kategorieller Variablen (durch deren Umkodierung in 0/1-Dummy-Variablen) erlaubt. Es wird angenommen, dass die verschiedenen abhängigen Grössen wie folgt ausgedrückt werden können:

$$y_{i,m} = \mu + \alpha_i + \tau_m + \beta_j \cdot x_j \,,$$

wobei $y_{i,m}$ die abhängigen Variablen sind. $\mu$ ist eine zu schätzende Konstante. $x_j$ sind die unabhängigen (erklärenden) Variablen, und $\beta_j$ die damit verbundenen Regressionsparameter (Gewichtungsfaktoren). $\alpha_i$ sind Fehlerterme, deren Werte über die verschiedenen Einheiten (Kohorten) variieren, jedoch für jede Kohorte über die Zeit konstant bleiben. $\tau_m$ hingegen sind Fehlerterme, welche für die verschiedenen Befragungsmethoden variieren können, jedoch nicht zwischen den Kohorten. Diese Terme dienen dazu, die oben angesprochenen unerwünschten Effekte der Abweichungen in den Befragungsmethoden abzufangen. Im hier verfolgten Ansatz werden die Komponenten $\alpha_i$ und $\tau_m$ als Konstanten behandelt und eine Zufallsverteilung dieser im Modell ausgeschlossen. Dies führt zur Einführung kohorten- sowie befragungsperiodenspezifischer Dummy-Variablen im Modell. Eine Dummy-Variable nimmt den Wert 1 an, wenn der abgebildete Zustand vorliegt, und 0 in allen anderen Fällen. Bei der Modellschätzung werden jeweils für alle bis auf eine Dummy-Variable Parameter geschätzt, diese dient als Referenzkategorie, auf welche sich die Effekte der übrigen Kategorien beziehen. Das Modell ist demnach ein sogenanntes *fixed effects model* (Kitamura, 2000).

### 3.6.2 Ergebnisse der Modellschätzung

Die Ergebnisse der Modellschätzungen sind wie folgt aufgelistet: in *Abb. 20* für den Ausser-Haus-Anteil, in *Abb. 21* für die Anzahl Wege, in *Abb. 22* für die Anzahl Wege pro Reise, in *Abb. 23* für die zurückgelegte Distanz und in *Abb. 24* für die Gesamtdauer der ausser Haus zugebrachten Zeiten. Dargestellt sind jeweils die Werte der geschätzten Parameter und deren t-Statistik, sowie Angaben zur Modellgüte (Adjusted $R^2$).

Die Trends, welche aus den verschiedenen Modellen herausgelesen werden können,

gehen für alle abhängigen Variablen analog aus den geschätzten Parametern hervor. Stellvertretend wird hier detailliert auf die Ergebnisse des Modells für den Anteil mobiler Personen eingegangen.

Die meisten einbezogenen Variablen haben einen signifikanten Effekt auf die Mobilität. (Auf dem 5%-Niveau statistisch signifikante Variablen sind durch Absolutwerte der t-Statistik über 1.96 gekennzeichnet und *in Kursivschrift* dargestellt.) Die Konstanten für die Befragungsmethoden bestätigen die in der deskriptiven Analyse herausgearbeiteten Trends. Der signifikanteste negative Effekt tritt wie erartet für die Wegetagebuchbefragungen der 80er Jahre auf, was die aus *Abb. 18* gezogenen Schlüsse bestätigt.

Männer sind in allen Generationen mobiler als Frauen. Dasselbe gilt für berufstätige Personen und für Besitzer eines Personenwagen-Führerausweises, wobei Letzteres als Indikator eines direkten Effekts der Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen auf die berichtete Mobilität gilt. Die Berufstätigkeit wird verwendet, da das (eigentlich besser geeignete, bzw. zur Ergänzung zu verwendende) Einkommen in den jeweiligen Datensätzen inkonsistent kodiert ist (Wechsel zwischen Haushalts- und persönlichem Einkommen) und somit der Verlauf über die Zeit nicht korrekt nachvollzogen werden kann. Der Versuch, die fehlenden Werte des Haushaltseinkommens anhand der übrigen Daten zu imputieren (also Annahmen bezüglich dessen Verteilung zu treffen), führte zu inkonsistenten Modellergebnissen. Ebenfalls gescheitert sind Versuche, die Abbildung der Wohlfahrt über den Einbezug aggregierter verfügbarer Gemeindeeinkommen oder des Bruttoinlandprodukts zu vollziehen. Erstere korrelieren sehr stark positiv mit den Erreichbarkeiten, letztere negativ mit dem verwendeten Preisindex Personenverkehr. Aufgrund dieser Multikollinearität wäre die Unterscheidung der Effekte der jeweiligen variablen in den Modellen nicht möglich. Daher wurde auf deren Einbezug verzichtet und nur jene Grössen für die Modellierung verwendet, deren Einflüsse für die Fragestellungen der Studie relevant sind.

Die Anzahl Personen im Haushalt hat einen leicht negativen Effekt auf die Mobilität, Personen aus Ein-Personen-Haushalten sind also tendenziell mobiler als solche aus Familien. Die statistische Signifikanz des beschriebenen Effekts ist jedoch nicht gegeben.

Der für die vorliegende Arbeit interessanteste Effekt ist sicherlich der Einfluss der Variablen zur Beschreibung der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme. So hat selbst nach Einbindung aller übrigen Variablen die Erreichbarkeit (als Summe der MIV- und ÖV-Erreichbarkeit, siehe oben) einen signifikant positiven Einfluss auf die Mobilität, während für den Preisindex ein umgekehrter Trend nachgewiesen werden konnte (wenngleich dieser nur schwach ist). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass reduzierte generalisierte Kosten der Verkehrsteilnahme tatsächlich einen positiven Effekt auf die Mobilität haben.

*Abb. 20 Modellergebnisse GLM: Ausser-Haus-Anteil*

| Variable | | β | t |
|---|---|---|---|
| Konstante | | *1.061* | *1.96* |
| Befragungs-methode | Zeitbudget (‘74, ‘79) | -0.025 | -0.89 |
| | Wegetagebuch (‘84, ‘89) | *-0.074* | *-5.66* |
| | Etappentagebuch (‘94, ‘00, ‘05) (Referenzkategorie) | - | - |
| Geschlecht | Männlich | *0.101* | *6.83* |
| | Weiblich (Referenzkategorie) | - | - |
| Alter | Linear (*1/10) | *0.230* | *2.39* |
| | Quadriert (*1/100) | *-0.022* | *-5.10* |
| | Logarithmiert | -0.290 | -1.26 |
| Haushaltsgrösse | | *-0.032* | *-3.04* |
| Beschäftigungsgrad | | -0.046 | -1.377 |
| PW-Führerscheinbesitz | | 0.024 | 0.680 |
| Erreichbarkeit | | *0.055* | *4.93* |
| Preisindex Personenverkehr | | -0.124 | -0.53 |

t-Werte *über 1.96* (Absolutwert) bedeuten statistische Signifikanz auf dem 5%-Niveau.

Adj. $R^2$ = 0.625

*Abb. 21 Modellergebnisse GLM: Anzahl Wege*

| Variable | | β | t |
|---|---|---|---|
| Konstante | | *7.915* | *3.43* |
| Befragungs- | Zeitbudget (‘74, ‘79) | -0.095 | -0.78 |
| methode | Wegetagebuch (‘84, ‘89) | *-0.404* | *-7.29* |
| | Etappentagebuch (‘94, ‘00, ‘05) (Referenzkategorie) | - | - |
| Geschlecht | Männlich | *0.357* | *5.66* |
| | Weiblich (Referenzkategorie) | - | - |
| Alter | Linear (*1/10) | *1.300* | *3.18* |
| | Quadriert (*1/100) | *-0.098* | *-5.38* |
| | Logarithmiert | *-2.398* | *-2.44* |
| Haushaltsgrösse | | *-0.096* | *-2.15* |
| Beschäftigungsgrad | | *0.605* | *4.24* |
| PW-Führerscheinbesitz | | *0.613* | *4.05* |
| Erreichbarkeit | | *0.161* | *3.38* |
| Preisindex Personenverkehr | | -1.384 | -1.39 |

t-Werte *über 1.96* bedeuten statistische Signifikanz des Parameters auf dem 5%-Niveau.

Adj. $R^2$ = 0.625

*Abb. 22 Modellergebnisse GLM: Anzahl Wege pro Reise*

| Variable | | β | t |
|---|---|---|---|
| Konstante | | *7.924* | *5.94* |
| Befragungs- | Zeitbudget (‘74, ‘79) | *0.225* | *3.20* |
| methode | Wegetagebuch (‘84, ‘89) | 0.036 | 1.12 |
| | Etappentagebuch (‘94, ‘00, ‘05) (Referenzkategorie) | - | - |
| Geschlecht | Männlich | *0.080* | *2.12* |
| | Weiblich (Referenzkategorie) | - | - |
| Alter | Linear (*1/10) | -0.166 | -0.70 |
| | Quadriert (*1/100) | 0.005 | 0.50 |
| | Logarithmiert | 0.273 | 0.48 |
| Haushaltsgrösse | | *-0.077* | *-2.57* |
| Beschäftigungsgrad | | *0.341* | *4.11* |
| PW- Führerscheinbesitz | | 0.083 | 0.92 |
| Erreichbarkeit | | *0.062* | *2.10* |
| Preisindex Personenverkehr | | *-7.407* | *-12.97* |

t-Werte *über 1.96* bedeuten statistische Signifikanz des Parameters auf dem 5%-Niveau.

Adj. $R^2$ = 0.532

*Abb. 23 Modellergebnisse GLM: Dauer der ausser Haus verbrachten Zeit*

| Variable | | β | t |
|---|---|---|---|
| Konstante | | *2'820* | *7.63* |
| Befragungs- | Zeitbudget ('74, '79) | *62* | *3.20* |
| methode | Wegetagebuch ('84, '89) | *-13* | *-1.47* |
| | Etappentagebuch ('94, '00, '05) (Referenzkategorie) | - | - |
| Geschlecht | Männlich | *63* | *6.17* |
| | Weiblich (Referenzkategorie) | - | - |
| Alter | Linear (*1/10) | *305* | *4.66* |
| | Quadriert (*1/100) | *-14* | *-4.85* |
| | Logarithmiert | *-845* | *-5.38* |
| Haushaltsgrösse | | *-32* | *-4.44* |
| Beschäftigungsgrad | | *304* | *13.29* |
| PW- Führerscheinbesitz | | *117* | *4.82* |
| Erreichbarkeit | | 5 | 0.64 |
| Preisindex Personenverkehr | | *-631* | *-3.97* |

t-Werte *über 1.96* bedeuten statistische Signifikanz des Parameters auf dem 5%-Niveau.

Adj. $R^2$ = 0.809

*Abb. 24 Modellergebnisse GLM: Zurückgelegte Distanz*

| Variable | | β | t |
|---|---|---|---|
| Konstante | | 83.94 | 1.68 |
| Befragungs- | Zeitbudget (‘74, ‘79) | *6.67* | *2.55* |
| methode | Wegetagebuch (‘84, ‘89) | *-4.66* | *-3.89* |
| | Etappentagebuch (‘94, ‘00, ‘05) (Referenzkategorie) | - | - |
| Geschlecht | Männlich | *11.09* | *8.12* |
| | Weiblich (Referenzkategorie) | - | - |
| Alter | Linear (*1/10) | 6.85 | 0.77 |
| | Quadriert (*1/100) | -0.63 | -1.61 |
| | Logarithmiert | -13.68 | -0.65 |
| Haushaltsgrösse | | *-2.57* | *-2.65* |
| Beschäftigungsgrad | | *17.30* | *5.61* |
| PW- Führerscheinbesitz | | 5.58 | 1.70 |
| Erreichbarkeit | | *3.25* | *3.15* |
| Preisindex Personenverkehr | | *-65.68* | *-3.06* |

t-Werte *über 1.96* bedeuten statistische Signifikanz des Parameters auf dem 5%-Niveau.

Adj. $R^2$ = 0.637

Der Einfluss des Alters auf die Mobilität folgt dem in *Abb. 25* dargestellten Trend (der Vollständigkeit halber ist der analoge Effekt in *Abb. 26* für die Anzahl Wege dargestellt). Dargestellt ist der vom Modell vorhergesagte Ausser-Haus-Anteil im Bevölkerungsmittel aller übriger Einflussvariablen. Der eingangs postulierte Kohorteneffekt stellte sich als nicht signifikant heraus, wenn er zusammen mit sowohl der Erreichbarkeit als auch dem Preisindex in die Modelle einbezogen wurde. Daher wurde die entsprechende Variable im finalen Modell weggelassen. Unter Einbezug aller übrigen Einflüsse scheint das Verhalten als überraschenderweise zwischen den einzelnen Generationen nicht signifikant abzuweichen. Der Lebenszyklus- ist hier gegenüber dem Kohorteneffekt klar dominant. In anderen Worten sind die $\alpha_i$ in Gleichung (2) über alle Kohorten gleich und können in eine einzige Konstante zusammengeführt werden. Angesichts der recht breiten Literatur bezüglich der Langzeiteffekte verbesserter Ernährung in der Kindheit auf die Gesundheit der Nachkriegsgenerationen ist dieser Umstand etwas erstaunlich (siehe z.B. Fogel, 2004), da diese Effekte eigentlich eine erhöhte Mobilität bei den jüngeren (später geborenen) Kohorten implizieren würden.

Wie in den Abbildungen zu sehen ist, werden die erwarteten Lebenszykluseffekte hingegen sehr gut vom Modell wiedergegeben: die Mobilität nimmt mit dem Alter ab, wobei die leicht S-förmige Kurve aus der funktionalen Form des Regressionsansatzes (Summe eines linearen, eines quadrierten und eines logarithmierten Terms) resultiert, welcher aufgrund der deskriptiven Analyse der Daten angenommen wurde.

Wie erwähnt wurden die Modelle für alle anderen abhängigen Variablen analog formuliert und führten zu ähnlichen Ergebnissen, welche im nächsten Kapitel zu den *Structural Equation Modell*en detailliertere diskutiert werden. Letztere stellen eine Kombination der Einzelmodelle dar, in welcher die gegenseitige Beeinflussung der abhängigen (endogenen) Variablen zugelassen wird.

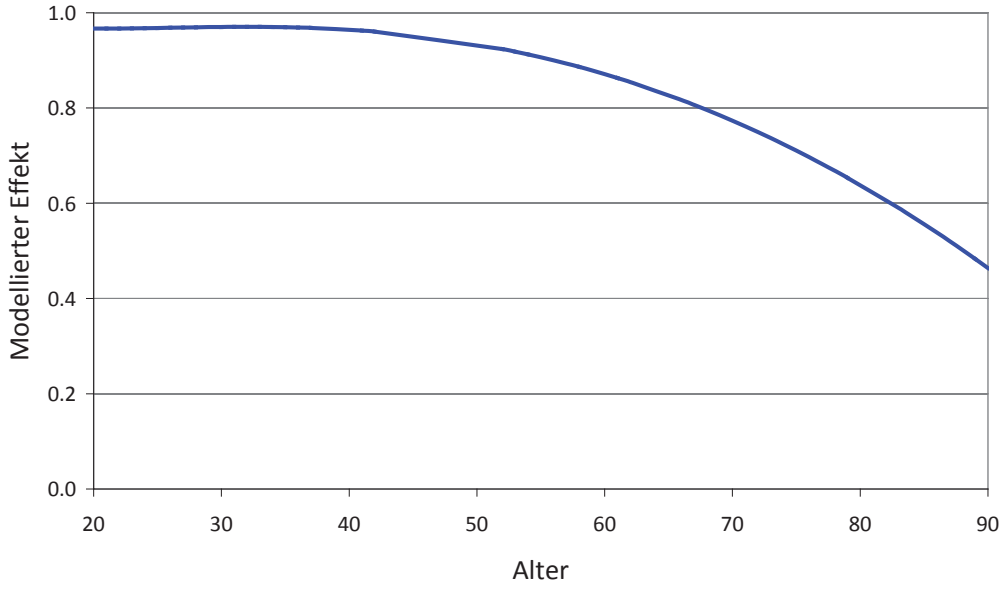



*Abb. 25 Modellierter Alterseffekt für Ausser-Haus-Anteil*

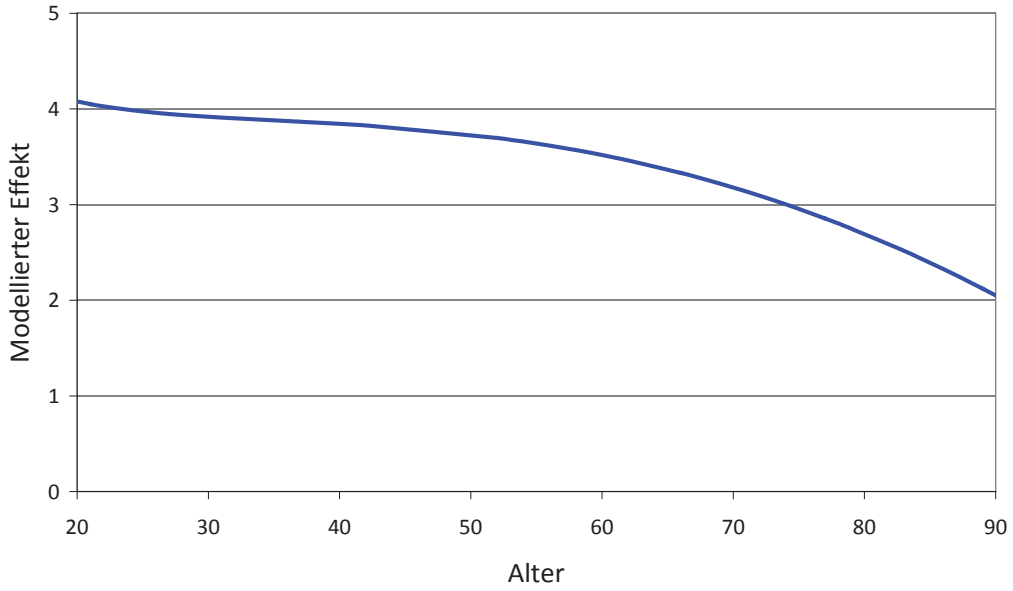



*Abb. 26 Modellierter Alterseffekt für Anzahl Wege*

## 3.7 Structural Equation Modelle

Die Grundmodelle, welche im vorangegangenen Kapitel beschrieben sind, führten grösstenteils zu den erwarteten Ergebnissen für die Einflüsse der erklärenden auf die endogenen Variablen. Auf diese ersten Modelle aufbauend soll nun die Formulierung und Schätzung des *Structural Equation Modell*s diskutiert werden. Dieses bildet die Einflüsse aller exogenen auf alle endogenen Variablen simultan ab. Gleichzeitig berücksichtigt die Struktur des Modellansatzes gegenseitige Beeinflussungen der abhängigen Variablen in Form von Fehlerkorrelationen oder wie im hier verfolgten Ansatz von direkten Effekten.

Die Methode hat in der Verkehrsforschung bereits breite Anwendung gefunden (siehe

Golob, 2003 für eine Diskussion seiner Vorteile in der Modellierung des Verkehrsverhaltens). Beispiele für Anwendungen sind Lu und Pas (1999), eine Analyse der Aktivitätenteilnahme und des Verkehrsverhaltens in Funktion der soziodemographischen Eigenschaften von Individuen; Kuppam und Pendyala (2001), eine Studie der Beziehungen zwischen der Aktivitätenteilnahme, des Verkehrsverhaltens und der Wegekettenbildung von Pendlern; Simma und Axhausen (2004), eine Untersuchung der Interaktionen zwischen Verkehrsverhalten, Erreichbarkeit und räumlichen Eigenschaften in Oberösterreich basierend auf einer Querschnittserhebung; sowie de Abreu e Silva und Goulias (2009), in deren Arbeit der Einfluss von Raumnutzungen auf das Verkehrsverhalten erwachsener Angestellter modelliert wird.

### 3.7.1 Modellansatz

Der *Structural Equation* Ansatz (Bollen, 1989) ist eine Methode zur konfirmatorischen Überprüfung im Voraus festgelegter unterstellter kausaler Effekte zwischen Variablen. Die generelle Formulierung lautet wie folgt:

$$y = \mathrm{B}y + \Gamma x + \zeta \,, \tag{5}$$

wobei $y$ ein $m \times 1$-Vektor endogener Variablen ist. $\mathrm{B}$ ist eine $m \times m$-Matrix von Koeffizienten, welche mit der rechten Seite der Gleichung assoziiert sind. $x$ ist ein $n \times 1$-Vector exogener Variablen. $\Gamma$ ist eine $m \times n$-Matrix von Koeffizienten, welche mit den exogenen Variablen assoziiert sind. $\xi$ ist ein $m \times 1$-Vektor von Fehlertermen, welche sich auf die endogenen Variablen beziehen.

Es wird erwartet, dass das SEM die Trends bestätigt, welche durch die Basismodelle impliziert werden, und es somit erlaubt, Nachfrageelastizitäten für alle relevanten Dimensionen der Verkehrserzeugung zu berechnen. Das Schema in *Abb. 27* zeigt die kausalen Beziehungen, welche aus den Basismodellen resultieren.

Das Modell nimmt an, dass die Interaktionen zwischen den endogenen Variablen als direkte kausale Effekte bestehen und geht somit weiter, als diese Beziehungen lediglich über Fehlerkorrelationen abzudecken. Die Hypothesen bezüglich dieser direkten gegenseitigen Beeinflussungen (welche zu jenen aus den oben erwähnten unabhängigen strukturellen und soziodemographischen Variablen addiert werden) sind wie folgt:

- Ein erhöhter Ausser-Haus-Anteil führt logischerweise zu einer grösseren Anzahl erzeugter Wege.
- Durch den erhöhten Ausser-Haus-Anteil und die daraus resultierenden zusätzlich erzeugten Wege steigen auch die Dauern der ausser Haus verbrachten Zeiten sowie die zurückgelegten Distanzen.
- Als Konsequenz wird die Anzahl Wege pro Reise steigen, dies unter der Annahme dass die neu erzeugten Wege zu bestehenden Wegeketten hinzugefügt werden (und nicht zu häufigeren Wegen zurück nach Hause führen) und somit die Anzahl Reisen etwa gleich bleibt, bzw. weniger stark ansteigt als jene der Wege.
- Durch die längeren Wegeketten sollte der oben beschriebene Effekt auf die zurückgelegten Entfernungen abgeschwächt werden, da die Einbindung neuer Wege in bestehende Wegeketten weniger zusätzliche Fahrleistungen erzeugt als die Erzeugung neuer Reisen (da wiederum die Rückkehr nach Hause wegfällt).

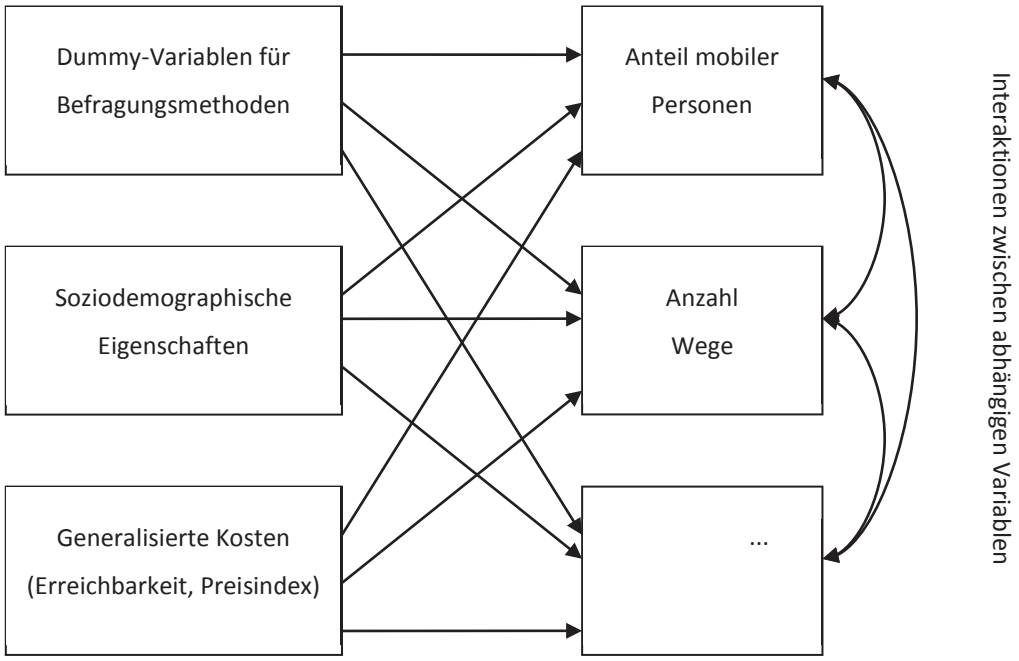
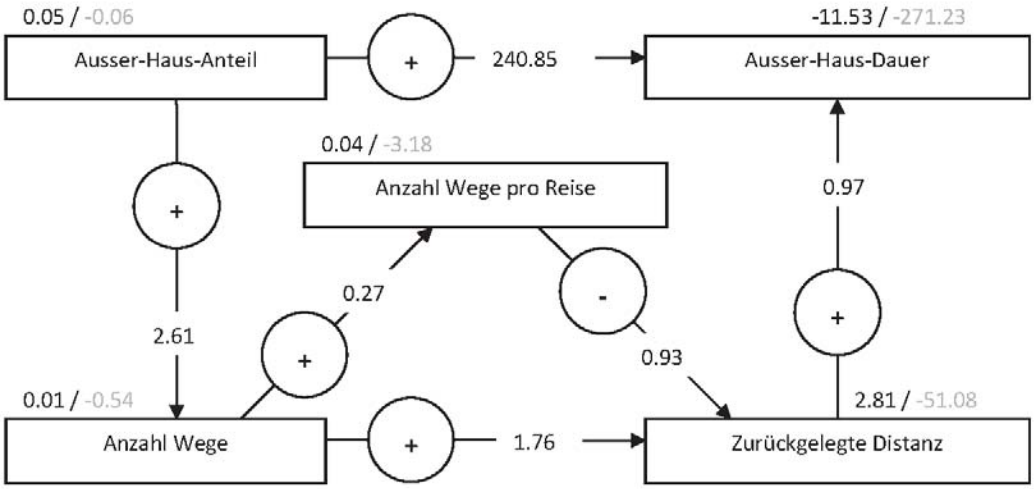



*Abb. 27 Struktur des SEM*

Zusammenfassend sind diese postulierten Einflüsse in *Abb. 28* dargestellt (hervorgehoben durch das erwartete Vorzeichen des Effekts), zusammen mit den Ergebnissen der Modellschätzung für die generalisierten Kosten. Die Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt diskutiert. Die in der Abbildung gezeigten direkten Effekte entsprechen jenen, welche in *Abb. 29* dargestellt sind.




Zahlen geben geschätzte Modellparameter an für: Erreichbarkeit / Preisindex
Vorzeichen in den Kreisen geben postulierte Einflüsse an

*Abb. 28 Modellergebnisse SEM: Beeinflussung der abhängigen Variablen*

## 3.7.2 Ergebnisse der Modellschätzungen

Für die Schätzung des SEM wurde die Software AMOS 16.0 (Byrne, 2001) verwendet.

Die Ermittlung der Parameter eines SEM besteht in einer kovarianzbasierten Strukturanalyse, welche auch unter dem Begriff der Momentenmethode bekannt ist. Sie besteht in der Minimierung der Differenz zwischen den tatsächlichen Kovarianzen in der Stichprobe und jenen, welche durch die Kombinationen der Modellparameter impliziert werden.

Für die Schätzung von *Structural Equation Modell*en stehen verschiedene Optimierungstechniken zur Verfügung. In der Software AMOS können Konstanten für die endogenen Variablen nur berechnet werden, wenn die *Maximum Likelihood* Methode angewendet wird. Da in der Literatur (Kuppam und Pendyala, 2001; Golob, 2003; Schermelleh-Engel *et al.*, 2003) nur marginale Unterschiede in den Modellergebnissen zwischen dieser und der eigentlich idealerweise für ein solchen Problem anzuwendenden *asymptotically distribution-free* (ADF) Methode nachgewiesen werden, wurde die *Maximum Likelihood* Methode für die Schätzung angewandt.

*Abb. 29* zeigt die ermittelten direkten Effekte für die endogenen Variablen, welche auch in *Abb. 28* dargestellt sind.

*Abb. 29 Modellergebnisse SEM: Direkte Effekte*

| | Variable | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | Ausser-Haus-Anteil | | *2.61* | | *240.85* | |
| (2) | Anzahl Wege | | | *0.27* | | 1.76 |
| (3) | Anzahl Wege pro Reise | | | | | 0.93 |
| (4) | Ausser-Haus-Dauer | | | | | |
| (5) | Zurückgelegte Distanz | | | | *0.97* | |

*Kursiv geschriebene* Werte sind statistisch signifikant (auf dem 5%-Niveau).

Alle gezeigten Effekte, bis auf jene für die zurückgelegten Distanzen, sind auf dem 5%-Niveau statistisch signifikant und haben das erwartete Vorzeichen (siehe oben). Lediglich der Effekt der Komplexität der Wegeketten auf die Entfernungen läuft den Hypothesen im vorangegangenen Abschnitt entgegen. Die Einbindung neuer Wege in bestehende Reisen scheint also die zusätzlichen Fahrleistungen, welche durch die höhere Gesamtmobilität erzeugt werden, noch zu verstärken anstatt sie wie angenommen durch die Unterdrückung der Fahrten nach Hause abzuschwächen.

*Abb. 30* zeigt die Regressionsparameter, welche für die exogenen Variablen geschätzt wurden. Die Ergebnisse der vorangegangenen Analysen werden hier bestätigt: die Lebenszykluseffekte geben für alle endogenen Variablen die erwarteten Trends, analog zu jenem welcher oben für den Ausser-Haus-Anteil beschrieben wird, wieder. Mobilität, Anzahl Wege, Ausser-Haus-Dauern und zurückgelegte Entfernungen nehmen alle mit zunehmendem Alter ab.

*Abb. 30 Modellergebnisse SEM: Regressionsparameter*

| | | Endogene Variablen (Reihenfolge siehe oben) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Exogene Variablen | | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Konstante | | 0.78 | 2.59 | *3.05* | *1'472.7* | -63.13 |
| Befragung | Zeitbudget ('74, '79) | *-0.03* | *-0.22* | *-0.14* | 8.2 | *5.17* |
| | Wegetagebuch ('84, '89) | *-0.11* | *-0.36* | 0.02 | -9.9 | *-3.29* |
| Geschlecht | Männlich | *0.01* | *0.26* | *-0.06* | *57.9* | *18.92* |
| Alter | Linear (*1/10) | *0.17* | 0.50 | -0.30 | *170.1* | *-17.21* |
| | Quadriert (*1/100) | *-0.02* | *-0.04* | *0.02* | *-7.1* | 0.26 |
| | Logarithmus | -0.19 | -0.76 | 0.49 | *-521.3* | *47.44* |
| Haushaltsgrösse | | *-0.019* | *0.094* | -0.012 | *-22.45* | *-3.649* |
| Beschäftigungsgrad | | 0.013 | *0.473* | *0.103* | *284.51* | *4.915* |
| PW-Führerscheinbesitz | | *0.137* | *0.655* | *-0.168* | *119.65* | *-8.926* |
| Erreichbarkeit | | *0.051* | 0.012 | 0.040 | -11.53 | *2.811* |
| Preisindex Personenverkehr | | *-0.061* | -0.539 | *-3.186* | *-271.23* | *-51.075* |
| *Kursiv geschriebene* Werte sind signifikant (auf dem 5%-Niveau; gemäss C-Ratio-Test). | | | | | | |
| Multipler Korrelationskoeffizient ($R^2$) | | 0.587 | 0.766 | 0.493 | 0.768 | 0.596 |

Der Parameter für die Haushaltsgrösse bleibt für alle bis auf einen Indikator negativ, was wiederum auf weniger mobile Personen aus Familienhaushalten hinweist. Ebenfalls bestätigt wird, dass Erwerbstätige generell mobiler sind.

Was die generalisierten Kosten in ihrer Form als Erreichbarkeit und Preisindex betrifft, so konnten auch hier die oben beschriebenen Ergebnisse bekräftigt werden. Die Erreichbarkeit hat einen signifikant positiven, der Preisindex einen negativen Einfluss auf alle betrachteten Indikatoren. Die einzige Grösse, für welche dies nicht der Fall ist, ist die Ausser-Haus-Dauer. Da diese jedoch einem ganzen Prozess gegenseitiger Beeinflussungen der übrigen endogenen Variablen angehört (siehe *Abb. 28*), welche alle positiv durch die Erreichbarkeit beeinflusst werden, ist – wie im folgenden Abschnitt dargelegt – der modellierte Gesamteffekt der steigenden Erreichbarkeit auch hier positiv.

Bei der Bildung von Wegeketten, welche hier über die durchschnittliche Anzahl Wege pro Reise abgebildet ist, zeigt das Modell, dass mit sinkenden generalisierten Kosten die Tendenz zu längeren Wegeketten ansteigt, was dem postulierten billigeren Heimweg zwischen zwei Aktivitäten entgegenläuft. Die neuen Wege werden also bestehenden Ketten hinzugefügt. Eine mögliche Erklärung wäre hier, dass die steigenden Distanzen die Reisenden an Orte der Aktivitätsausübung platziert, von welchen eine Rückkehr nach Haus zwischen zwei Aktivitäten nicht mehr sinnvoll ist.

Die relativen Bewertungen der Variablen zur Beschreibung der generalisierten Kosten in den verschiedenen Sub-Modellen, sowie die Gesamteffekte, welche durch diese und die Interaktion zwischen den endogenen Variablen induziert werden, werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

## 3.8 Berechnung der Nachfrageelastizitäten

Ein probates Mittel zum Vergleich von Modellergebnissen, welches besser geeignet ist als die Interpretation reiner Parameterwerte, wie sie im vorigen Kapitel erfolgt ist, ist die

Berechnung von Elastizitäten für die verschiedenen Nachfragevariablen.

Die Werte werden im Stichprobenmittel für alle Variablen berechnet und geben die geschätzte Wirkung eines 1-prozentigen Anstiegs einer unabhängigen Variablen (hier der Erreichbarkeit und des Preisindex) auf die relative Veränderung aller abhängigen Variablen wieder. Die Ergebnisse für das SEM, welche hier berichtet werden, beinhalten sowohl die Einflüsse der generalisierten Kosten als auch die direkten gegenseitigen Effekte zwischen den endogenen Variablen.

*Abb. 31* zeigt die Nachfrageelastizitäten für alle relevanten Mobilitätsindikatoren, welche einerseits aus dem GLM und andererseits aus dem SEM, hervorgehen.

*Abb. 31 Erreichbarkeits- und Preiselastizitäten für GLM und SEM*

| Nachfrageelastizität | | GLM | SEM |
|---|---|---|---|
| Erreichbarkeit | Ausser-Haus-Anteil | 0.62 | 0.61 |
| | Anzahl Wege | 0.45 | 0.44 |
| | Anzahl Wege pro Reise | 0.26 | 0.24 |
| | Ausser-Haus-Dauer | 0.12 | 0.10 |
| | Zurückgelegte Distanz | 0.91 | 1.14 |
| Preisindex Personenverkehr | Ausser-Haus-Anteil | -0.12 | -0.06 |
| | Anzahl Wege | -0.34 | -0.19 |
| | Anzahl Wege pro Reise | -2.71 | -1.66 |
| | Ausser-Haus-Dauer | -1.33 | -0.84 |
| | Zurückgelegte Distanz | -1.60 | -1.95 |

Dass die Werte zwischen GLM und SEM leicht voneinander abweichen zeigt, dass die Einbindung der direkten Beeinflussung der abhängigen Variablen einen nicht zu vernachlässigenden Effekt auf die Verkehrserzeugung abbildet. Da das SEM die Gesamteffekte korrekt abbildet, sind in der Anwendung die entsprechenden Werte zu verwenden.

Die Auswirkungen der Variation des Preisindexes insbesondere auf die ausser Haus verbrachten Zeiten werden durch den Einbezug der Rückkopplungseffekte abgeschwächt (da sie zu einem grösseren Teil in die Erzeugung der Ausser-Haus-Anteile und Wege einfliessen, welche in der Wirkungskette vor ersteren stehen). Die Werte aus dem SEM (welche bei der Anwendung jenen aus dem GLM vorzuziehen sind, da sie die erwähnten Rückkoppelungseffekte abbilden) implizieren, dass eine Erhöhung der Erreichbarkeit um 1% folgende Effekte erzielt:

- Anstieg des Anteils mobiler Personen um 0.6%;
- Anstieg der Anzahl unternommener Wege um 0.4%;
- Anstieg der Anzahl Wege pro Reise um 0.2%, also Bildung etwas längerer (komplexerer) Wegeketten;
- Anstieg der täglichen Ausser-Haus-Dauer um 0.1%;
- Anstieg der zurückgelegten Entfernungen um 1.1%.

Die sehr hohen Elastizitäten für die zurückgelegten Entfernungen sind eher überraschend, da ein 1-prozentiger Anstieg der Erreichbarkeit gemäss diesen quasi eins zu eins in zusätzliche gefahrene Distanzen umgesetzt werden würde. Die historischen Da-

ten bestätigen jedoch diesen Trend (die tägliche Distanz stieg über die Jahre stetig an, von ca. 26 Kilometern im Jahr 1974 auf knapp 40 Kilometer im Jahr 2005). Somit würde eine Erhöhung der Erreichbarkeiten um 10% nochmals zu ca. 4 zusätzlich zurückgelegten Kilometern pro Person und Tag führen. Bei einem solchen Gedankenexperiment sollte jedoch immer bedacht werden, welch hohen Investitionen notwendig waren, um die Erreichbarkeit seit 1970 auf das heutige Niveau zu erhöhen. Detailliertere Ausführungen hierzu finden sich im nächsten Kapitel, aber selbst grosse Projekte werden die globalen Erreichbarkeiten nur marginal verändern, womit auch die Effekte auf die erbrachten Verkehrsleistungen klein bleiben sollten. Auf lokaler Ebene könnten sich diese jedoch stärker bemerkbar machen (hier sei vorgreifend bereits auf die Fallbeispiele in Absatz 4.9.2 hingewiesen).

Die durch Veränderungen des Preisindex induzierten Effekte, welche das Modell impliziert, entsprechen den Werten aus *Abb. 31* und folgen derselben Logik wie jene für die Erreichbarkeiten (erhöhte Mobilität bei sinkenden generalisierten Kosten).

## 3.9 Anwendung

Nachdem im vorigen Kapitel die Nachfrageelastizitäten für die Erreichbarkeit berechnet wurden, stellt sich nun die Frage, welche Anstrengungen unternommen werden müssten, um die entsprechenden Steigerungen der Erreichbarkeiten zu erreichen. Dieses Kapitel dient zur Veranschaulichung der Effekte, welche verschiedene Szenarien auf die Verteilung der Erreichbarkeiten hätten.

Gezeigt werden hier die Auswirkungen pauschaler Veränderungen des Verkehrssystems in der Schweiz auf die Gesamtverteilung der Erreichbarkeiten; die Bewertung konkreter Projekte würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Die betrachteten Szenarien sind:

- globale Reduktion aller Reisezeiten um 10, bzw. 25 % (ohne neue Umlegung der Nachfrage);
- Erweiterung aller Nationalstrassen, bzw. aller Strassen im Kanton Zürich, um eine Spur pro Richtung (Berechnung der neuen Reisezeiten aus neuer Umlegung der Nachfrage);
- Erhöhung der Höchstgeschwindigkeiten auf allen Nationalstrassen, bzw. auf allen Strassen (Berechnung der neuen Reisezeiten aus neuer Umlegung der Nachfrage).

*Abb. 32* zeigt die Verteilung des Anstiegs der Erreichbarkeit in diesen Szenarien. Die Abbildung liest sich analog zu *Abb. 7* (Abschnitt 3.4.1, Seite 32). Für die beiden Szenarien mit pauschal reduzierten Reisezeiten wurden die Erreichbarkeiten mittels der Anwendung des entsprechenden Umrechnungsfaktors auf die Reisezeiten aus dem Modell (Angebot und Nachfrage) im Ist-Zustand berechnet

Die zur Berechnung der neuen Erreichbarkeiten notwendigen Reisezeiten für die übrigen Szenarien wurden mittels neuer Umlegungen der Nachfrage auf das Netz (mit den entsprechend veränderten Attributen) ermittelt. Diese Erreichbarkeiten berücksichtigen somit die Rückkoppelungen zwischen den Effekten, welche der Ausbau auf das Verkehrssystem hat, also die stärkere Belastung der a priori schnelleren ausgebauten Strecken und die damit einhergehende Abschwächung der Reisezeitgewinne im Gleichgewichtszustand. Die angegebene Erhöhung der Geschwindigkeiten bezieht sich also jeweils auf die Höchstgeschwindigkeiten auf den Strecken und nicht auf die tatsächlich gefahrenen. Somit werden die angegebenen Verbesserungen nicht direkt in Reisezeitgewinne umgesetzt. Nicht berücksichtigt werden können Effekte, welche die Nachfrage an sich und damit auch die Erreichbarkeiten betreffen: z.B. durch den Ausbau des Verkehrssystems verursachte Umzüge an jetzt besser erreichbare Orte, welche zu einer Verschiebung der Anzahl Gelegenheiten in der verschiedenen Zonen führen.

Die Verteilung ergibt sich aus den Erreichbarkeiten der einzelnen Bezirke im Modell, gewichtet mit deren jeweiliger Einwohnerzahl im Ist-Zustand.

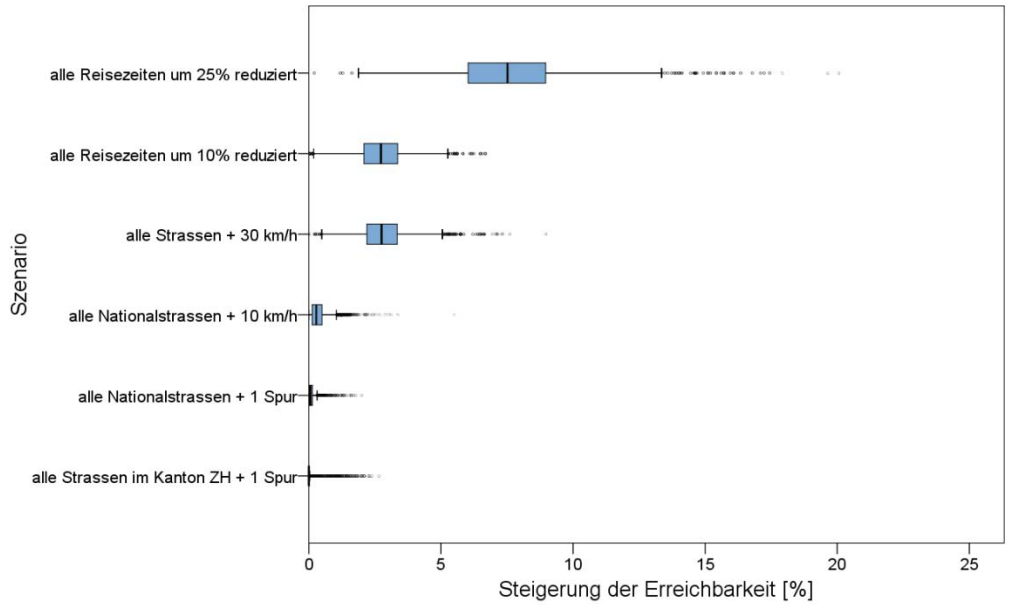



*Abb. 32 Verteilung der Erreichbarkeitsveränderungen in verschiedenen Szenarien*

Es zeigt sich, dass selbst Reduktionen der Reisezeiten um 10% bzw. 25% im pauschalen Szenario nur zu einer unterproportionalen Erhöhung der (logarithmierten) Erreichbarkeiten führen. Somit wären die Effekte auf die modellierte Nachfrage selbst in diesen drastischen Fällen gering.

Des Weiteren ist ersichtlich, dass die weniger stark generalisierten (jedoch immer noch drastischen) Kapazitätserhöhungen des Netzes, wie z.B. durch den Ausbau aller Nationalstrassen um eine Spur oder die Erhöhung derer Geschwindigkeitsbegrenzung, noch weitaus geringere Erreichbarkeitssteigerungen mit sich bringen würden.

Die Effekte solcher Kapazitätssteigerungen wären daher nur sehr lokal spürbar. Möglicherweise wäre jedoch in Einzelfällen bei der Beurteilung konkreter lokaler Ausbauprojekte die im Modell vorhergesagte Zunahme der Verkehrserzeugung beträchtlich.

Ebenfalls ist anzumerken, dass selbst die im Verhältnis zur Gesamtverkehrserzeugung relativ gering anmutende zusätzliche Verkehrserzeugung absolut durchaus zu einer nicht unbeträchtlichen Anzahl neuer Wege führt. So impliziert die globale Erhöhung der Geschwindigkeiten um 10 km/h beispielsweise im Mittel 0.25% höhere Erreichbarkeiten und somit 0.10% mehr Wege (da die Elastizität diesbezüglich bei ca. 0.4 liegt). Bei 3.8 Wegen pro Tag und Person ergibt dies hochgerechnet auf die gesamte Schweiz knapp 30'000 neu erzeugte Wege, welche im Verkehrssystem verteilt werden müssen.

Lokal sind die Effekte dieser neu erzeugten Wege aufgrund der eventuell höheren erzeugten Erreichbarkeitsveränderungen wiederum nicht zu vernachlässigen. Diese lokalen Effekte werden in der Grafik durch die Ausreisser dargestellt. Im hier angesprochenen fiktiven Beispiel wäre dies maximal eine ca. 7.5% höhere Erreichbarkeit und damit einhergehend für vereinzelte Gemeinden eine Erhöhung der erzeugten Fahrten um 3%.

*Abb. 33* zeigt für das Szenario „Erhöhung der Maximalgeschwindigkeiten auf allen Strassen im Netz“ die Verteilung der Erhöhung der Erreichbarkeiten über die Schweizer Gemeinden. Hier wird ersichtlich, dass die Erhöhung der Maximalgeschwindigkeit insbesondere dort einen Einfluss hat, wo diese Geschwindigkeitserhöhung auch effektiv in Reisezeitgewinne umgesetzt werden kann. Dies ist dort der Fall, wo aufgrund geringer Kapazitätsauslastung des Netzes die angebotene Geschwindigkeit gefahren werden kann.

Die Veränderungen in diesem Szenario betreffen demnach hauptsächlich ländliche Gebiete mit geringem Verkehrsaufkommen; die grossen Städte profitieren hingegen eher wenig. Auffällig ist zudem, dass die grössten Veränderungen in den Grenzregionen – insbesondere des Tessins und Wallis – sowie in einzelnen Gebieten Graubündens auftre-

ten.

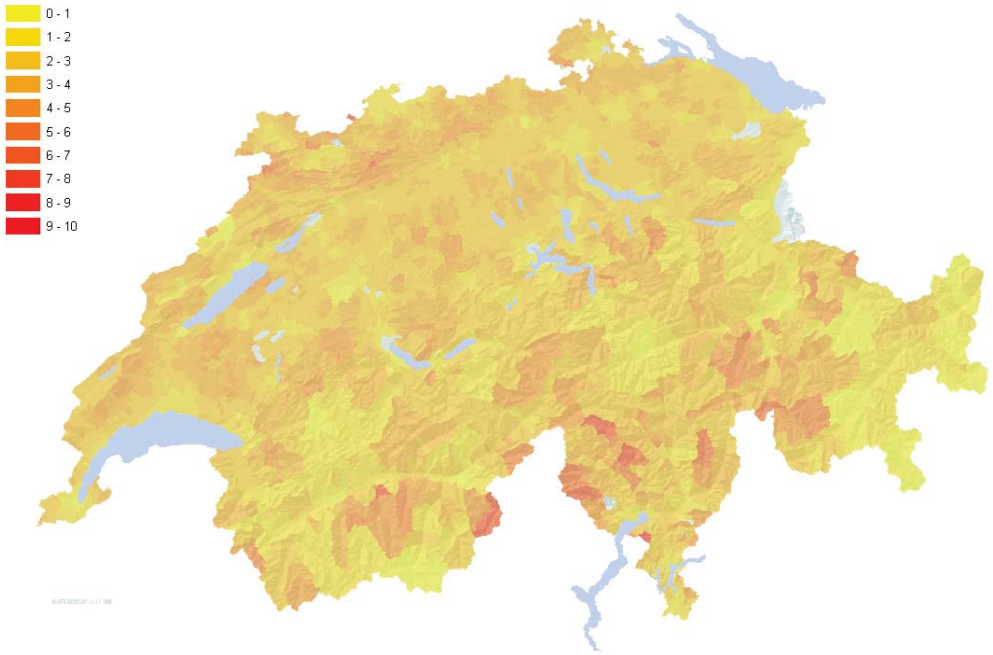



*Abb. 33* *Steigerung der Erreichbarkeiten [%] bei Erhöhung aller Höchstgeschwindigkeiten um 30 km/h*

Für die Anwendung der hier beschriebenen Modelle wird folgendes Vorgehen empfohlen (*Abb. 34*). Zunächst müssen bei bestehender Nachfrage und aufgrund einer Massnahme verändertem Netz die neuen Reisezeiten (aus dem entsprechenden Netzmodell) und daraus die Erreichbarkeiten ermittelt werden. Diese werden dann verwendet, um die Verkehrserzeugung (aus der bestehenden Matrix) neu zu berechnen und somit die Quelle-Ziel-Matrix neu zu bestimmen. Diese Matrix sollte dann wiederum zwecks erneuter Berechnung der Reisezeiten und Erreichbarkeiten auf das Netz umgelegt werden. Gegebenenfalls müssen diese Arbeitsschritte mehrmals iterativ wiederholt werden, um letztendlich die Konsistenz zwischen erzeugten Verkehrsmengen und Erreichbarkeiten herzustellen (also bis ein Gleichgewichtszustand entsteht).

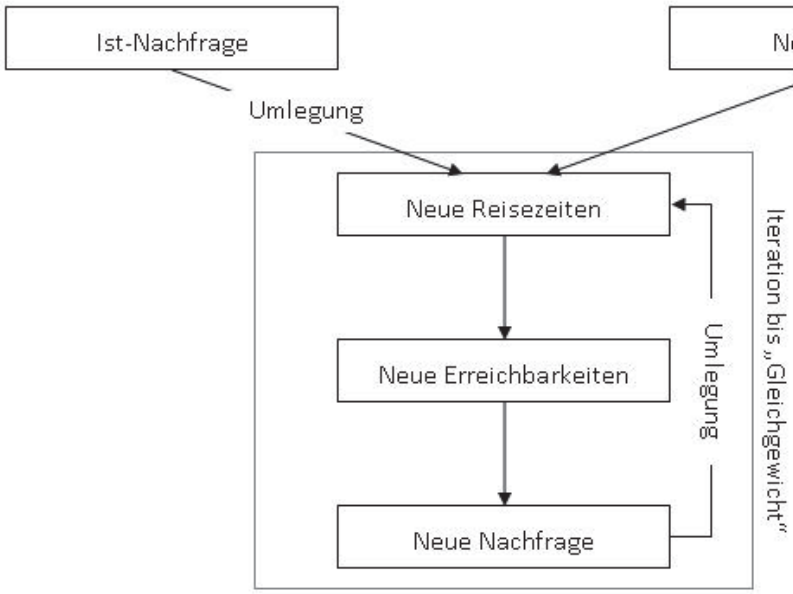



*Abb. 34 Vorgehen bei der Anwendung*

## 3.10 Zwischenfazit

Die Ergebnisse, welche in diesem ersten Teil der Studie erzielt wurden, bestätigen die Hypothesen, welche in der Einleitung formuliert wurden. Es konnte gezeigt werden, dass Reduktionen der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme auf Kohortenebene höhere Mobilität induzieren. Dies wird durch die Modellergebnisse und insbesondere die signifikanten Effekte der Erreichbarkeit und des Preisindex, welche zur Abbildung der generalisierten Kosten verwendet wurden, bestätigt. Dieser substantielle Neuverkehr auf den oberen Ebenen der Verkehrsnachfrage ist sicher ein interessanter Umstand, der unseres Wissens in dieser Form bisher noch nicht nachgewiesen worden ist.

Ebenfalls interessant und nicht weniger überraschend ist die Abwesenheit von Generationseffekten in den Modellen. Die Resultate für die Schweiz, welcher hier vorgestellt wurden, deuten darauf hin, dass die Preisveränderungen und die verbesserten Erreichbarkeiten für die Erzeugung der erhöhten Nachfrage der älteren Bevölkerung verantwortlich sind. Dies dürfte Überlegungen zu Planungsmassnahmen einen neuen Impuls geben, da ältere Personen vermehrt an der Rückkehr an gut erreichbare und mit geringen Verkehrskosten verbundene urbane Orte interessiert sein dürfte.

Weitere Schritte im Projekt zielen auf die Bestätigung der hier ermittelten Trends auf einem weniger aggregierten Niveau ab, und sind im folgenden Kapitel 4 beschrieben.

# 4 Zweiter Teil: Disaggregierte Analyse

## 4.1 Stand der Forschung

Beispiele für die Anwendung der Konzepte aus dem hier beschriebenen zweiten Projektteil sind in der Vergangenheit selten. Bei der Bewertung der Effekte von Massnahmen auf das Verkehrsverhalten der Bevölkerung ist es in diesem Kontext wichtig, die zugrundeliegenden Entscheidungsfindungsprozesse zu verstehen. Die Methoden der *Stated Preference*, welche Befragte mit hypothetischen Situationen konfrontieren, sind ein probates Mittel für solche Analysen. Daten aus solchen Befragungen sind zur Erstellung wegebasierter Modelle längst als Stand der Technik anerkannt. In der Verkehrsforschung werden die Befragungen häufig als *Stated Choice* Experimente ausgelegt; hier werden den Befragten mehrere Entscheidungssituationen über Ziel-, Verkehrsmittel- oder Routenwahl vorgelegt, welche durch die Attribute der verschiedenen angebotenen Alternativen beschrieben sind und in welchen die Befragten eine (einzige) Option auswählen müssen. Solche Experimente, welche auf einen einzelnen Weg beschränkt sind, beinhalten selten eine Verkehrserzeugungskomponente, die Befragten haben also nicht die Wahl, entweder nicht zu reisen oder ihre Tagesplanung so umzustellen, dass die Struktur der Wegeketten sich verändert. Es erscheint uns jedoch wichtig, bei der Modellierung der induzierten Verkehrsnachfrage gerade dem komplexen Prozess der Planung über einen gesamten Tag  Rechnung zu tragen. Somit stellt die Anwendung der hier vorgestellten Methodik einer sich auf gesamte Tagespläne beziehenden *Stated Adaptation* Befragung zur aktivitätenbasierten Analyse des Verkehrsverhaltens eine Neuerung dar.

Die einleitend erwähnte *HATS*-Befragung (Jones, 1979; Jones *et al.*, 1980) war ein früher Versuch, solche Experimente durchzuführen. Der Ansatz besteht wie im vorliegenden Projekt aus zwei Stufen: der Aufzeichnung des Ist-Verhaltens und der Reaktionen auf Veränderungen. Die verwendete Methodik stützte sich auf eine brettspielartige Umgebung, in welcher die Befragten ihre Reaktionen visualisieren und testen konnten. Der Ansatz stellt somit sicher, dass die Implikationen auf allen relevanten Nachfrageebenen gleichzeitig aufgezeichnet und für die spätere Modellierung zur Verfügung stehen. Am Ende des Interviews steht ein Satz von „vorher/nachher"-Tagesplänen zur Verfügung, welche dann hinsichtlich der gewünschten Merkmale untersucht werden können. Die Methodik verbindet die Vorteile der Modellierung ganzer Tage (und nicht einzelner Wege) mit der Möglichkeit der Abfrage von Reaktionen auf Veränderungen (welche bei der alleinigen Verwendung von Tagebuchdaten nicht möglich ist). In der hier beschriebenen Forschungsarbeit wurde ein ähnlicher Ansatz verwendet, welcher aber auf ein Computerprogramm aufsetzt und somit den Prozess der Datenhaltung vereinfacht.

Frühe Anwendungen der Methodik litten unter der noch beschränkten Anwendbarkeit aktivitätenbasierter Verkehrsmodelle. Heute sind diese jedoch breit verfügbar, und erlauben die Verwendung solcher *Stated Adaptation* Daten. *MATSim* (Balmer *et al.*, 2008) und *Albatross* (Arentze und Timmermans, 2005) sind nur zwei Beispiele solcher aktivitätenbasierter Modelle. Einige frühe erfolgreiche Anwendungen des *HATS*- oder ähnlicher Ansätze seien jedoch hier genannt.

Jones (1980) beschreibt verschiedene Forschungs- und Praxisanwendungen seines Ansatzes, unter anderem Reaktionen auf verbesserte bzw, verschlechterte Busverbindungen in Grossbritannien (siehe auch Martin and Vorhees Associates, 1978; Jones und Dix, 1978; Brown und Mason, 1981). Jones *et al.* (1989) entwickelten das *Computerised Activity-Based Stated Preference (CASP)* Paket; in der beschriebene Feldarbeit wurden Pendler mit dem (hypothetischen) Zwang konfrontiert, mit dem ÖV anstelle des MIV zur Arbeit zu fahren. Derselbe Aufsatz beschreibt den *Adelaide Travel and Activity Questioner (ATAQ)*, welcher Reaktionen verschiedene Massnahmen zur Regulierung des Parkierungsangebotes misst.

Van Knippenberg und Clarke (1984) (siehe auch van Knippenberg und Lameijer, 1985) untersuchen die Auswirkungen von Reduktionen des Busangebotes mit vordefinierten Tagesplänen, aus welchen die Befragten wählen müssen. Die Autoren erkennen die

Notwendigkeit, alle Aktivitäten des Tages gleichzeitig zu betrachten, und nicht nur jene welche die Wege, die durch die Massnahme beeinflusst werden, betreffen.

Phifer *et al.* (1980) entwickeln eine interaktive Methodik, welche sie *Response to Energy and Activity Constraints on Travel (REACT)* nennen und mit 12 Haushalten in Albany, New York, testen. Die Autoren erkennen, dass die Befragten Veränderungen des Arbeitsweges häufig mit Veränderungen von sekundären Aktivitäten entgegenwirken. Dieses Konzept wird auch im hier vorliegenden Forschungsprojekt aufgegriffen.

Lee-Gosselin's (1989, 1990) Arbeiten wenden ein den *HATS*-Befragungen ähnlichen Ansatz an, das *Car-Use Patterns Interview-Game (CUPIG)*. 45 Haushalte wurden zu ihrem PW-Gebrauch unter verschiedenen Szenarien der Treibstoffknappheit befragt. Doherty und Lee-Gosselin (2000) und Doherty *et al.* (2002) wenden den *CHASE (Computerized Household Activity Scheduling Simulator)* an, welcher auf der *CUPIG*-Methodik aufbaut und die Effekte von PW-Nutzungsbeschränkungen analysiert. Die drei befragten Haushalte berichteten substantielle Umplanungen, hauptsächlich die Anpassung der Anfangs- und Endzeiten der Wege und Aktivitäten sowie Verkehrsmittelwahlentscheidungen (welche vermutlich zu einem Grossteil durch die sehr spezifische Formulierung der Experimente begründet sind). Doherty und Miller (2000) verwenden die selbe Computersoftware für eine Studie, in welcher die Befragten ihr geplantes Verhalten im Voraus aufzeichnen und dann nachträglich verändern können, falls das tatsächlich Geschehene davon abweicht. Sie argumentieren, dass viele (Verkehrs-)Entscheidungen sehr kurzfristig fallen und dass ihr *In Situ* Ansatz diese Veränderungen sehr effizient zu messen vermag. Der hier verwendete Ansatz unterscheidet sich davon insofern, als *Stated Preferences* aufzeichnen werden, und nicht Reaktionen auf reale Veränderungen.

Arentze *et al.* (2005) führen eine internetbasierte *Stated Adaptation* Befragung durch, in welcher sie die Reaktionen auf Strassengebühren abfragen. Der Ansatz ist aktivitätenbasiert, und verschiedene Aspekte des Planungsprozesses können angepasst werden. Im Gegensatz zu unserem Ansatz arbeiten sie jedoch mit vorgefertigten Vorschlägen zur Anpassung, aus welcher die Befragten einen oder mehrere auswählen können.

## 4.2 Methodik

### 4.2.1 Verkehrstagebücher

Die Verkehrstagebücher, welche den Befragten zum Ausfüllen vorgelegt wurden, sind angelehnt an die wegebasierten *MobiDrive*-Fragebögen, welche für einige frühere Studien in der Schweiz verwendet wurden (König *et al.*, 2000; Löchl *et al.*, 2005). Ein Beispiel einer Seite für die Eingabe eines Weges ist in *Abb. 35* gezeigt. Mit dem Fragebogen wurden den Befragten detaillierte Anweisungen zu dessen Ausfüllen abgegeben. Das komplette Tagebuch (cf. Anhang) bietet Platz für die Aufzeichnung von 40 Wegen über den Befragungszeitraum von 5 Tagen, welcher für jede befragte Person im Voraus festgelegt wurde.

| | |
|---|---|
| Weg Nr. | 1 |
| Startzeit | : Uhr |
| Verkehrsmittel | ☐ zu Fuss ____ Minuten<br>☐ Fahrrad ____ Minuten<br>☐ Motorrad ____ Minuten<br>☐ Auto (Fahrer) ____ Minuten<br>☐ Auto (Mitfahrer) ____ Minuten<br>☐ Tram / Bus ____ Minuten<br>☐ Bahn ____ Minuten<br>☐ Sonstige ____ Minuten<br>Wartezeit ____ Minuten |
| Ankunftszeit | : Uhr |
| Gesamtdistanz | ____ Kilometer |
| Ziel des Weges (Adresse) | Str. ____ Hausnr. ____<br>PLZ ____ Ort ____<br>Lokalität ____ |
| Wegzweck | ☐ Rückkehr nach Hause<br>☐ Jemanden abholen / bringen<br>☐ Arbeit / Ausbildung<br>☐ Einkauf (täglicher Bedarf)<br>☐ Einkauf (langfristiger Bedarf)<br>☐ Erledigung / Dienstleistung<br>☐ Dienstlich / geschäftlich<br>☐ Freizeit, und zwar: ____<br>☐ Sonstiges, und zwar: ____ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Begleit- | Weg | | Aktivität |
| personen | | Haushaltsmitglieder | |
| | | übrige Personen | |
| | | Hund | |
| Planungs- | | Routineaktivität / Weg nach Hause | |
| horizont | | Einen oder mehrere Tage im Voraus | |
| | | Im Laufe des Tages | |
| | | Spontan / gerade eben | |

*Abb. 35 Auszug aus dem Papier-Verkehrstagebuch*

Ein analoger Fragebogen wurde als internetbasiertes Formular programmiert. Hier erhielt jeder teilnehmende Haushalt einen Benutzernamen und ein Passwort per E-Mail zugestellt. Auf der entsprechenden Internetseite werden die an einem bestimmten Tag besuchten Lokalitäten auf einer Karte angezeigt und je nach Typ der dort ausgeübten Aktivität farblich kodiert (z.B. weiss für Aufenthalte zuhause, blau für Arbeit, grün für Freizeitaktivitäten). Die Online-Version sollte somit den Befragten ein attraktiveres Umfeld für die Aufzeichnung ihrer Tagesabläufe bieten, als dies bei einem Papierfragebogen der Fall ist. Ein Beispiel eines Eingabebildschirmes ist in *Abb. 36* gezeigt.

Zusätzlich zur erwähnten Karte wird ein grafischer sowie ein tabellarischer Überblick über die bereits eingegebenen Wege und Aktivitäten angezeigt. Das Bearbeiten bereits angegebener sowie das Einfügen zusätzlicher Aktivitäten geschieht über die entsprechenden Links in der Tabelle, während die Navigationsleiste auf der linken Seite die Befragten zu den anderen Fragebogenteilen (insbesondere der Eingabe der Haushalts- und Personeneigenschaften) führt.

Jeder Haushalt konnte das Tagebuch nach Wahl mittels des klassischen Papierfragebogens oder online führen. Die Software, welche für die Durchführung der Haushaltsinterviews verwendet wurde und im nächsten Abschnitt beschrieben ist, greift auf dieselbe Datenbank zurück, welche durch die Online-Tagebuchbefragung erstellt wird. Um auf die Daten zugreifen zu können, mussten die Daten aus den Papierfragebögen also in einem Zwischenschritt noch in die Online-Eingabemaske übertragen werden.

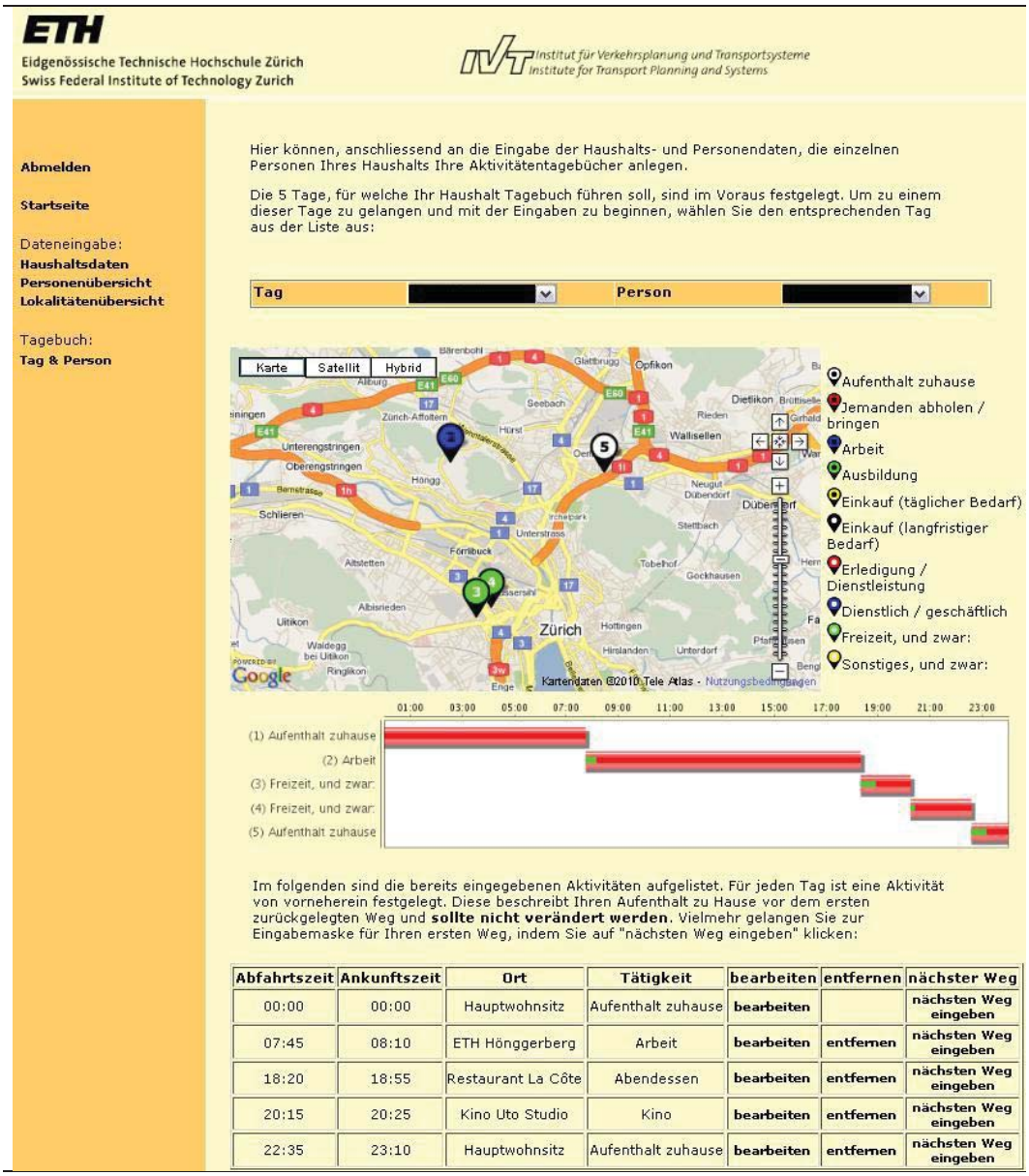



*Abb. 36 Beispiel eines Online-Eingabebildschirms*

### 4.2.2 Stated Adaptation Interviews

Auf Grundlage eines im Tagebuch berichteten und durch das Forschungsteam für das *Stated* Adaptation Interview ausgewählten Tages wurden die Veränderungen durch die Interviewer implementiert. Im Gegensatz zu früheren Studien liegt das Augenmerk hier nicht auf der Bewertung einer spezifischen Massnahme, sondern die Szenarien, welche für die Interview erstellt werden, werden bewusst sehr allgemein (und abstrakt) formuliert:

*„Stellen Sie sich vor, für Ihren Weg zu[Aktivität] würden Sie nun anstelle von [x] Minuten deren [y] benötigen. Dies kann aufgrund der Schliessung oder des Umzugs der Lokalität der Fall sein, wodurch Sie einen anderen Ort auswählen müssen.“*

Die Reisezeiten für den ausgewählten Weg (und gegebenenfalls den Rückweg nach hause) wurden progressiv um 50, 100 und 200 Prozent erhöht und anschliessend um 50 Prozent reduziert; pro Haushalt wurden also jeweils vier Szenarien durchgespielt. Standardmässig wurden die verlorenen (gewonnenen) Reisezeiten vom letzten Aufenthalt zu Hause subtrahiert (addiert); siehe hierzu auch Abschnitt 4.6.5. Aufgrund der im Durchschnitt eher kurzen Wege ist der Spielraum für die Erstellung der Szenarien auf der Ver-

lustseite grösser als auf der Gewinnseite, daher wurden hier mehr Szenarien angeboten. Beispielsweise wird bei einem 20-minütigen Weg die Reaktion auf Reduktionen hin zu 10 oder 5 Minuten kaum substantiell unterschiedlich ausfallen, für 30 oder 60 Minuten hingegen erwartungsgemäss ist ein stärkerer Unterschied zu erwarten. Die nichtlineare und asymmetrische Bewertung der Verluste und Gewinne bei der Verhaltensänderung wird bei der Modellierung berücksichtigt.

Das Ziel ist es, die Reaktion der Befragten auf ein solches Szenario aufzuzeichnen; hierbei kommen folgende Möglichkeiten in Frage, welche alle in der verwendeten Software eingegeben werden können:

- Anpassung der Abfahrtszeiten für bestimmte Wege;
- Wahl eines anderen Verkehrsmittels für bestimmte Wege;
- Veränderung der Reihenfolge der Aktivitäten und Wege (Veränderung der Struktur der Wegeketten);
- Veränderung der Dauer bestimmter Aktivitäten;
- Weglassen bestimmter Aktivitäten, bzw. Durchführung zusätzlicher Aktivitäten;
- Durchführung bestimmter Aktivitäten durch andere Haushaltsmitglieder;
- Kombinationen der oben genannten Optionen.

Für jeden Haushalt wurde der berichtete Tag, für welchen das Interview durchgeführt wurde, durch das Forschungsteam festgelegt. Idealerweise sollte es sich hierbei um einen Tag mit einer genügend grossen Anzahl an durchgeführten Aktivitäten handeln, damit Veränderungen der Rahmenbedingungen sichtbar werden und für die Haushalte substantiell genug sind, um etwas am Verhalten zu ändern. Es wurde daher jeweils der Tag ausgewählt, an welchem die Haushaltsmitglieder die meisten Aktivitäten durchgeführt hatten. Die Zuteilung der Szenarien folgt einer festgelegten Heuristik, welche die folgenden Regeln befolgt:

- Wenn mindestens ein Haushaltsmitglied berufstätig ist, wird nach Arbeitswegen gesucht und falls vorhanden, diese verändert;
- falls nicht, und wenn Kinder im Haushalt leben, wird entsprechend mit Begleitwegen verfahren;
- falls deren keine vorhanden sind, werden als nächstes Einkaufswege ausgewählt;
- und ansonsten wird der längste zurückgelegte Freizeitweg verändert.

Diese Prozedur stellt eine Priorisierung von Pflichtwegen sicher, welche alltäglich ausgeführt werden und für welche eine Veränderung der generalisierten Kosten einen stärkeren Eingriff in die Rahmenbedingungen der Tagesablaufplanung darstellt als für Freizeitwege. Die so erzeugten Szenarien stellen die Grundlage für die Interviews dar, in welchen die Haushaltsmitglieder progressiv ihr Verhalten so lange anpassen können, bis ein für sie zufriedenstellender Zustand erreicht ist. Die Auswirkungen der Szenarien auf die Planung sind im verwendeten Computerprogramm direkt für die Befragten sichtbar. Der Tag, welcher aus dem Online-Fragebogen in *Abb. 36* hervorgeht, ist in *Abb. 37* in der Interview-Software dargestellt.

Hier würde die Reisezeit für den Weg zur Arbeit (gelber Balken) von den bestehenden 20 Minuten progressiv auf 30, 45 und 60 Minuten angehoben und dann auf 10 Minuten reduziert werden).

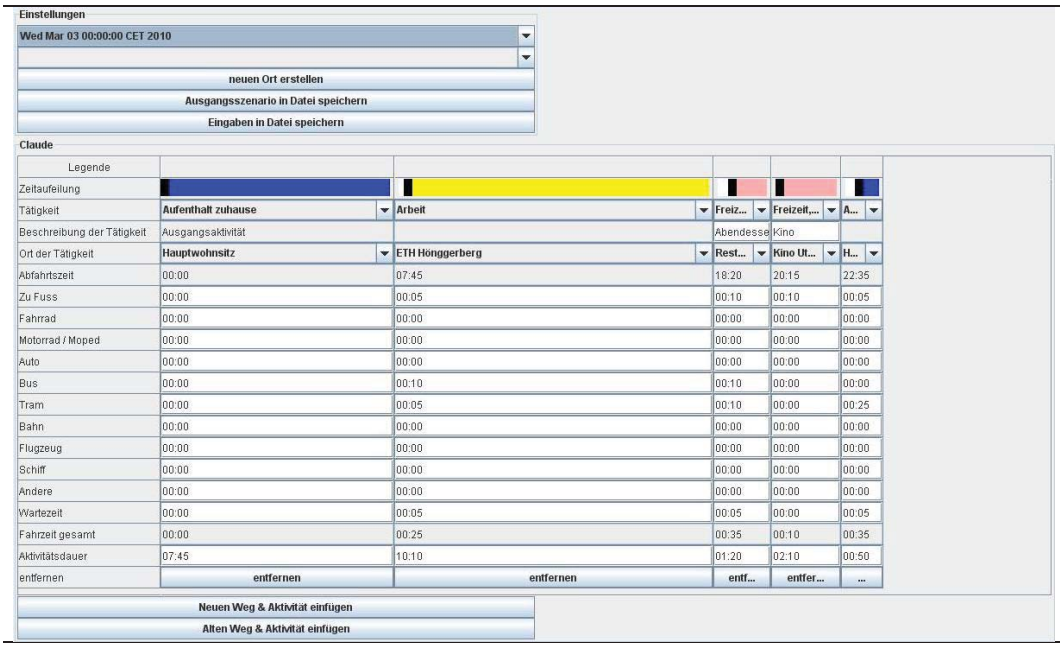



*Abb. 37 Darstellung eines Tages in der Interview-Software*

## 4.3 Feldarbeit

### 4.3.1 Rekrutierungserfolg und Rücklauf

Insgesamt wurden ca. 2'400 Haushaltsadressen erworben, welche als Grundgesamtheit repräsentativ für die Bevölkerung des Untersuchungsgebiets, nämlich des Kantons Zürich, sein sollten. An jeden dieser Haushalte wurde zunächst ein Ankündigungsbrief verschickt, in welchem die Studie kurz beschrieben und der Haushalt um die Teilnahme am Forschungsprojekt gebeten wurde. Einige Tage nach dem Versand dieser Ankündigungsbriefe wurden die Haushalte dann von den Befragern angerufen, um die Teilnahmebereitschaft sicherzustellen und zusätzliche Informationen zum Ablauf der Befragung abzugeben. Gleichzeitig wurden die potentiellen Befragungsteilnehmer über eine Anreizzahlung von 20.- CHF im Falle einer Teilnahme informiert. Den so rekrutierten Teilnehmern wurde nach Wahl ein Papier- oder Onlinefragebogen zugeteilt und der Versand (per Post oder elektronisch)der entsprechenden Unterlagen für die zugeteilten Tage (Beginn ca. eine Woche nach dem Rekrutierungsanruf) durchgeführt.

Der Zeitraum der gesamten Befragung dauerte von November 2009 bis Oktober 2010, also knapp ein Jahr. In diesem Zeitraum wurden Telefonanrufe zu insgesamt 2'389 Nummern durchgeführt, von welchen 1'344 beantwortet wurden. Mitglieder von insgesamt 340 Haushalten erklärten ihre Teilnahmebereitschaft an der Studie, was einer Rekrutierungsrate von 25.3% entspricht. Von den rekrutierten Haushalten wünschten 200 einen Papierfragebogen, 140 bevorzugten das Ausfüllen des Online-Fragebogens. 101 Papierfragebögen wurden zurückgeschickt und als gültig betrachtet (kein Fragebogenteil ausgelassen und verwertbare Daten für die Haushaltsinterviews), und 57 der Einladungen zur Teilnahme an der Online-Befragung führten zu verwendbaren Daten. Die Rücklaufquoten für die Papier- und Online-Befragung liegen also bei 50.5% bzw. 40.7%.

Insgesamt wurden mit 205 Personen aus 141 Haushalten *Stated Adaptation* Interviews durchgeführt. Knapp 10% der 226 Teilnehmenden am Verkehrstagebuch waren entweder trotz mehrmaligen Anrufen nicht mehr für die Vereinbarung eines Termins erreichbar oder verweigerten die weitere Teilnahme trotz der dann entgangenen Anreizzahlung.

Die wichtigsten Zahlen sind in *Abb. 38* zusammengefasst.

*Abb. 38 Rücklauf der Befragung*

| | Total | Online | Papier |
|---|---|---|---|
| Angerufene Nummern | 2'389 | | |
| Erreicht | 1'344 | | |
| Rekrutiert | 340 | 140 | 200 |
| Rekrutierungsrate [%] | 25.3 | | |
| Tagebuch ausgefüllt (Haushalte) | 158 | 57 | 101 |
| Tagebuch ausgefüllt (Personen) | 226 | 96 | 130 |
| Personen pro Haushalt | 1.43 | 1.68 | 1.29 |
| Rücklauf [%] | 46.5 | 40.7 | 50.5 |
| Durchgeführte Interviews (Haushalte) | 141 | | |
| Durchgeführte Interviews (Personen) | 205 | | |

Wie *Abb. 39* zeigt, liegt der Rücklauf im Bereich der Erwartungen. Die verwendete Methodik aus Axhausen und Weis (2010) teilt jeder Frage abhängig von ihrem Typ (also Multiple Choice, Freitext, etc.) Punkte zu, welche für einen Fragebogen aufaddiert die Gesamtbewertung der Antwortbürde ergeben. Die Rücklaufquote fällt mit zunehmender Punktezahl ungefähr linear ab, wie der Vergleich der Studien des IVT zeigt. Somit passt die hier beschriebene Befragung in den Kontext der Befragungen mit vorangehender Rekrutierung und Anreizzahlung. Im Einklang vorherigen Erfahrungen am IVT (siehe Weis *et al.*, 2008) liegt der Rücklauf für den Papierfragebogen etwas höher als jener für die Online-Befragung.

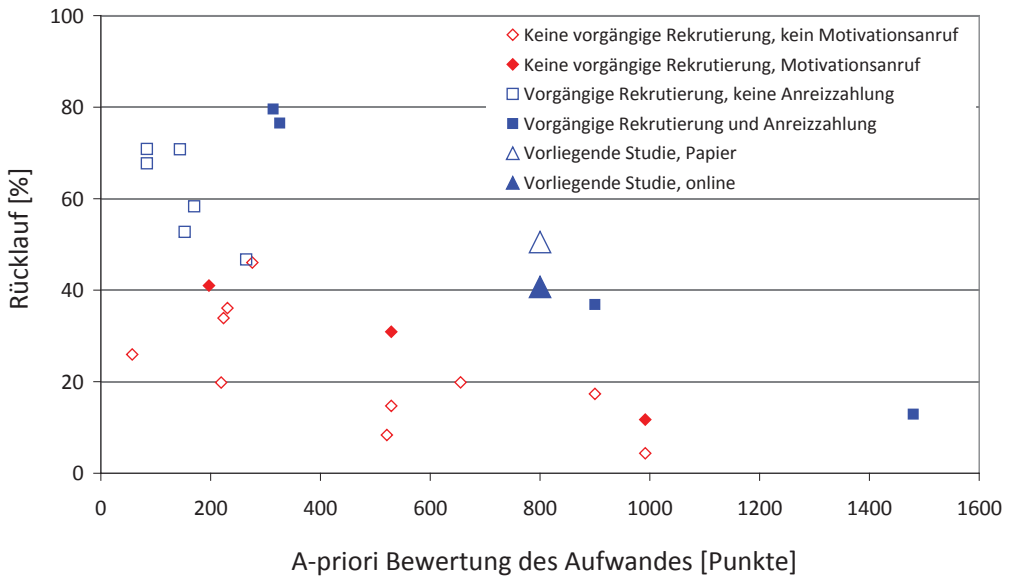



*Abb. 39 Rücklauf im Vergleich mit früheren Studien*

## 4.3.2 Deskriptive Analyse der Teilnehmerstichprobe

*Abb. 40* zeigt für einige Schlüsselvariablen den Vergleich der Stichprobenverteilung mit jener in der Gesamtbevölkerung des Untersuchungsgebiets, welche aus den Daten des Mikrozensus 2005 (MZ'05; BFS und ARE, 2007) berechnet wurden. Die Verteilungen der

Haushaltsgrösse und des -einkommens sind in Prozent der Haushalte angegeben, jene aller anderen Variablen in Prozent der teilnehmenden Personen.

*Abb. 40 Deskriptive Statistik der Stichprobe*

| Variable | Wert | Stichprobe | | | MZ'05 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Alle | Online | Papier | |
| Anzahl Personen im Haushalt | 1 | 25.0 | 10.5 | 33.3 | 32.9 |
| | 2 | 38.5 | 35.1 | 40.4 | 37.1 |
| | 3 | 12.2 | 19.3 | 8.1 | 12.1 |
| | > 3 | 24.4 | 35.1 | 18.2 | 18 |
| Haushalts-einkommen [CHF/Monat] | < 2'000 | 0.7 | 0.0 | 1.1 | 3.2 |
| | 2'000 – 4'000 | 12.0 | 2.0 | 17.4 | 17.4 |
| | 4'000 – 6'000 | 15.5 | 6.0 | 20.7 | 26.5 |
| | 6'000 – 8'000 | 26.1 | 28.0 | 25.0 | 20.3 |
| | 8'000 – 10'000 | 20.4 | 30.0 | 15.2 | 13.3 |
| | > 10'000 | 25.4 | 34.0 | 20.7 | 19.4 |
| Geschlecht | Männlich | 51.3 | 52.1 | 50.8 | 48.3 |
| | Weiblich | 48.7 | 47.9 | 49.2 | 51.7 |
| Alter [Jahre] | 18 – 35 | 19.5 | 22.1 | 17.5 | 28.6 |
| | 36 – 50 | 38.9 | 58.9 | 23.8 | 29.6 |
| | 51 – 65 | 20.8 | 13.7 | 26.2 | 23.1 |
| | > 65 | 20.8 | 5.3 | 32.5 | 18.7 |
| Ausbildung | Primar- oder Sekundarschule | 5.8 | 5.2 | 6.2 | 11.2 |
| | Lehrabschluss | 52.7 | 36.5 | 64.6 | 60.1 |
| | Maturität / Abitur | 6.6 | 4.2 | 8.5 | 7.2 |
| | Universität / Fachhochschule | 35.0 | 54.2 | 20.8 | 19.2 |
| ÖV-Abonnement | Keines | 29.2 | 29.2 | 29.2 | 50.9 |
| | Halbtax | 58.4 | 59.4 | 57.7 | 39.7 |
| | Generalabonnement | 12.4 | 11.5 | 13.1 | 9.4 |
| PW-Verfügbarkeit | Immer | 66.8 | 66.7 | 66.9 | 72.7 |
| | Gelegentlich | 19.0 | 17.7 | 20.0 | 20.8 |
| | Nie | 14.2 | 15.6 | 13.1 | 6.5 |
| Gemeindetyp des Wohnortes | Gross- und Mittelzentren | 34.5 | 34.4 | 34.6 | 35.6 |
| | Kleinzentren | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 |
| | Suburbane Gemeinden | 35.4 | 29.2 | 40.0 | 39.5 |
| | Periurbane Gemeinden | 26.1 | 33.3 | 20.8 | 20.5 |
| | Industrielle und tertiäre Gem. | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 2.1 |

Es ist ersichtlich, dass die Stichprobe eine leichte Verzerrung in der Altersverteilung aufweist – nur sehr wenige Befragte sind unter 35 Jahre alt. Werden nur die Teilnehmer mit Papierfragebögen betrachtet, ist das Alterssegment über 65 Jahre zudem übervertreten. Diese Verzerrung mag einerseits aus der geringeren Bereitschaft junger Personen, an Studien wie der hier beschriebenen teilzunehmen, liegen. Zum anderen wird jedoch vermutet, dass bereits die Grundstichprobe des Adresshändlers nicht wirklich repräsentativ war, bzw. die erhaltenen Adressen zu alt waren. Dies fiel insbesondere nach der Analyse einer ersten Teilstichprobe auf, in welcher die älteren Bevölkerungsschichten noch stärker repräsentiert waren. Es wurde daraufhin versucht, die Verzerrung zu korrigieren, indem eine weitere Stichprobe erworben wurde, welche nur jüngere Personen enthalten sollte.

Die auf der Grundlage der erhobenen Daten geschätzten Modelle werden das Alter als Einflussvariable enthalten und somit diese Verzerrung kontrollieren.

Neben der verzerrten Altersverteilung zeigt die Stichprobe eine leichte Tendenz zu eher wohlhabenden (*Abb. 41*) und gut ausgebildeten (*Abb. 42*) Teilnehmern auf. Ein überproportional grosser Anteil der Befragten besitzt ein ÖV-Abonnement (Halbtax bzw. Generalabonnement, *Abb. 43*); dies ist jedoch ein für Verkehrsbefragungen in der Schweiz bekanntes Phänomen (siehe z.B. Weis *et al.*, 2010). Personen, welche intensiv den ÖV nutzen, scheinen ein tendenziell erhöhtes Interesse an verkehrsbezogenen Studien zu zeigen.

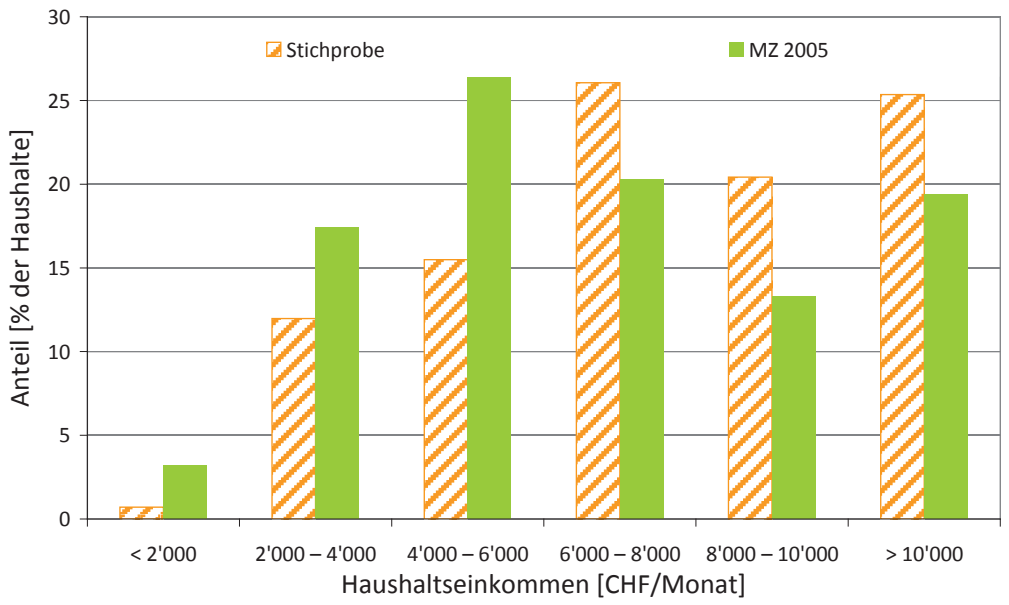



*Abb. 41 Haushaltseinkommen*

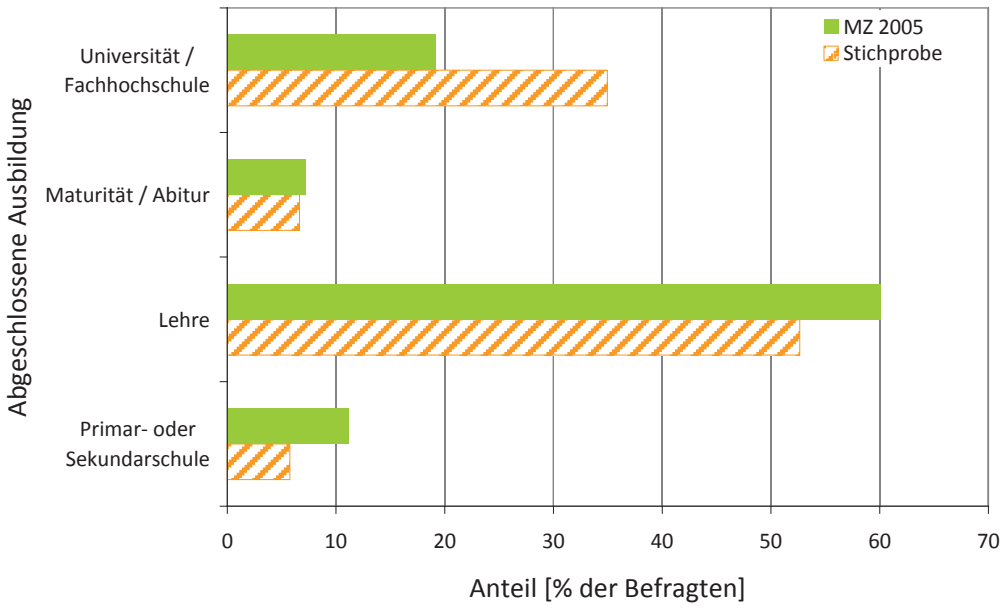



*Abb. 42 Ausbildung*

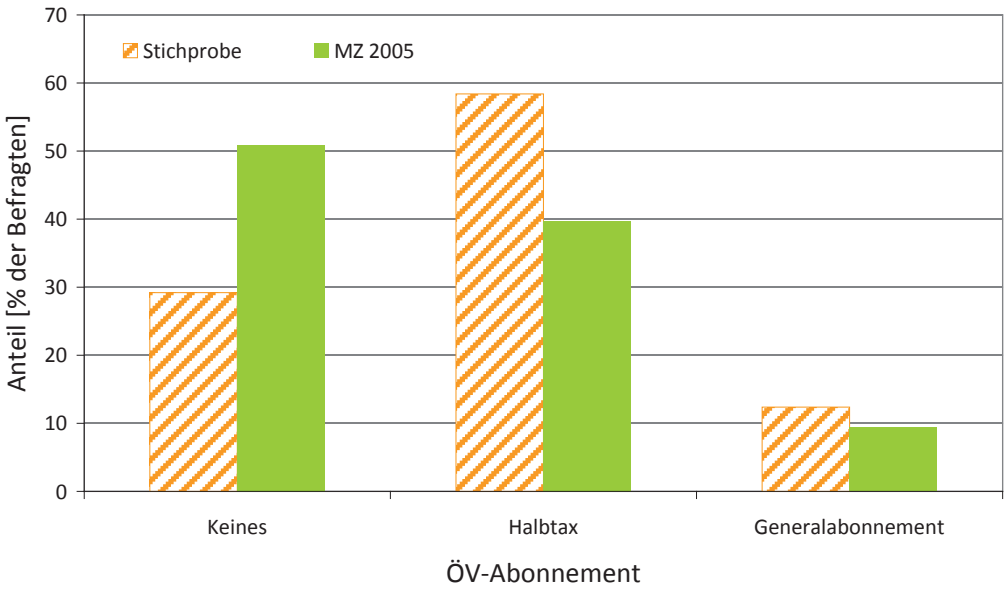



*Abb. 43 ÖV-Abonnementsbesitz*

Die Verteilung der Gemeindetypen der Wohnorte der Befragten spiegeln die tatsächliche Bevölkerungsverteilung im Kanton sehr gut wieder – ca. ein Drittel der Einwohner lebt in Gross- und Mittelzentren, die restlichen zwei Drittel zum Grossteil in sub- und periurbanen Gemeinden (*Abb. 44*).

*Abb. 50* zeigt die räumliche Verteilung der Befragungsteilnehmer im Kanton Zürich; auch hier bestätigt sich, dass ein Grossteil der Befragten in den Zentren Zürich und Winterthur sowie deren Agglomerationen wohnt.

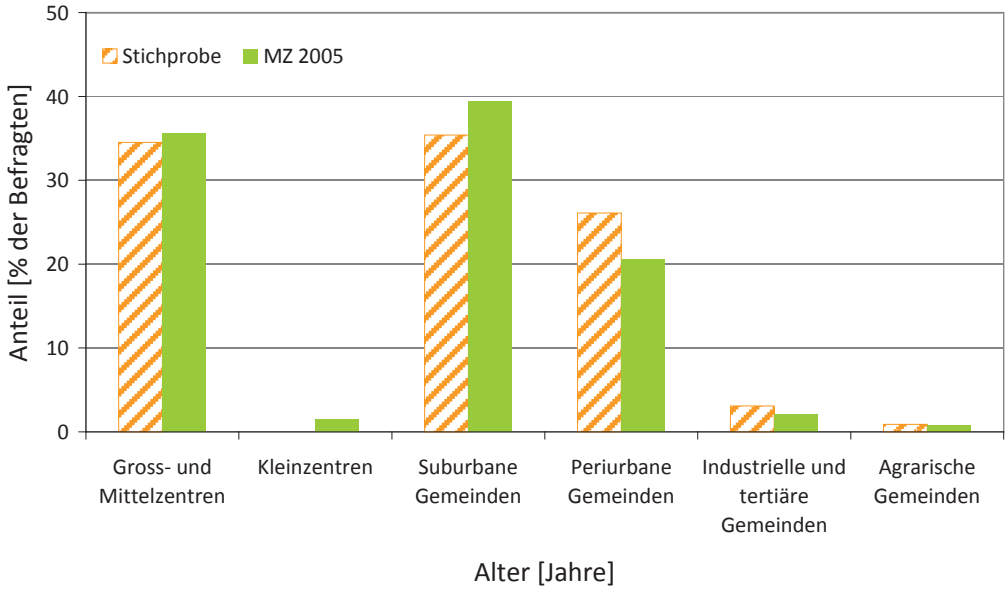



*Abb. 44 Gemeindetyp des Wohnortes*

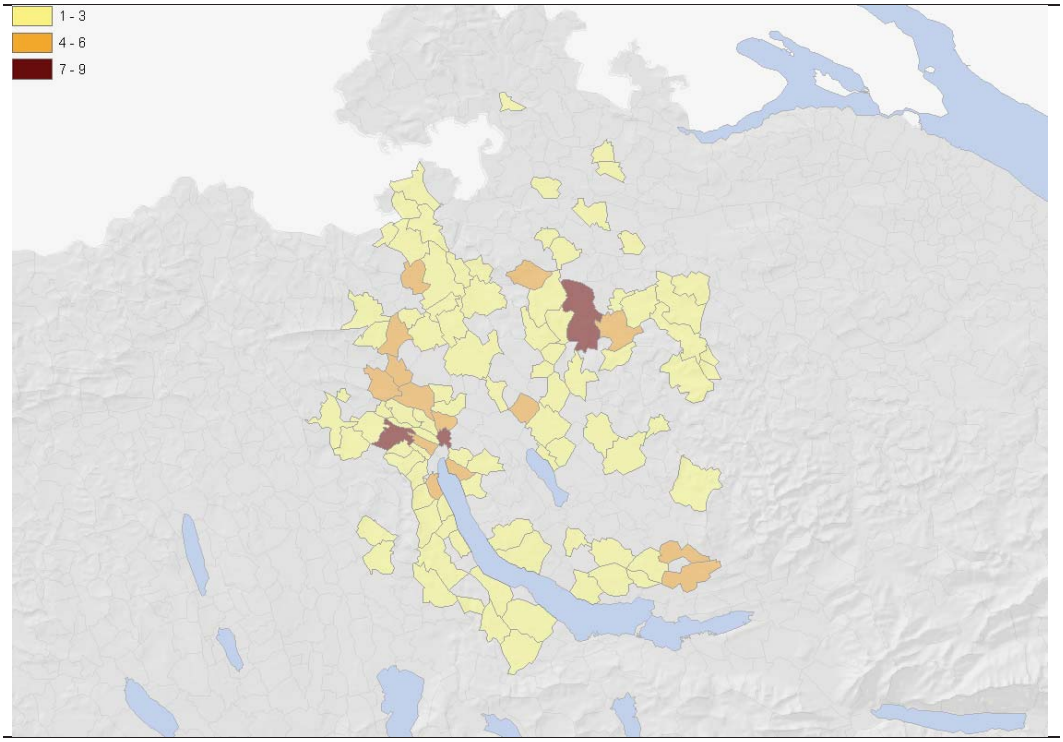



*Abb. 45 Räumliche Verteilung der Befragungsteilnehmer*

## 4.4 Berichtetes Verkehrsverhalten

### 4.4.1 Generelle Mobilitätsindikatoren

*Abb. 46* zeigt den Vergleich zwischen den Mobilitätsindikatoren der beiden erhobenen Stichproben und jenen aus dem Mikrozensus 2005 (für den Kanton Zürich). Es ist ersichtlich, dass die berichtete Mobilität insgesamt sehr gut mit jener aus der repräsentativen Stichprobe übereinstimmt. Die berichtete Anzahl Wege liegt etwas tiefer als im Bevölke-

rungsmittel: dies könnte daran liegen, dass der Mikrozensus 2005 als CATI-Interview (*Computer Assisted Telephone Interview*) durchgeführt wurde und insbesondere nur einen Tag beinhaltet, die Ermüdungs- und Aufmerksamkeitsverlusteffekte also dort weniger stark präsent sind. Ein ähnlicher Effekt könnte der signifikanten Verschlechterung der Antwortbereitschaft an Wochenenden in der Online-Befragung zugrunde liegen. Eventuell vergassen die Teilnehmenden häufig, das Tagebuch am Wochenende auszufüllen, oder sie waren nicht am Computer und unterliessen auch die nachträgliche Eingabe der entsprechenden Informationen.

*Abb. 46 Mobilitätskennzahlen*

| Variable | Stichprobe | | |
|---|---|---|---|
| | Online | Papier | MZ'05 |
| *Werktage (Montag – Freitag)* | N = 293 | N = 394 | |
| Anteil mobiler Personen [%] | 91.8 % | 91.6 % | 91.0 % |
| Anzahl Wege (alle Personen) | 3.57 | 3.14 | 3.67 |
| Anzahl Wege (nur mobile Personen) | 3.89 | 3.42 | 4.03 |
| *Samstag* | N = 65 | N = 42 | |
| Anteil mobiler Personen [%] | 70.8 % | 92.9 % | 89.4 % |
| Anzahl Wege (alle Personen) | 3.09 | 3.21 | 3.26 |
| Anzahl Wege (nur mobile Personen) | 4.37 | 3.46 | 3.64 |
| *Sonntag* | N = 48 | N = 31 | |
| Anteil mobiler Personen [%] | 66.7 % | 80.6 % | 79.3 % |
| Anzahl Wege (alle Personen) | 2.17 | 2.26 | 2.11 |
| Anzahl Wege (nur mobile Personen) | 3.25 | 2.80 | 2.66 |

### 4.4.2 Verkehrsmittelwahlanteile

Die Verteilung der in der Befragung berichteten Wege auf die verschiedenen Verkehrsmittel ist in *Abb. 47* abgebildet, wiederum im Vergleich mit den Zahlen aus dem Mikrozensus 2005. Hier zeigt sich, dass deutlich weniger Wege zu Fuss berichtet werden und der öffentliche Verkehr einen höheren Anteil ausmacht als im Bevölkerungsmittel. Hierfür kommen zwei Gründe in Betracht: zum einen sind sehr kurze Wege (für welche das zu Fuss Gehen die bevorzugte Fortbewegungsart ist) im Mikrozensus tendenziell überrepräsentiert. Andererseits wählen die in der vorliegenden Stichprobe vermehrt anzutreffenden älteren Personen schon für kurze Wege vielleicht eher den öffentlichen Verkehr. Ebenfalls begünstigt die starke Vertretung von Abonnementsbesitzern die vermehrte Nutzung des öffentlichen Verkehrs.

*Abb. 47 Verkehrsmittelwahlanteile [%]*

| Hauptverkehrsmittel für den Weg | Stichprobe | | |
|---|---|---|---|
| | Online | Papier | MZ'05 |
| Zu Fuss | 18.6 | 21.2 | 28.4 |
| Fahrrad | 9.5 | 5.7 | 7.0 |
| Motorisierter Individualverkehr | 52.5 | 46.0 | 51.5 |
| Öffentlicher Verkehr | 16.4 | 25.1 | 11.9 |
| Andere | 3.0 | 2.0 | 1.2 |

### 4.4.3 Fahrtzweckanteile

Die Wegzweckverteilung für die berichteten Wege und der vergleich mit den Zahlen aus dem Mikrozensus 2005 ist in *Abb. 48* ausgewiesen. Hier wird die reelle Verteilung recht gut abgebildet: etwas die Hälfte aller Wege sind Freizeitwege; Ausbildungswege sind leicht unterrepräsentiert, was wiederum am geringen Anteil junger Personen in der Stichprobe liegt.

*Abb. 48 Wegzweckanteile [%]*

| Zweck des Weges | Stichprobe | | |
|---|---|---|---|
| | Online | Papier | MZ'05 |
| Ausbildung | 0.9 | 0.5 | 1.1 |
| Arbeit | 19.2 | 12.1 | 16.0 |
| Einkauf / Erledigung | 13.2 | 15.0 | 16.0 |
| Geschäftlich / dienstlich | 2.7 | 0.7 | 2.1 |
| Freizeit | 26.7 | 28.0 | 25.7 |
| Rückkehr nach Hause | 37.3 | 43.7 | 39.1 |

## 4.5 Veränderung der Rahmenbedingungen

Wie in Abschnitt 4.2.2 erwähnt bestehen die den Interviewteilnehmern vorgelegten Szenarien aus veränderten Reisezeiten zu Lokalitäten, an welchen Aktivitäten ausgeübt werden. Die Verteilung der unterstellten Veränderungen der Gesamtreisezeit über die gesamte Stichprobe an durchgespielten Szenarien ist aus *Abb. 49* ersichtlich. Die Hälfte der Szenarien liegt im Bereich von bis zu 30 Minuten Zeitgewinn oder -verlust und sollte somit realistisch für die Befragten sein. Die extremeren Szenarien decken einen sehr breiten Wertebereich zwischen Gewinnen von bis zu 90 Minuten und Verlusten von bis zu drei Stunden ab, womit sehr substantielle Eingriffe in die Rahmenbedingungen getätigt werden und somit auch entsprechende Reaktionen im Verhalten erwartet werden können.

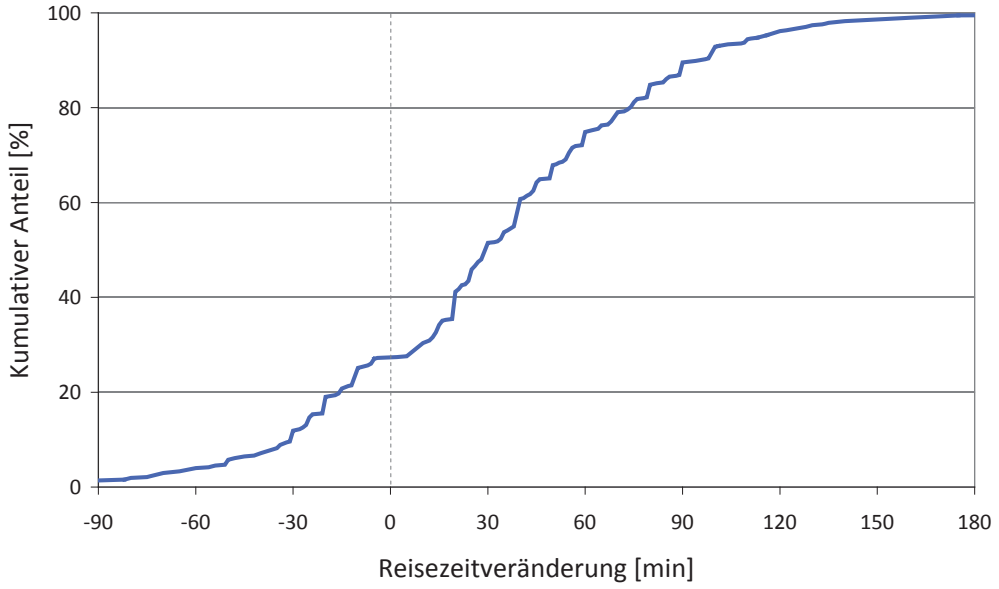



*Abb. 49 Verteilung der Reisezeitveränderungen über alle Szenarien*

## 4.6 Anpassungen der Verhaltensmuster

Bei der Analyse der veränderten Verhaltensmuster stehen wiederum die verkehrserzeugenden Variablen im Mittelpunkt:

- Anzahl durchgeführter Aktivitäten;
- Anzahl zurückgelegter Wege und Reisen;
- Abfahrtszeiten;
- Dauer der durchgeführten Aktivitäten;
- Dauer der zurückgelegten Wege und Reisen;
- zu Hause verbrachte Zeit.

Die Veränderungen dieser Elemente ergeben im Zusammenspiel die angepassten Aktivitätenmuster, deren Vorhersage bei der in Kapitel 4.7 und 4.8 beschriebenen Modellierung das Ziel ist. Hier werden erste deskriptive Auswertungen gezeigt, welche einen Eindruck über die am häufigsten durch die Befragten gewählten Muster verschaffen sollen, und die Erwartungen an die später formulierten Modelle definieren.

### 4.6.1 Veränderungen der Anzahl Aktivitäten und Reisen

*Abb. 50* zeigt die Veränderung der Anzahl Aktivitäten, *Abb. 51* jene der Anzahl Reisen. Dargestellt ist jeweils die allgemeine Häufigkeitsverteilung der interessierenden Variablen (als Histogramm) sowie die Abhängigkeit von der unterstellten Reisezeitveränderungen in den den Befragten vorgelegten Szenarien.

Aus den Histogrammen ist ersichtlich, dass die Befragten hinsichtlich der Anpassung ihrer Aktivitätenmuster sehr träge zu sein scheinen. Ca. 90 Prozent der Personen würden unabhängig von der Reisezeitveränderung die Anzahl durchgeführter Aktivitäten bzw. zurückgelegter Reisen nie verändern, also ihre bestehenden Wegeketten beibehalten.

Die Auswertungen in Abhängigkeit der unterstellten Reisezeitveränderungen zeigen, dass jedoch diejenigen Befragungsteilnehmenden, welche sich zu einer Anpassung ihrer Aktivitätenmuster entscheiden, dies dem erwarteten Verhalten entsprechend tun: bei Reisezeitverlusten werden tendenziell weniger Aktivitäten durchgeführt, um die verlorene Zeit zu kompensieren, Reisezeitgewinne werden (wenngleich sehr minimal) für die Durchführung zusätzlicher Aktivitäten verwendet.

Im Gesamtbild wird jedoch offensichtlich, dass die primären Reaktionen der befragten Personen nicht auf eine Anpassung der Anzahl Aktivitäten und Reisen abzielen, sondern diese in sekundären Veränderungen, wie der Anpassung der Abfahrtszeiten, der Aktivitätendauern und der Reisezeiten zu suchen sind. Diese Verhaltensänderungen werden im nachfolgenden Abschnitt näher untersucht.

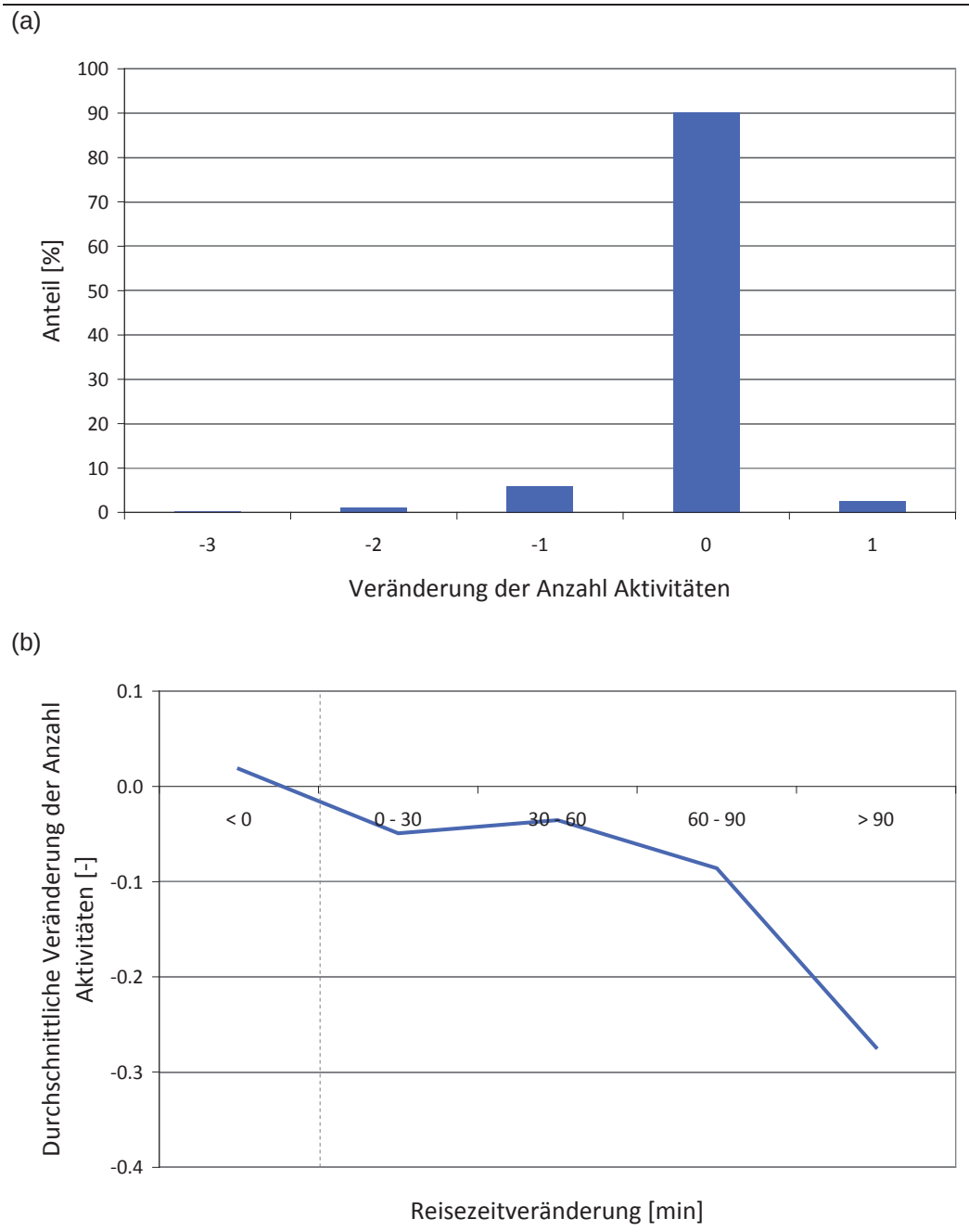
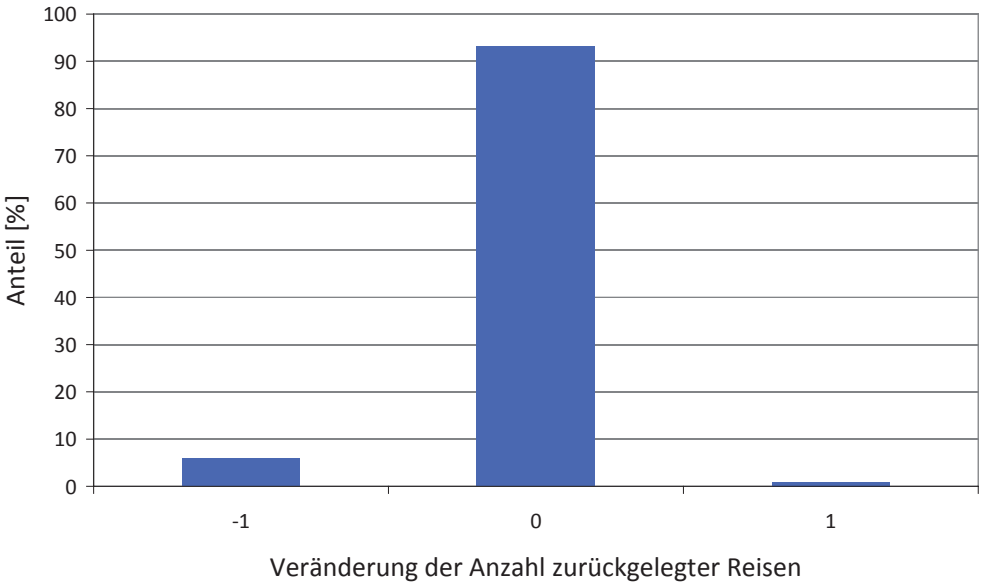



*Abb. 50 Veränderung der Anzahl Aktivitäten, (a) global, (b) in Abhängigkeit der Reisezeitveränderung*

(a)




(b)

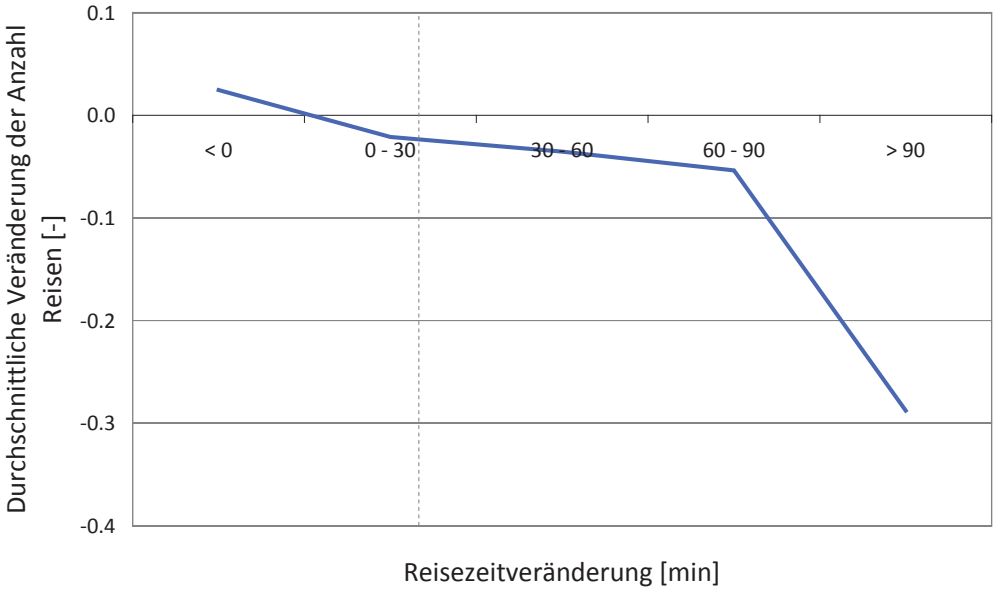



*Abb. 51 Veränderung der Anzahl Reisen, (a) global, (b) in Abhängigkeit der Reisezeitveränderung*

### 4.6.2 Veränderungen der Abfahrtszeit

Eine plausible und von den Befragten sehr häufig (zu ca. zwei Dritteln) gewählte Reaktion auf die unterstellten Reisezeitverluste bzw. -gewinne ist die Anpassung der Abfahrtszeit des ersten Weges des Tages. Als Beispiel sei ein Arbeitspendler genannt, welcher zu einer bestimmten Zeit am Arbeitsort erscheinen muss; wird bei diesem die Reisezeit für den Arbeitsweg verlängert bzw. verkürzt, erscheint es logisch, dass als eine der ersten Möglichkeiten die Anpassung der Abfahrtszeit in Betracht gezogen wird.

*Abb. 52* zeigt analog zu den vorherigen Analysen die Anpassung der Abfahrtszeit in Abhängigkeit der Reisezeitveränderung, wobei positive Werte eine spätere, negative eine frühere Abfahrtszeit bedeuten. Auch hier zeigt sich also, dass die Befragten rational reagieren, also die Reisezeitveränderungen zu kompensieren versuchen; zudem ist ersichtlich, dass ein recht hoher Anteil dieser Kompensation über die Anpassung der Abfahrtszeit geschieht, diese also auch bei der Modellierung des Verhaltens eine zentrale Rolle spielen dürfte.

Ein Grossteil der Anpassungen liegt im Bereich zwischen eine Stunde früherer und einer halben Stunde späterer Abfahrt von zu Hause.

### 4.6.3 Veränderungen der Aktivitätendauer

*Abb. 53* zeigt die Veränderungen der Aktivitätendauer, welche die Befragten als Reaktion auf die veränderten Reisezeiten angegeben haben. Hier zeigt sich wiederum, dass der Verzicht auf durchgeführte Aktivitäten nicht als probates Mittel angesehen wird und nur in den Extremszenarien einen wesentlichen Beitrag zur Kompensation der verlorenen Zeit leistet. 80 Prozent der Befragten ziehen diese Möglichkeit nicht in Betracht (dies erklärt den steilen Anstieg beim Wert null im Teil (a) der Abbildung). Auch auf Reisezeitgewinne wird nur spärlich mit zusätzlichen Aktivitätendauern reagiert, was wiederum auf eine gewisse Trägheit im diesbezüglichen Verhalten hinweist.

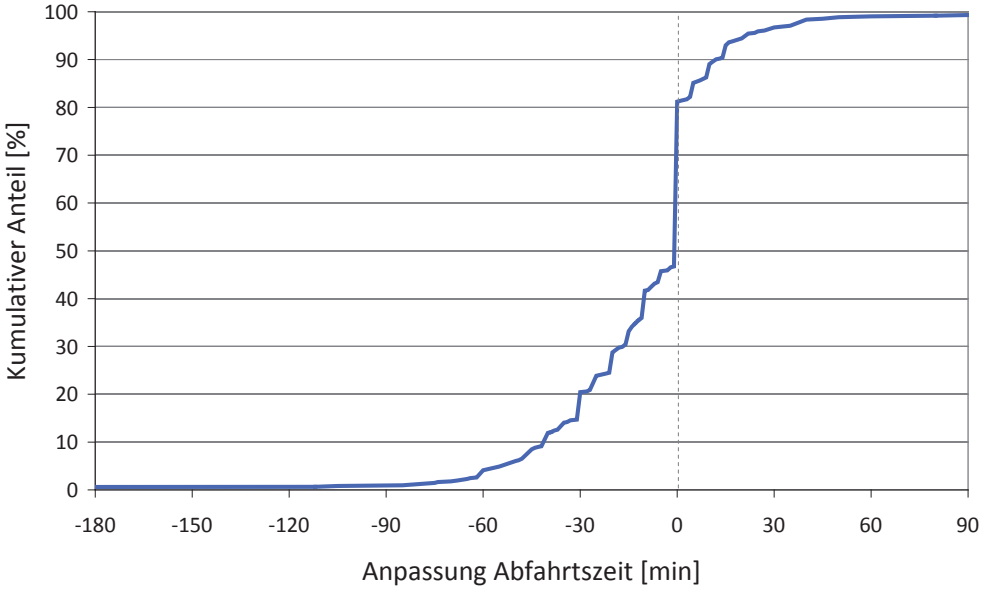
### 4.6.4 Veränderungen der Unterwegsdauer

Abb. *54* zeigt, dass ein probates Mittel für die Kompensation von Reisezeitveränderungen die abermalige Anpassung eben dieser Reisezeiten zu sein scheint. Häufige Antworten im Laufe der Befragung waren die Wahl eines anderen Verkehrsmittels für einen Weg (unter der Voraussetzung, dass die veränderte Reisezeit nur für den im Ist-Zustand gewählten Verkehrsträger gilt) oder eines alternativen Ziels für die Durchführung einer Aktivität. Die veränderte Verkehrsmittelwahl wird wie in der Einleitung beschrieben hier nur marginal betrachtet – detaillierte Aussagen darüber, unter welchen Umständen von welchem auf welches Verkehrsmittel gewechselt wird, werden also im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten nicht möglich sein. Diese Option wird von immerhin 40 Prozent der Befragten gewählt, wie Teil (a) der Abbildung zeigt.

### 4.6.5 Veränderungen der Zeit zu Hause

*Abb. 55* zeigt die Veränderung der zu Hause verbrachten Zeit in Abhängigkeit der implizierten Reisezeitveränderungen. Aus der Natur der Befragungssoftware (siehe dazu auch Abschnitt 4.2.2) ergibt sich, dass die Reisezeitdifferenzen sich zunächst auf die letzte Rückkehr nach Hause auswirken – wird die Reisezeit eines Weges verändert, so verschieben sich alle späteren Aktivitäten um die entsprechende Zeitspanne, was in Kettenreaktion dazu führt, dass die Dauer des letzten Aufenthalts am Wohnort verändert wird. Reagiert eine befragte Person also nicht auf ein gestelltes Szenario, bzw. gibt sich mit dem daraus resultierenden Tagesplan zufrieden, wird im Falle eines Verlustes die zu Hause verbrachte Dauer um genau den Betrag der verlorenen Reisezeit verringert. Dies ist zwar gelegentlich der Fall, im Durchschnitt werden aber ca. 50 Prozent der veränderten Reisezeit kompensiert, und nur die Hälfte davon wird über diesen „Standardweg“ verrechnet. Dies zeigt, dass bei allem Widerstand zur Reaktion die Befragten dennoch auf die gestellten Szenarien reagiert und sich Gedanken gemacht haben, wie die entstehenden Veränderungen sinnvoll wettgemacht werden können.

(a)




(b)

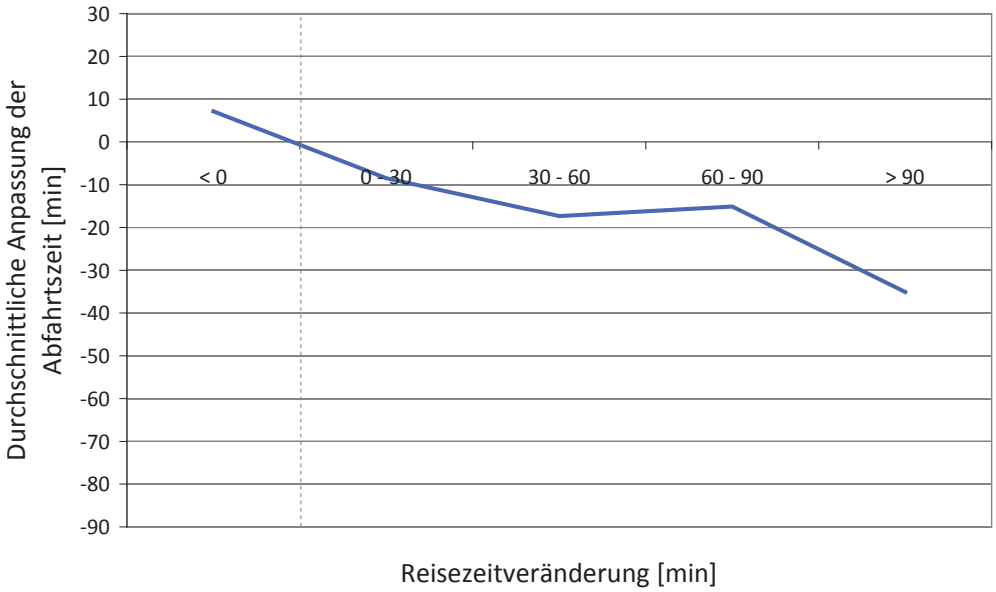
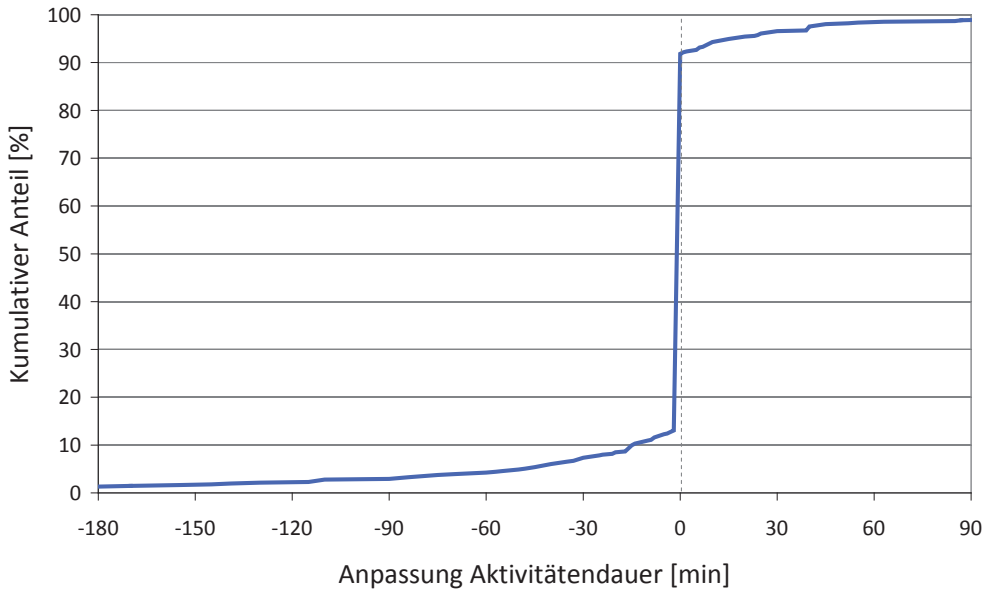



*Abb. 52 Veränderung der Abfahrtszeit, (a) global, (b) in Abhängigkeit der Reisezeitveränderung*

(a)




(b)

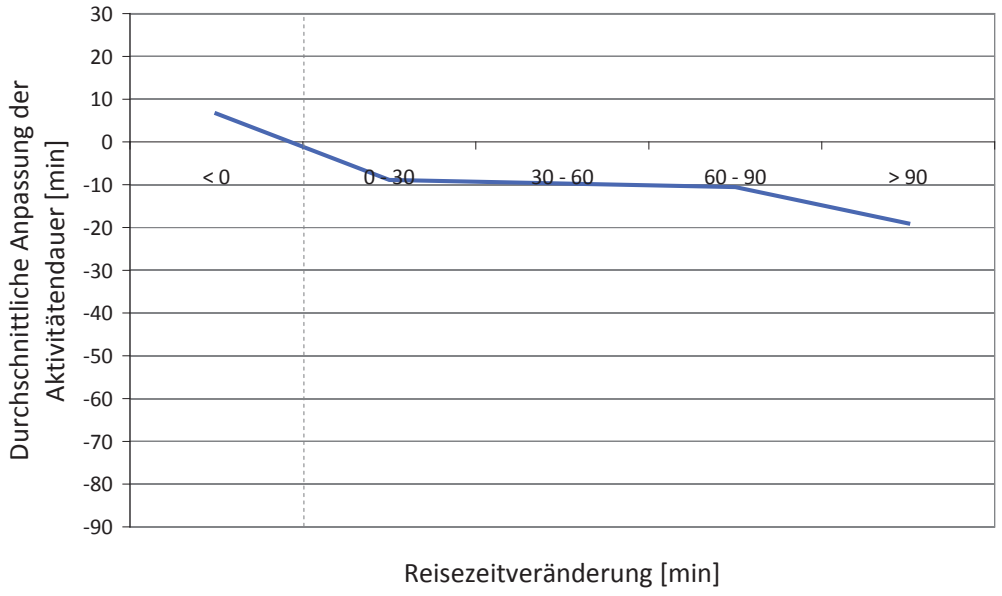
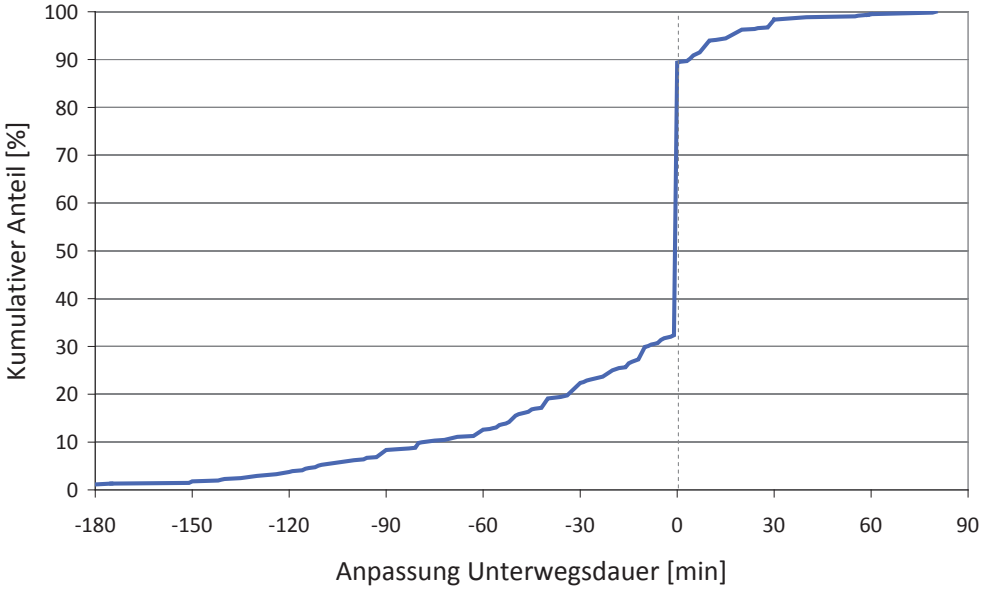



*Abb. 53 Veränderung der Aktivitätendauer, (a) global, (b) in Abhängigkeit der Reisezeitveränderung*

(a)




(b)

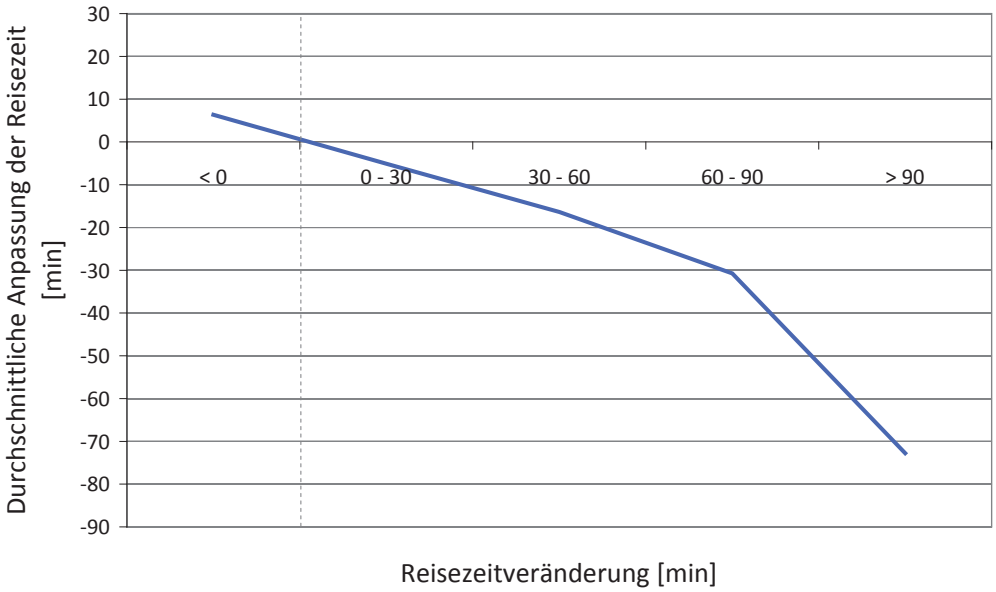
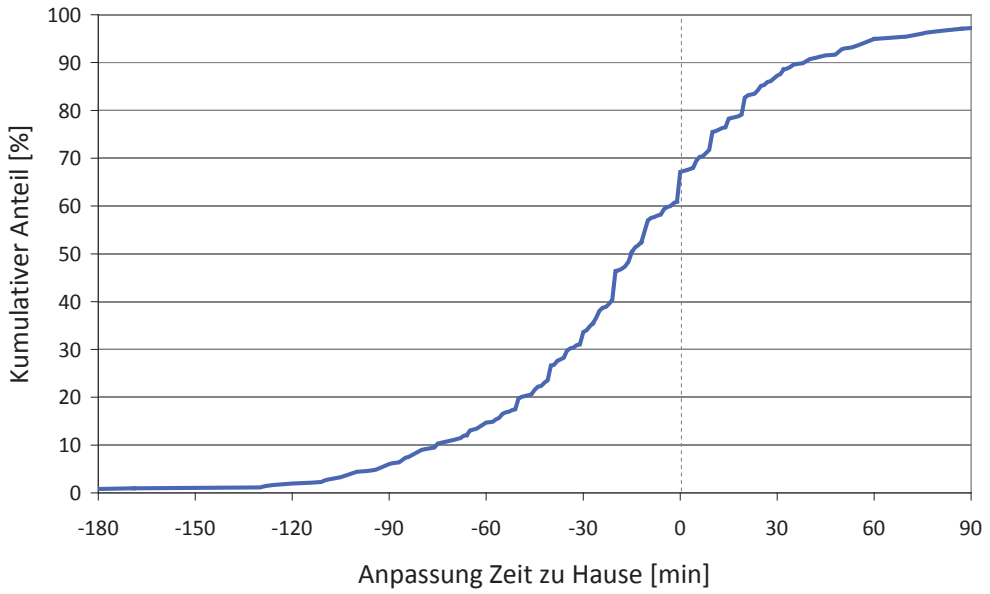



*Abb. 54 Veränderung der Unterwegsdauer, (a) global, (b) in Abhängigkeit der Reisezeitveränderung*

(a)




(b)

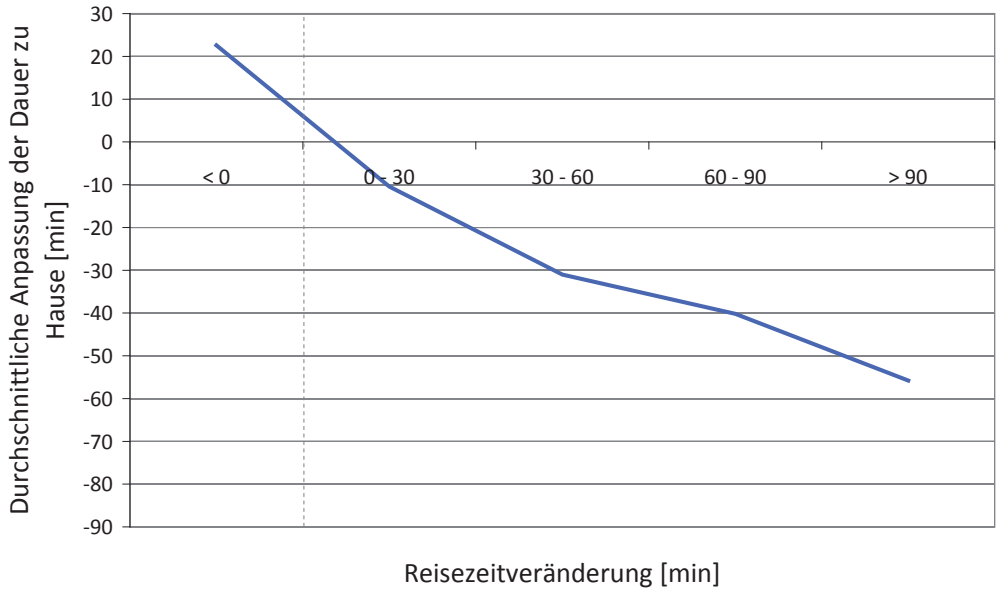



*Abb. 55 Veränderung der zu Hause verbrachten Zeit, (a) global, (b) in Abhängigkeit der Reisezeitveränderung*

## 4.7 Modellansatz

Der hier verfolgte Modellansatz geht vom Standpunkt aus, dass die Reisezeitgewinne und –verluste durch die Befragten auf mehrere Arten kompensiert werden können. Die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten sind:

- Anpassung der Abfahrtszeit;
- Anpassung der Reisezeit (sei es über veränderte Verkehrsmittel, Ziele oder Wegeketten);
- Anpassung der Aktivitätendauer.

Diese Variablen stehen daher im Fokus des hier vorgestellten Modellansatzes. Dieser beinhaltet mehrere Stufen des Auswahlprozesses, der zur Anpassung der Aktivitätenmuster der Befragten führt. Die Struktur des Modellansatzes ist in *Abb. 56* dargestellt. Die verschiedenen Stufen stellen für die jeweiligen Fragestellungen geeignete Teilmodelle dar und werden bei der späteren Anwendung zur Prognose sequentiell durchgeführt.

Zentrale Eingangsgrösse aller Teilmodelle ist die Reisezeitveränderung, bzw. davon abgeleitete Grössen.

Die einzelnen Teilmodelle sind:

(1) ein *multinomiales Logit*-Modell (MNL), welches vorhersagt, ob eine Person auf ein bestimmtes Szenario überhaupt mit einer Anpassung ihres Verhaltens reagiert oder nicht;

(2) ein lineares Regressionsmodell, welches für jene Personen, welche auf ein Szenario reagieren, voraussagt, wie viel der gewonnenen bzw. verlorenen Reisezeit durch Anpassungen im Aktivitätenmuster kompensiert wird;

(3) ein sogenanntes *Multiple Discrete-Continuous Extreme Value* (MDCEV) Modell, welches die Aufteilung der kompensierten Zeit auf die drei oben genannten Möglichkeiten modelliert.;

(4) ein *Cross Nested Logit* (CNL) Modell, welches anhand der vorhergesagten Anpassungen der Aktivitätendauern und Reisezeiten eine Aussage darüber trifft, ob zusätzlich Veränderungen an der Struktur des Tagesplans vorgenommen werden, also die Anzahl Aktivitäten und/oder Reisen verändert wird oder für einen Weg ein alternatives Verkehrsmittel verwendet wird.

Hierbei gehen die vorhergesagten Ergebnisse eines Modellteils jeweils als Eingangsgrössen in das nächste Modell ein. Die folgenden Unterabschnitte beschreiben die einzelnen Teilmodelle im Detail.

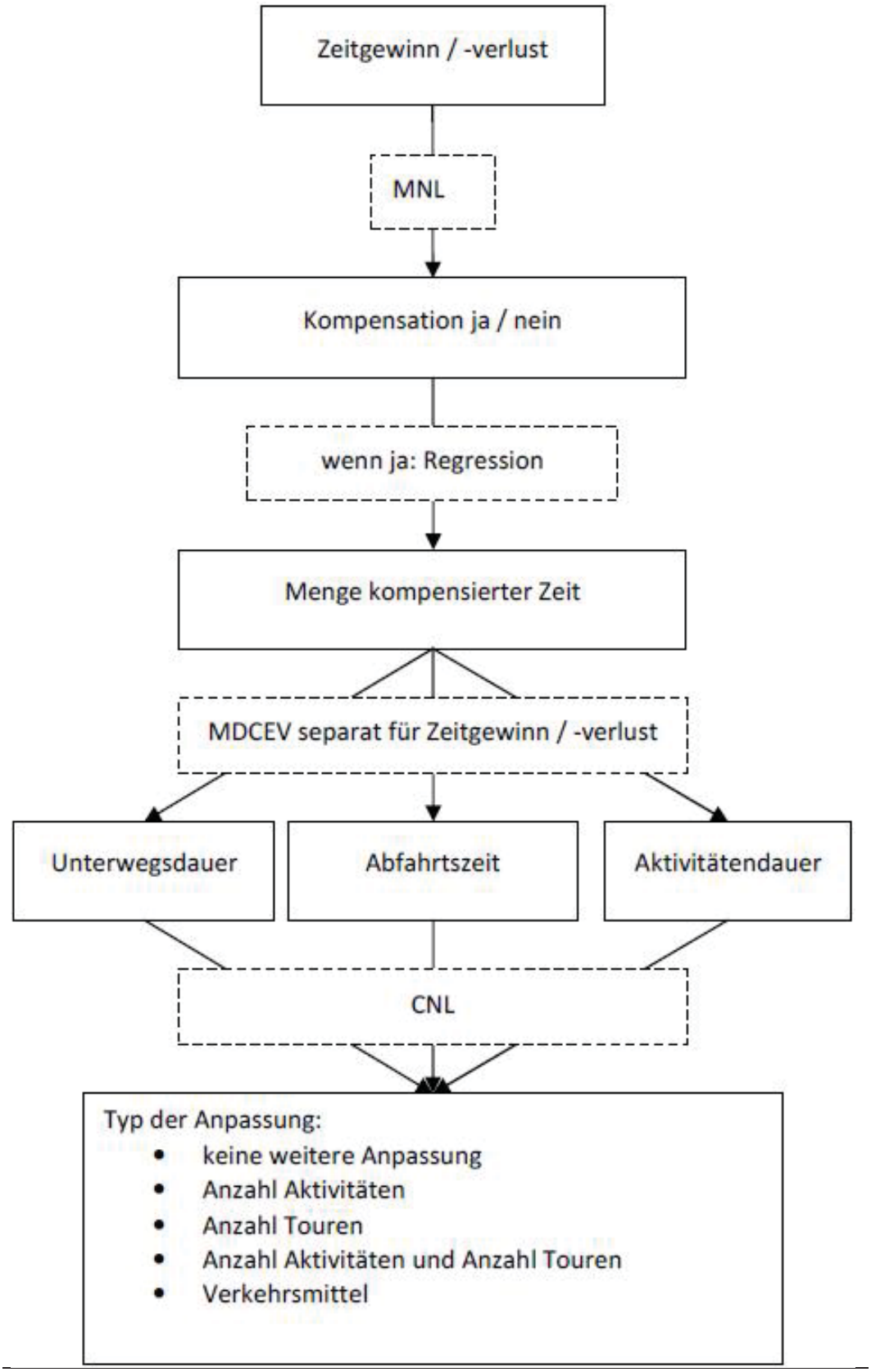



*Abb. 56 Struktur des Modellansatzes*

### 4.7.1 MNL für die Vorhersage der Reaktion

Das *multinomiale Logit*-Modell (MNL: Train, 2003) ist der am weitesten verbreitete Ansatz zur Modellierung diskreter Entscheidungen, wie sie hier im ersten Teilmodell vorliegen.

Für die Schätzung des hier beschriebenen Modells wurde die Software *BIOGEME* (Bierlaire, 2003, 2009) verwendet.

Im Logit-Modell sind die Nutzen der Alternativen durch Nutzenfunktionen beschrieben, die aus einem deterministischen und einem zufälligen Anteil (Fehlerterm) zusammengesetzt sind. Der Nutzen U einer Alternative j für eine Person q lässt sich allgemein ausdrücken als:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq},$$

$V_{jq}$ = systematischer, messbarer Anteil

$\varepsilon_{jq}$ = nicht systematischer, nicht messbarer Anteil, welcher die Präferenzen der Person, allfällige fehlende Variablen sowie den Messfehler des Modells widerspiegelt

Die Gleichungen für $V_{jq}$ sind Kombinationen beliebiger Formen der Attribute der Alternativen, der Entscheidungssituation sowie der Personen. Es wird diejenige Alternative j gewählt, welche für Person *q* den maximalen Nutzen aufweist, also:

$$U_{jq} \geq U_{iq}, \quad \forall i \neq j$$

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \qquad \forall i \neq j$$

Da der Wert von $\varepsilon_{iq}$ - $\varepsilon_{jq}$ nicht bekannt ist, kann nur eine Annahme über die Wahrscheinlichkeit der Wahl einer Alternative getroffen werden. Es folgt:

$$P_{jq} = P\left(\varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + V_{jq} - V_{iq}\right) \qquad \forall i \neq j$$

$$P_{jq} = \int f(\varepsilon) d\varepsilon$$

wobei $f(\varepsilon)$ die Dichtefunktion der gemeinsamen Verteilung der Störterme ist. Beim MNL wird angenommen, dass die Residuen voneinander unabhängig und Gumbel-verteilt mit Mittelwert 0 und gleicher Standardabweichung sind. Unter diesen Annahmen ergibt sich schliesslich:

$$P_j = \frac{e^{V_j}}{\sum_i e^{V_i}}$$

als modellierte Auswahlwahrscheinlichkeit der Alternative *j*. Zur Schätzung der Parameter der Nutzenfunktion wird die sogenannte *Maximum-Likelihood*-Methode verwendet. Die *Likelihood*-Funktion ist gegeben durch:

$$L = \prod_{n=1}^{N} P_{in}^{g_{in}},$$

*N* = Anzahl Beobachtungen

$g_{in}$ = 1, wenn in Beobachtung n Alternative i gewählt wurde, 0 sonst

$P_{in}$ = mit den geschätzten Parametern berechnete Auswahlwahrscheinlichkeit der Alternative *i* für Beobachtung *n*

Für die Schätzung wird der Logarithmus dieses Terms (die *Log-Likelihood*) verwendet, also:

$$\ln L = \sum_{n=1}^{N} g_{in} \cdot \ln P_{in}$$

Durch die Maximierung dieser Gleichung wird sichergestellt, dass das durch die geschätzten Parameter modellierte Verhalten so genau wie möglich das tatsächliche wiedergibt. Für die Schätzung der Güte des geschätzten Modells wird der Wert der *Log-Likelihood*-Funktion verwendet. Ein weiterer Indikator ist die Grösse $\rho^2$, ein Mass dafür, welcher Anteil der Gesamtvarianz in den Daten durch das Modell erklärt wird. Eine angepasste Variante (*adjusted* $\rho^2$), welche die Anzahl Freiheitsgrade berücksichtigt, ist gegeben durch:

$$Adj.\rho^2 = 1 - \frac{L-k}{L_0},$$

*L* = *Log-Likelihood* des geschätzten Modells

$L_0$ = *Log-Likelihood* des Modells mit allen Parametern gleich 0 gesetzt

*k* = Anzahl Freiheitsgrade (Anzahl geschätzte Parameter)

Die in die Nutzenfunktionen einbezogenen Variablen sowie die Modellergebnisse sind in Abschnitt 4.8.1 beschrieben.

### 4.7.2 Regressionsmodell für die Vorhersage der Menge kompensierter Zeit

Für diejenigen Befragten, welche in den *Stated Adaptation* Interviews eine Reaktion auf die ihnen gestellten Szenarien angegeben haben, wurde in einem nächsten Schritt ein Regressionsmodell für die Menge der kompensierten Zeit geschätzt. Die dabei verwendeten Variablen sowie die Modellergebnisse sind in Abschnitt 4.8.2 beschrieben.

### 4.7.3 MDCEV für die Vorhersage der Aufteilung der kompensierten Zeit

Das *Multiple Discrete-Continuous Extreme Value* (MDCEV) Modell erweitert die klassischen diskreten Entscheidungsmodelle um zwei wesentliche Komponenten:

- es kann jeweils mehr als nur eine Alternative ausgewählt werden;
- es schätzt die Parameter, bzw. erlaubt eine Vorhersage, über die Mengen der konsumierten Güter.

Bhat (2005, 2008) formuliert das Modell im Kontext der Zeitbudgetnutzung, und es ist für die Anwendung im Rahmen der hier zu beantwortenden Fragen sehr gut geeignet. Dieser Abschnitt beschreibt die theoretischen Grundlagen des Modellansatzes, während dessen konkrete Formulierung im hier beschriebenen Kontext sowie die Modellergebnisse Gegenstand von Abschnitt 4.8.3 sind.

Im hier verwendeten Ansatz nimmt die Nutzenfunktion eines Vektors von konsumierten Mengen *x* die folgende Form an (Hanemann, 1978):

$$U(\boldsymbol{x}) = \sum_{k=1}^{K} \gamma_k \psi_k \ln\left(\frac{x_k}{\gamma_k} + 1\right),$$

$\psi_k$ = Basis-Grenznutzen des Gutes *k*

$x_k$ = konsumierte Menge des Gutes *k*

$\gamma_k$ = Sättigungsparameter, welcher den Anstieg des Nutzens mit zunehmender konsumierter Menge des Gutes *k* beschränkt; je grösser $\gamma$, desto schneller nimmt der Grenznutzen einer zusätzlichen konsumierten Einheit des Guts ab

Des Weiteren ist der Basis-Grenznutzen $\psi_k$ (also der Grenznutzen bei konsumierter Menge des Gutes *k* gleich null) formuliert als:

$$\psi_k = e^{\beta \cdot z_k + \varepsilon_k},$$

$\beta$ = Vektor von Nutzenparametern

$z_k$ = Vektor von Eigenschaften des Gutes *k*

$\varepsilon_k$ = Gumbel-verteilter Fehlerterm

Es wird angenommen, dass jeder Konsument also seinen Nutzen maximiert, gegeben die Eigenschaften der ihm zur Verfügung stehenden Alternativen und eine Budgeteinschränkung *E*. Das Modell schätzt unter der Annahme des nutzenmaximierenden Verhaltens und unter Anwendung der *Maximum-Likelihood*-Methode die Parameter $\beta$ und $\gamma$.

### 4.7.4 CNL für die Vorhersage zusätzlicher Anpassungen

Für die Vorhersage zusätzlicher Anpassungen zu den durch das MDCEV modellierten Verschiebungen der Zeitnutzung wurde ein *Cross Nested Logit* (CNL; Papola, 2004) Modell verwendet. Dieses ist dem MNL in seiner Struktur sehr ähnlich, erlaubt es jedoch, ähnliche Alternativen zu übergeordneten Gruppen, oder Nestern, zusammenzufassen. Dieser Ansatz hat Vorteile, wenn sich Alternativen stark überlappen und somit nicht klar voneinander unterschieden werden können. Der *Cross Nested* Ansatz erlaubt zudem einer Alternative die Zugehörigkeit zu mehr als einem Nest, und die Schätzung von Parametern, welche den Grad der Zugehörigkeit einer Alternative zu einem Nest angeben.

Im CNL ist die Auswahlwahrscheinlichkeit einer Alternative bedingt durch die Auswahlwahrscheinlichkeit von deren Nest, welche gegeben ist durch:

$$P(k) = \frac{\left(\sum_{i \in C_k} \alpha_{ki}^{1/\lambda_k} e^{V_i}\right)^{\lambda_k}}{\sum_{k'} \left(\sum_{i \in C_{k'}} \alpha_{k'i}^{1/\lambda_{k'}} e^{V_i}\right)^{\lambda_{k'}}},$$

$C_k$ = Nest *k*

$\alpha_{ki}$ = Grad, zu welchem Alternative *i* zu Nest *k* gehört

$\lambda_k$ = Nestparameter von Nest *k*

$V_i$ = Nutzen der Alternative *i*

Die Auswahlwahrscheinlichkeit für Alternative *j* in Nest *k*, gegeben die Auswahl von des Nests, ist gegeben durch:

$$P(j/k) = \frac{\alpha_{kj} e^{V_j}}{\sum_{i \in C_k} \alpha_{ki} e^{Vi}}$$

Die Formulierung der Nutzenfunktionen und die Modellergebnisse finden sich in Abschnitt 4.8.4.

## 4.8 Modellergebnisse

Die folgenden Unterabschnitte beschreiben die Ergebnisse der einzelnen Teilmodelle im Detail. Parallel dazu werden jeweils Diagnosen für die einzelnen Schritte gezeigt, welche einen Aufschluss darüber geben, wie gut die Modelle die tatsächlichen Reaktionen der Befragungsteilnehmenden reproduzieren. Zur Prognose wurde ein Skript in der Programmiersprache R (Venables und Smith, 2010) erstellt, welches die einzelnen Teilmodelle nacheinander ablaufen lässt und jeweils die vorhergesagten Daten aus dem vorigen Modellschritt für die Prognose im nächsten Schritt verwendet.

### 4.8.1 MNL für die Vorhersage der Reaktion

Als Variablen fliessen im hier vorgestellten Modell in die Nutzenfunktion des MNL ein:

- die Menge gewonnener / verlorener Reisezeit;
- die im Verkehrstagebuch für den ausgewählten Tag angegebene Gesamt-Unterwegszeit;
- die im Verkehrstagebuch für den ausgewählten Tag angegebene Anzahl Reisen;
- das Alter der Befragten;
- das Geschlecht der Befragten;
- die Berufstätigkeit der Befragten;
- der Besitz eines ÖV-Abonnements.

Es wurden verschiedene Modellformulierungen unter Einbezug weiterer soziodemographischer Eigenschaften (unter anderem PW-Verfügbarkeit und Haushaltsgrösse) und Charakteristiken der im Tagebuch angegebenen Tagespläne geschätzt, welche jedoch nicht statistisch signifikant waren oder keinen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der Modellgüte leisteten. Das hier vorgestellte Modell ist somit das beste gefundene.

Die Parameter wurden jeweils getrennt für Reisezeitgewinne und -verluste geschätzt, da deren Bewertung wie bereits in den deskriptiven Auswertungen gesehen stark asymmetrisch ist. *Abb. 57* zeigt die Modellergebnisse.

Die Alternative „keine Anpassung“ wird als Referenzalternative mit Nutzen gleich null gesetzt. Alle in der Tabelle aufgeführten Parameter geben also den Nutzengewinn oder -verluste der Alternative „Anpassung“ gegenüber dieser Referenzalternative an. So ist beispielsweise ersichtlich, dass mit steigender Menge an gewonnener oder verlorener Reisezeit der Nutzen der Alternative „Anpassung“ steigt und somit die Wahrscheinlichkeit, dass sich eine befragte Person dazu entscheidet, auf das ihr gestellte Szenario zu reagieren, ebenfalls steigt.

Die Alters- und Geschlechtsvariablen sind in Kategorien eingeteilt, deren Parameter geben also immer den Vergleich zu einem Referenzniveau an. So reagiert zum Beispiel eine Person zwischen 18 und 40 Jahren eher auf Reisezeitgewinne (positiver Parameter) als die Referenzperson zwischen 40 und 65 Jahren, eine Person über 65 Jahren weniger stark (negativer Parameter). Auf Reisezeitverluste hingegen reagiert die Referenz-

Altersklasse am stärksten (negative Parameter für die beiden übrigen Kategorien). Männliche Befragte haben eine geringere Wahrscheinlichkeit, ihr Verhalten anzupassen als weibliche, weisen also diesbezüglich eine grössere Trägheit auf. Auch der Umstand, dass eine Person berufstätig ist, verringert deren Wahrscheinlichkeit, auf die gestellten Szenarien zu reagieren (vermutlich aufgrund der stärkeren Gebundenheit an den berichteten Tagesplan).

*Abb. 57 Modellergebnisse MNL*

| Alternative | Parameter | Wert | t |
|---|---|---|---|
| Anpassung | Bei Reisezeitgewinn: | | |
| | Konstante | 2.490 | 1.80 |
| | Logarithmus der Menge gewonnener Zeit | *1.330* | *4.18* |
| | Logarithmus der im Tagebuch berichteten Reisezeit | *-0.805* | *-2.36* |
| | Alter zwischen 18 und 40 Jahren | *-1.340* | *-2.90* |
| | Alter zwischen 40 und 65 Jahren (Referenzkategorie) | - | - |
| | Alter über 65 Jahren | *-1.930* | *-3.22* |
| | Männlicher Befragter | -0.284 | -1.19 |
| | Weibliche Befragte (Referenzkategorie) | - | - |
| | Berufstätige Person | *-1.030* | *-2.55* |
| | Besitz eines ÖV-Abonnements | -0.755 | -1.63 |
| | Bei Reisezeitverlust: | | |
| | Konstante | -0.138 | -0.17 |
| | Logarithmus der Menge verlorener Zeit | *1.290* | *5.80* |
| | Anzahl im Tagebuch berichtete Reisen | *-0.877* | *-4.82* |
| | Alter zwischen 18 und 40 Jahren | 0.267 | 0.66 |
| | Alter zwischen 40 und 65 Jahren (Referenzkategorie) | - | - |
| | Alter über 65 Jahren | *-1.900* | *-3.90* |
| | Männlicher Befragter | -0.284 | -1.19 |
| | Weibliche Befragte (Referenzkategorie) | - | - |
| | Berufstätige Person | *-1.030* | *-2.55* |
| Keine Anp. | Keine (Referenzalternative mit Nutzen = 0) | - | - |
| | | *Adjusted* $\rho^2$ = | 0.410 |

*Kursiv geschriebene* Werte sind statistisch signifikant auf dem 5%-Niveau (t > 1.96).

Die Modellgüte ist mit einem *adjusted* $\rho^2$ von 0.410 sehr gut. Als zusätzliche Diagnose der Modellqualität dient *Abb. 58*. Der Boxplot zeigt, dass tendenziell für die Befragten, welche ihr Verhalten im Interview angepasst haben, auch eine entsprechend höhere Wahrscheinlichkeit einer Anpassung vorhergesagt wird. Insgesamt wird diese Wahrscheinlichkeit leicht überschätzt; bei der Simulation, also dem Versuch, ob mit den Modellergebnissen das berichtete Verhalten reproduziert werden kann, produziert das Modell jedoch die richtigen Anteile an sich anpassenden Personen (welche gut 80 Prozent der Gesamtstichprobe ausmachen). Bei dieser Simulation werden zu den aus den beobachteten Variablen resultierenden deterministischen Nutzen zufällig gezogene Gumbelverteilte Variablen addiert; als gewählt wird dann jeweils die Alternative mit dem höheren Nutzen gesetzt. Insgesamt kann das Modell also als valide angesehen werden, um die hier benötigten Gesamtanteile an Personen, welche ihr Verkehrsverhalten als Reaktion

auf sich verändernde Rahmenbedingungen ändern, vorherzusagen.

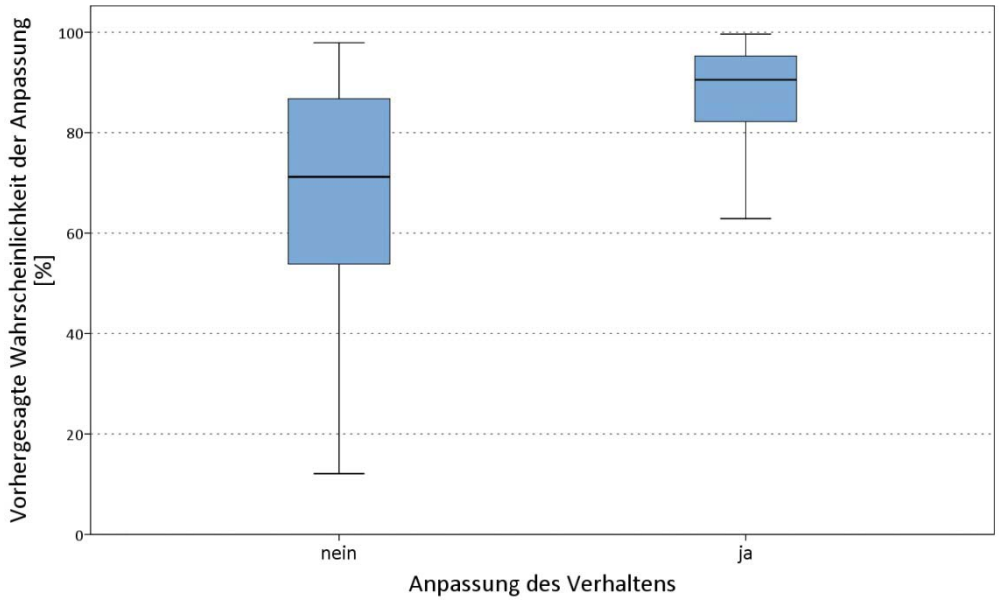



*Abb. 58 Modellierte Anpassungswahrscheinlichkeiten im Vergleich mit tatsächlichem Verhalten*

### 4.8.2 Regressionsmodell für die Vorhersage der Menge kompensierter Zeit

Das Regressionsmodell, mit welchem für diejenigen Befragten, welche auf die ihnen gestellten Szenarien reagiert haben (bzw. bei der Prognose diejenigen Beobachtungen, für welche eine solche Anpassung vorhergesagt wurde), die Menge an zu kompensierender Zeit vorhergesagt wird, enthält als erklärende Variable den Logarithmus der Menge gewonnener / verlorener Reisezeit; es weist separate Parameter für die Bewertung von Reisezeitgewinnen und -verlusten aus. Auch die abhängige Variable wurde nach Tests verschiedener Modellansätze logarithmiert.

Die Modellergebnisse sind aus *Abb. 59* ersichtlich. Die Modellgüte liegt mit einem *adjusted* $R^2$ von 0.960 sehr hoch. Aus den Parametern ist ersichtlich, dass verlorene Reisezeit stärker kompensiert wird als gewonnene.

*Abb. 59 Modellergebnisse Regression*

| Parameter | Wert | t |
|---|---|---|
| Bei Reisezeitgewinn: | | |
| Konstante | *0.719* | *2.40* |
| Logarithmus der Menge gewonnener Reisezeit | *0.656* | *7.62* |
| Bei Reisezeitverlust: | | |
| Konstante | -0.175 | -0.84 |
| Logarithmus der Menge verlorener Reisezeit | *0.974* | *18.50* |
| | *Adjusted* $R^2$ = | 0.960 |

*Kursiv geschriebene* Werte sind statistisch signifikant auf dem 5%-Niveau t > 1.96).

*Abb. 60* zeigt die vom Modell vorhergesagten Zeitkompensationen im Vergleich zu jenen, welche in den Interviews durch die Befragten angegeben wurden. Grosse Veränderungen (über 60 Minuten) werden vom Modell tendenziell unterschätzt, stellen jedoch nur einen

geringen Anteil an der Gesamtstichprobe dar.

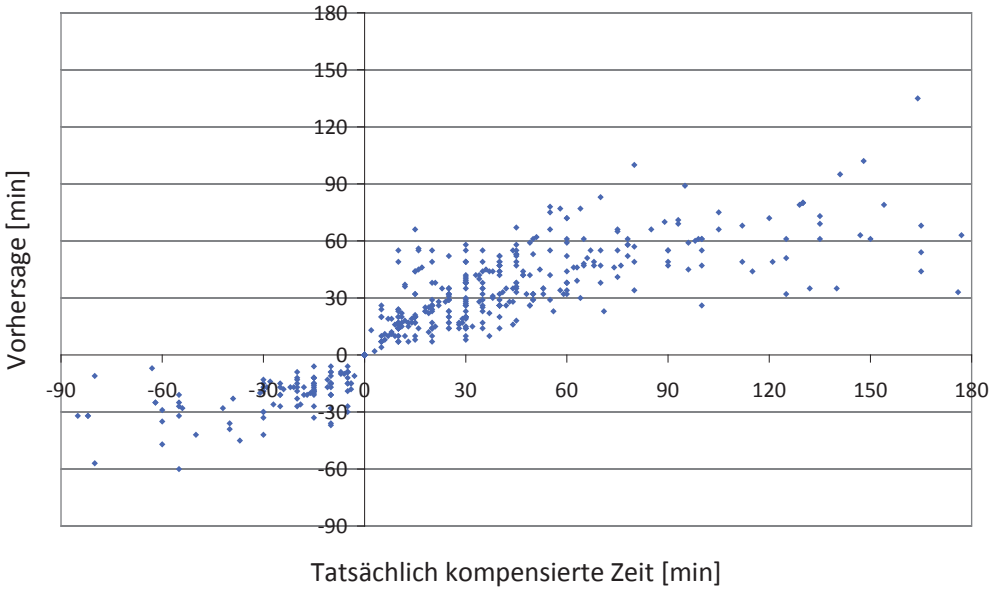



*Abb. 60 Tatsächliche und vorhergesagte Zeitkompensation*

Zur Validierung des Modells wurden visuelle Kontrollen der Normalverteilung der Residuen sowie deren Homoskedastizität (also der Unabhängigkeit des Residuums von der unabhängigen Variablen) durchgeführt. Dies sind zwei Voraussetzungen, welche erfüllt sein müssen, damit ein Regressionsmodell statistisch robust ist.

*Abb. 61* zeigt den P-P-Plot für die Normalverteilung der Residuen. Die schwarze Linie entspricht der Normalverteilung, die blaue der Verteilung der Residuen im Modell; es ist ersichtlich, dass die Verteilung der Residuen tendenziell der Normalverteilung folgt.

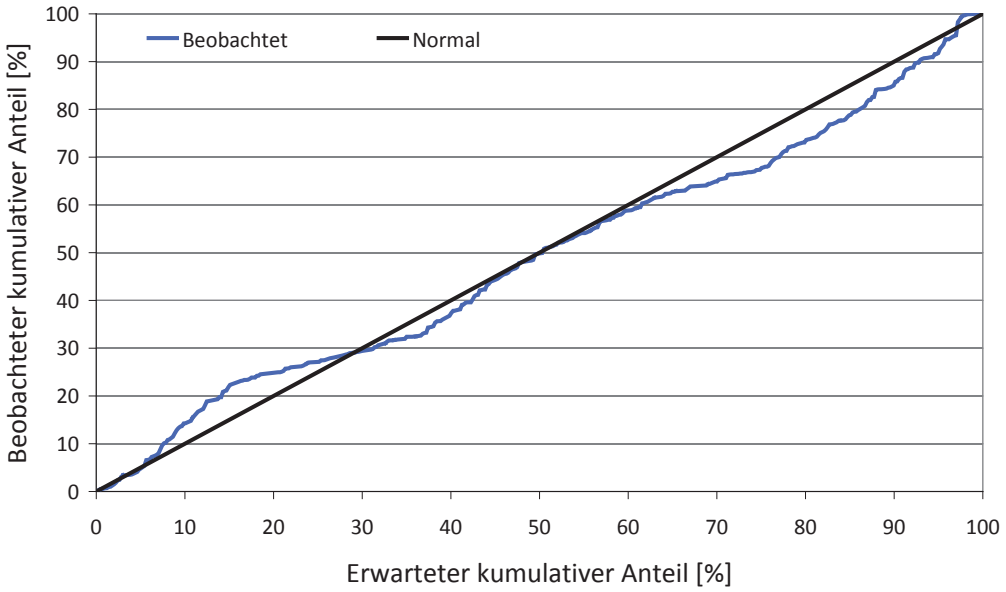



*Abb. 61 P-P-Plot für die Normalverteilung der Residuen*

*Abb. 62* zeigt die Absolutwerte der standardisierten Residuen, aufgezeichnet gegen die Werte der Reisezeitveränderung. Es ist ersichtlich, dass es keine offensichtliche Korrelation zwischen diesen beiden Grössen zu geben scheint, Heteroskedastizität der Residuen also ausgeschlossen werden kann.

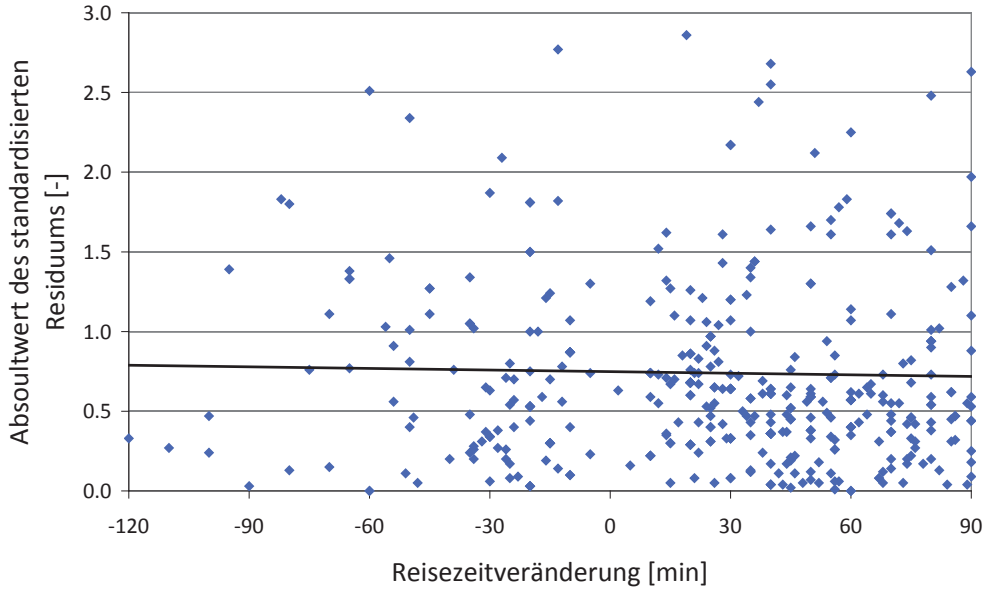



*Abb. 62 Test der Homoskedastizität der Residuen*

### 4.8.3 MDCEV für die Vorhersage der Aufteilung der kompensierten Zeit

Die im Kontext der hier untersuchten Fragestellung den Befragten zur Verfügung stehenden Alternativen, unter welchem das Budget, welches durch die Gesamtmenge kompensierter Zeit (bzw. durch die Vorhersage aus dem vorangegangenen Regressionsmodell) gegeben ist, aufgeteilt werden muss, sind wie bereits erwähnt:

- Anpassung der Abfahrtszeit;
- Anpassung der Reisezeit (sei es über veränderte Verkehrsmittel, Ziele oder Wegeketten);
- Anpassung der Aktivitätendauer.

In diesem Modellschritt wurden aus derselben Überlegung wie für das MNL wiederum separate Modelle für Reisezeitgewinne und -verluste geschätzt. Die Modellergebnisse sind aus *Abb. 63* ersichtlich. Als Einflussvariablen wurden verwendet:

- die Menge kompensierter Zeit;
- die im Tagebuch für den ausgewählten Tag berichtete zu Hause verbrachte Dauer;
- die im Tagebuch für den ausgewählten Tag berichtete Dauer der ausser-Haus-Aktivitäten.

Die relevanten soziodemographischen Eigenschaften wurden bereits im MNL zur Selektivität berücksichtigt; Versuche, diese nochmals in die hier vorgestellten MCDEV-Modelle einzubeziehen, schlugen fehl.

Die Gesamtmodellgüte der beiden Modelle (berechnet aus den gewichteten Werten für die *Log-Likelihood*) liegt mit 0.234 recht hoch. Im Modell für die Reisezeitgewinne sind

aufgrund der wesentlich kleineren Stichprobe nicht alle Parameter signifikant, besitzen jedoch das richtige Vorzeichen.

In beiden Modellen dient die Anpassung der Abfahrtszeit als Referenzalternative, für welche alle Parameter gleich null und somit der Basis-Grenznutzen gleich eins (Exponentialfunktion von null) ist. Auch die Referenzalternative besitzt allerdings einen Sättigungsparameter.

Die Konstanten geben die Grundwiderstände gegen eine Alternative an. Hier ist ersichtlich, dass die Anpassung der Abfahrtszeit gegenüber den beiden anderen Alternativen grundsätzlich bevorzugt wird. Mit zunehmender zu kompensierender Zeit nehmen jedoch deren Nutzen zu, während jener der Anpassung der Abfahrtszeit konstant bleibt. Gleichzeitig besitzen die beiden anderen Alternativen jedoch auch höhere Sättigungsparameter, so dass deren Grenznutzen wiederum mit zunehmender konsumierter Menge (bzw. Verwendung für die Kompensation) abnehmen.

*Abb. 63 Modellergebnisse MDCEV*

| Fall | Reaktion | Parameter | Wert | t |
|---|---|---|---|---|
| Reisezeitgewinn | Spätere Abfahrt | Sättigungsparameter ($\gamma$) | *0.139* | *3.15* |
| | Mehr Reisezeit | Konstante | -0.500 | -0.88 |
| | | Menge kompensierter Zeit | 0.386 | 0.60 |
| | | Sättigungsparameter ($\gamma$) | 1.119 | 1.16 |
| | Längere Aktivitäten | Konstante | *-3.629* | *-3.29* |
| | | Menge kompensierter Zeit | *3.004* | *4.20* |
| | | Im Tagebuch berichtete Zeit zu Hause | 0.726 | 0.69 |
| | | Sättigungsparameter ($\gamma$) | 0.359 | 1.76 |
| Reisezeitverlust | Frühere Abfahrt | Sättigungsparameter ($\gamma$) | *0.266* | *5.59* |
| | Weniger Reisezeit | Konstante | *-1.166* | *-7.80* |
| | | Menge kompensierter Zeit | *0.691* | *4.68* |
| | | Sättigungsparameter ($\gamma$) | *1.324* | *3.14* |
| | Kürzere Aktivitäten | Konstante | *-2.967* | *-9.41* |
| | | Menge kompensierter Zeit | *1.120* | *6.93* |
| | | Im Tagebuch berichtete Aktivitätendauer | *1.162* | *2.03* |
| | | Sättigungsparameter ($\gamma$) | *0.393* | *3.74* |
| | | | $\rho^2$ = | 0.234 |

*Kursiv geschriebene* Werte sind statistisch signifikant auf dem 5%-Niveau (t > 1.96).

Auch für das MDCEV seien hier einige Aufschlüsse über die Qualität der Prognosen genannt. *Abb. 64* zeigt für die Abfahrtszeit, *Abb. 65* für die Unterwegsdauer und *Abb. 66* für die Aktivitätendauer den Vergleich zwischen den vorhergesagten und durch die Befragten angegebenen Anpassungen. Für die Prognose wurde das in Pinjari und Bhat (2010a, 2010b) beschriebene Verfahren in R umgesetzt.

Es ist ersichtlich, dass das Modell die tatsächlichen Verteilungen recht gut zu reproduzieren vermag.

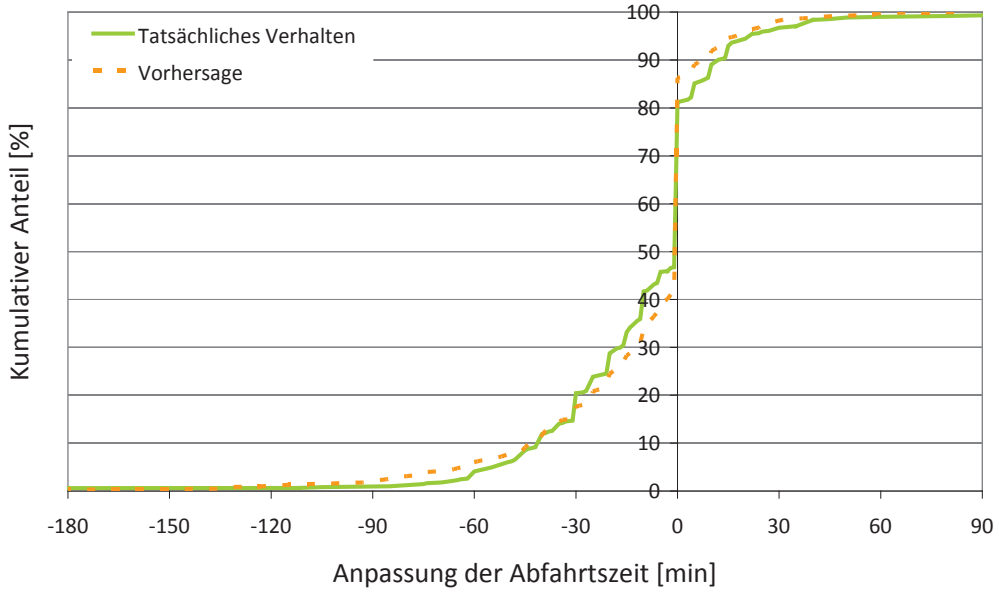



*Abb. 64 Tatsächliche und vorhergesagte Anpassung der Abfahrtszeit*

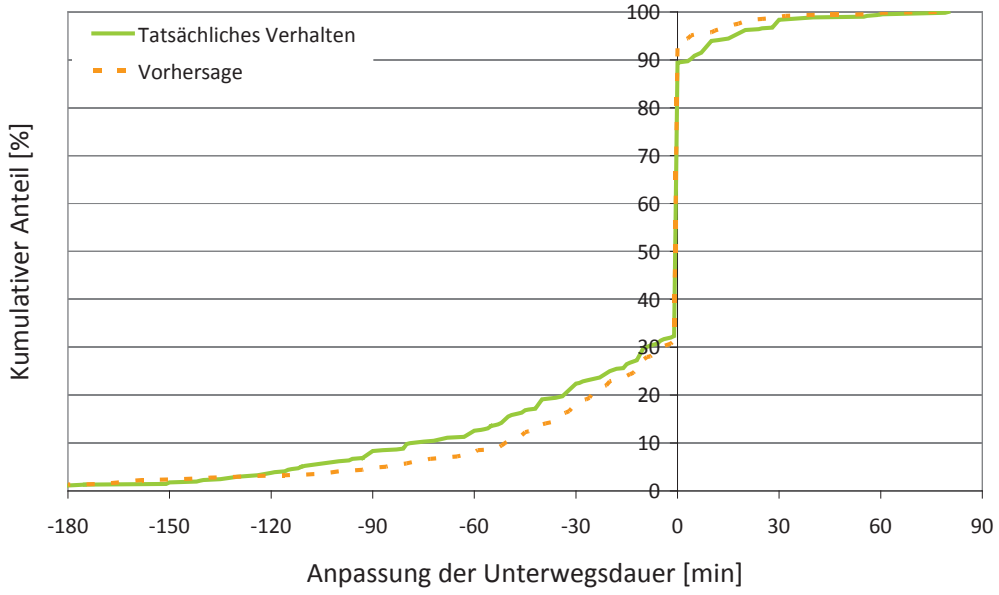



*Abb. 65 Tatsächliche und vorhergesagte Anpassung der Unterwegsdauer*

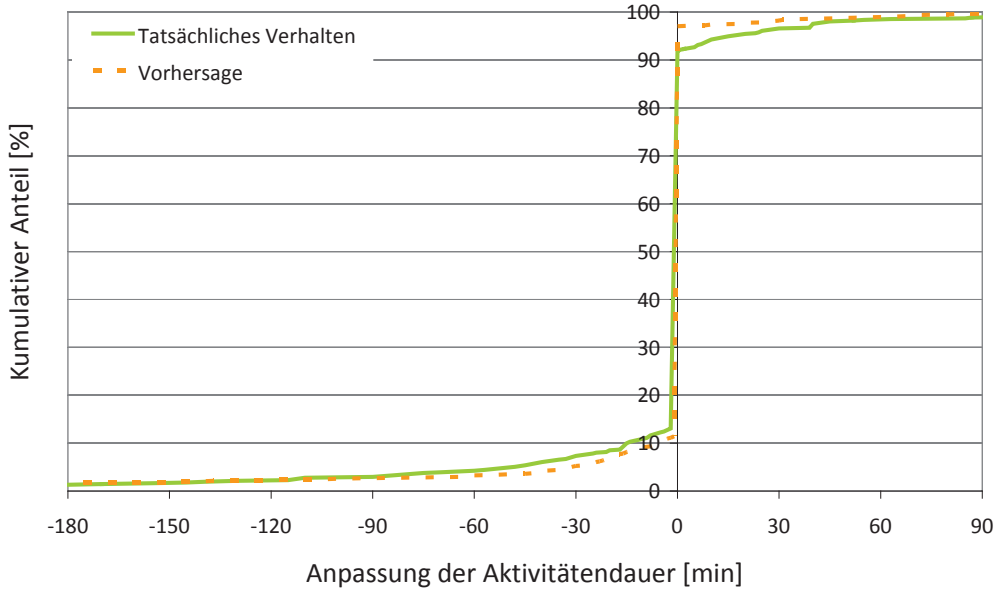



*Abb. 66 Tatsächliche und vorhergesagte Anpassung der Aktivitätendauer*

### 4.8.4 CNL für die Vorhersage zusätzlicher Anpassungen

Die im CNL betrachteten Alternativen, welche den Befragten zusätzlich zu im MDCEV abgehandelten den Anpassungen zur Verfügung stehen, sind:

- Veränderung der Zielwahl (diese Alternative wird im Modell als Referenzalternative mit Nutzen gleich null verwendet, da sie nicht genauer abgebildet werden kann; alle geschätzten Parameter geben also den Nutzen der anderen Alternativen im Vergleich zur Entscheidung an, keine weitere Anpassung im tagesplan vorzunehmen);
- Verringerung der Anzahl Aktivitäten (aus beibehaltenen Reisen);
- Verringerung der Anzahl Reisen (und Beibehaltung aller Aktivitäten, also Verzicht auf eine Fahrt nach Hause);
- Verringerung der Anzahl Aktivitäten *und* Reisen;
- Erhöhung der Anzahl Aktivitäten (und Eingliederung in bestehende Reisen);
- Erhöhung der Anzahl Reisen (ohne neue Aktivitäten, also Durchführung einer zusätzlichen Fahrt nach Hause);
- Erhöhung der Anzahl Aktivitäten *und* Reisen;
- Veränderung der Verkehrsmittelwahl für einen oder mehrere Wege.

Zu einem Nest zusammengefügt werden folgende Alternativen:

- „mehr Aktivitäten“ und „mehr Aktivitäten *und* mehr Reisen“ gehören zum Nest „mehr Aktivitäten“;
- „mehr Reisen“ und „mehr Aktivitäten *und* mehr Reisen“ gehören zum Nest „mehr Reisen“;

- „weniger Aktivitäten“ und „weniger Aktivitäten *und* weniger Reisen“ gehören zum Nest „weniger Aktivitäten“;
- „weniger Reisen“ und „weniger Aktivitäten *und* weniger Reisen“ gehören zum Nest „weniger Reisen“;
- „keine weitere Anpassung“ und „Veränderung der Verkehrsmittelwahl“ gehören zu keinen Nestern.

Die Nestzugehörigkeitsparameter $\alpha$ wurden hier jeweils auf 0.5 und die Nestparameter $\lambda$ auf 1 festgesetzt, da sich bei Versuchen, diese durch das Modell schätzten zu lassen, ergab, dass diese nicht signifikant verschieden von diesen Referenzwerten waren.

Als Einflussvariablen für die Schätzung CNL wurden verwendet (aus den berichteten Daten; bei der Prognose werden dann die Vorhersagen aus dem MDCEV verwendet):

- Menge zusätzlicher oder kompensierter Reisezeit;
- Menge kompensierter Aktivitätendauer;
- Anzahl im Tagebuch für den ausgewählten Tag berichtete Reisen;
- Dummy-Variablen (Werte 0 oder 1), welche angeben ob im gestellten Szenario Reisezeit gewonnen oder verloren wurde.

Die Modellergebnisse sind aus *Abb. 67* ersichtlich. Die Modellgüte liegt bei einem *adjusted* $\rho^2$ von 0.526 und ist somit ausserordentlich hoch.

Die Konstanten geben wiederum die Grundeinstellung zu einer Alternative an; hier ist ersichtlich, dass alle Alternativen einen geringeren Grundnutzen besitzen als die Referenzalternative. Wird aufgrund von Zeitgewinnen entschieden, diese Zeit in längere Wege zu investieren, so führt dies tendenziell auch zu mehr durchgeführten Reisen.

Werden Zeitverluste über die Aktivitätendauer kompensiert, erhöht dies auch die Wahrscheinlichkeit, dass weniger Aktivitäten durchgeführt werden. je mehr Aktivitäten im Tagebuch berichtet wurden, desto höher ebenfalls die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Reisezeitverlust eine dieser Aktivitäten weggelassen wird. Ähnliche Schlüsse treffen auf den Verzicht auf die Durchführung einer Reise, also einer Rückkehr nach Hause, zu.

Die Veränderung der Verkehrsmittelwahl wird hier ebenfalls durch die Menge an zusätzlicher bzw. eingesparter Reisezeit beeinflusst.

*Abb. 68* zeigt den Vergleich zwischen der Verteilung der tatsächlichen Anpassungen durch die Befragten und der Vorhersage; auch hier stimmen die Modellprognosen also recht gut mit dem tatsächlichen Verhalten überein.

Neben der guten Abbildung der Gesamtmengen ist hier noch der Vergleich für die einzelnen Befragten interessant. Zu diesem Zweck stellt *Abb. 69* (analog zu *Abb. 58*) die Verteilung der vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten für eine Anpassung der Verkehrsmittelwahl in Abhängigkeit des Umstandes, ob die befragten Personen tatsächlich das Verkehrsmittel für einen Weg verändert haben. Auch hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Vorhersage.

*Abb. 67 Modellergebnisse CNL*

| Anpassung | Parameter | Wert | t |
|---|---|---|---|
| Keine weitere Anpassung | Keine (Referenzalternative) | - | - |
| Mehr Aktivitäten | Konstante | *-2.670* | *-5.17* |
| Mehr Reisen | Konstante | -35.600 | 0.00 |
| | Menge zusätzlicher Reisezeit | *0.161* | *4.47* |
| Mehr Aktivitäten *und* Reisen | Konstante | *-5.990* | *-3.63* |
| Weniger Aktivitäten | Konstante | *-3.610* | *-7.84* |
| | Menge kompensierter Aktivitätendauer | *0.005* | *2.78* |
| | Anzahl berichteter Aktivitäten | *0.417* | *3.44* |
| Weniger Reisen | Konstante | *-8.240* | *-8.07* |
| | Menge kompensierter Reisezeit | *0.098* | *8.78* |
| | Anzahl berichteter Reisen | *1.530* | *4.30* |
| Weniger Aktivitäten *und* Reisen | Konstante | *-9.390* | *-8.64* |
| Verkehrsmittelwahl | Dummy für Reisezeitgewinn | *-0.967* | *-3.90* |
| | Dummy für Reisezeitverlust | *-1.430* | *-8.28* |
| | Menge zusätzlicher Reisezeit | *0.108* | *4.92* |
| | Menge kompensierter Reisezeit | *0.081* | *8.13* |
| | | *Adjusted* $\rho^2$ = | 0.526 |

*Kursiv geschriebene* Werte sind statistisch signifikant auf dem 5%-Niveau (t > 1.96).

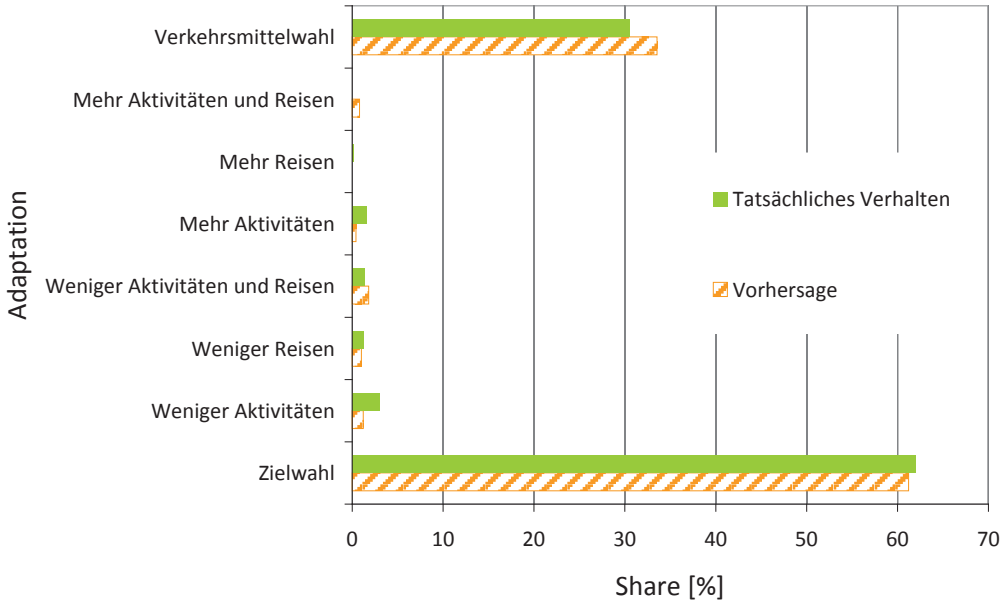



*Abb. 68 Tatsächliche und vorhergesagte Verteilung der Anpassungen*

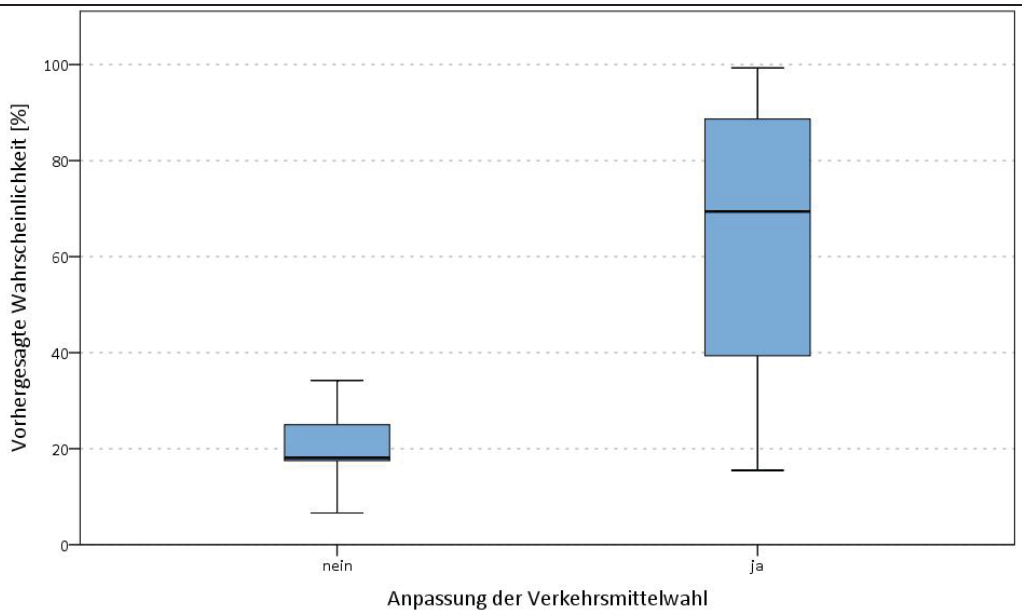



*Abb. 69 Modellierte Wahrscheinlichkeiten der Verkehrsmittelwahlveränderung im Vergleich mit tatsächlichem Verhalten*

## 4.9 Anwendung der Modellergebnisse

Um die im vorigen Kapitel beschriebenen Modellergebnisse für eine Anwendung zu verwenden, wurde das oben erwähnte R-Skript verwendet.

### 4.9.1 Allgemeine Beispiele

Analog zu den globalen Beispielen in Kapitel 3.9 werden hier pauschale Szenarien betrachtet, deren Auswirkungen auf die Aktivitätenmuster in der gesamten Schweiz vorhergesagt werden sollen. Hierzu werden die berichteten Wege aus dem Mikrozensus 2005 verwendet, und um pauschale Faktoren verlängert oder verkürzt. Die betrachteten Szenarien sind:

- Reisezeiten für alle Pendlerwege plus 50 Prozent (1; betrifft 38 Prozent der Bevölkerung);
- Reisezeiten für alle Pendlerwege minus 50 Prozent (2; betrifft 38 Prozent der Bevölkerung);
- Reisezeiten für alle Freizeitwege plus 50 Prozent (3; betrifft 67 Prozent der Bevölkerung);
- Reisezeiten für alle Freizeitwege minus 50 Prozent (4; betrifft 67 Prozent der Bevölkerung);
- Reisezeiten für alle Einkaufswege plus 50 Prozent (5; betrifft 42 Prozent der Bevölkerung);
- Reisezeiten für alle Einkaufswege minus 50 Prozent (6; betrifft 42 Prozent der Bevölkerung).

Es wurden also für die drei Hauptzwecke jeweils pauschal alle Wege um die Hälfte der Reisezeit verlängert oder verkürzt.

Die daraus resultierenden Szenarien dienen als Ausgangssituation für die Prognose mit-

tels der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Modelle.

Die aus der Erstellung der Szenarien resultierenden Verteilungen der Gesamtreisezeitveränderungen für die durch die Befragten im Mikrozensus 2005 angegebenen Tagespläne sind in *Abb. 70* dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die erstellten Szenarien trotz der sehr starken und generellen Veränderungen weniger grosse Veränderungen in den Gesamtreisezeiten hervorrufen, als dies in den *Stated Adaptation* Befragungen der Fall war. Die Reisezeitgewinne liegen grösstenteils unter 30, die -verluste unter 60 Minuten. Dementsprechend verhalten dürften also auch die prognostizierten Reaktionen ausfallen. Die stärksten Veränderungen ergeben sich für die Freizeitwege in den Szenarien (3) und (4), da diese den grössten Anteil an den zurückgelegten Wegen darstellen und häufig länger sind als Pendel- und Einkaufswege.

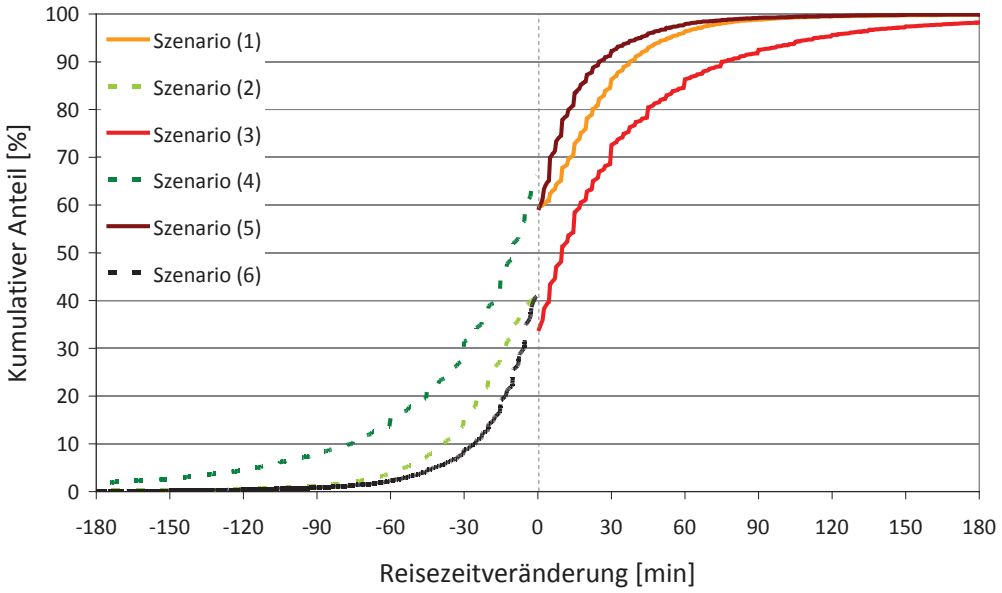



*Abb. 70 Veränderungen der Gesamtreisezeit aufgrund der gebildeten Szenarien*

*Abb. 71* zeigt die aus den Modellläufen resultierenden Veränderungen der zentralen abhängigen Variablen.

Hier ist zu sehen, dass wie erwartet die Szenarien (3) und (4), welche die grössten Reisezeitveränderungen implizieren, auch die stärksten Reaktionen hervorrufen. Hier prognostiziert das Modell für die Hälfte aller Personen im Mikrozensus 2005 eine Anpassung des Verhaltens. Diese kompensieren im Durchschnitt knapp 16 Minuten verlorene bzw. 12 Minuten gewonnene Zeit, von welcher ein Grossteil über die Anpassung der Abfahrtszeit abgetragen wird.

Auf der Seite der Aktivitätendauern sind die Anpassungen hingegen wie aufgrund der Modellergebnisse erwartet nur sehr gering. Gleiches gilt für die Veränderung der Anzahl durchgeführter Aktivitäten, Wege und Reisen. Auf dem Niveau der Verkehrserzeugung sind in der kurzfristigen Betrachtung nur sehr geringe Veränderungen zu erwarten; so würde beispielsweise bei einer Verlängerung aller Freizeitwege um 50 Prozent nur jede 25. Person auf die Durchführung einer Aktivität verzichten (was zum Durchschnittswert von 0.04 weniger durchgeführten Aktivitäten pro Person führt).

Auf der anderen Seite ist ersichtlich, dass durchschnittlich immerhin ein Fünftel der gewonnenen Reisezeit in zusätzliches Reisen re-investiert wird; dies ist teilweise auf Effekte der erwähnten Verkehrsmittelwahl, teilweise jedoch auch auf die hier nicht detailliert modellierte Zielwahl, zurückzuführen. Ein Teil der Bevölkerung würde also bei Verkürzungen der Reiszeit, bzw. bei Erhöhungen der Geschwindigkeiten, weitere Wege in Betracht zie-

hen, um das Reisezeitbudget wieder auszugleichen.

Die in der Tabelle angegebene „Reisezeitdifferenz netto“ ergibt sich aus dem Reisezeitverlust im Szenario abzüglich der prognostizierten Anpassung der Reisezeit mittels Verkehrsmittel- oder Zielwahlveränderungen.

*Abb. 71 Reaktionen auf die Beispielszenarien: Durchschnittswerte*

| Veränderung | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Reisezeitveränderung [min] | 12.0 | -12.0 | 27.7 | -27.7 | 8.3 | -8.3 |
| Wahrscheinlichkeit der Anpassung [%] | 31.4 | 30.4 | 50.1 | 48.9 | 25.7 | 26.9 |
| Kompensierte Zeit [min] | 6.8 | -5.8 | 15.7 | -11.8 | 4.4 | -4.1 |
| Anpassung der Abfahrtszeit [min] | -3.9 | 3.6 | -10.4 | 8.9 | -3.6 | 3.5 |
| Anpassung der Aktivitätendauer [min] | -0.6 | 0.5 | -0.1 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| Anpassung der Reisezeit [min] | -2.2 | 1.8 | -5.3 | 2.5 | -0.8 | 0.6 |
| Reisezeitdifferenz netto [min] | 9.8 | -10.3 | 22.4 | -25.2 | 7.5 | -7.7 |
| Anpassung der Anzahl Aktivitäten | -0.03 | 0.02 | -0.04 | 0.04 | -0.02 | 0.03 |
| Anpassung der Anzahl Reisen | -0.02 | 0.01 | -0.03 | 0.02 | -0.02 | 0.01 |
| Anpassung der Anzahl Wege | -0.05 | 0.04 | -0.07 | 0.06 | -0.04 | 0.04 |

Für Szenario (1), also die Verlängerung der Pendelzeiten um 50 Prozent, zeigt *Abb. 72* die räumliche Verteilung der Abfahrtszeitveränderungen, welche wie gesehen die bevorzugte Massnahme zur Anpassung der Tagespläne sind und daher auch in dieser Auswertung in den Vordergrund gestellt werden.

Hier ist zu sehen, dass die Bewohner eines Grossteils der Gemeinden im Kanton Zürich als Reaktion auf das Szenario nur geringe Abfahrtszeitveränderungen vornehmen müssen. Dies gilt insbesondere für die städtischen Gebiete. Am stärksten betroffen sind ländlichere Gemeinden, in welchen verhältnismässig viele Pendler leben und für welche die Pendelwege im Ist-Zustand bereits relativ lang sind, womit die prozentuale Veränderung hier am stärksten durchschlägt. Die maximale vom Modell vorhergesagte Abfahrtszeitveränderung beträgt ca. eine Stunde.

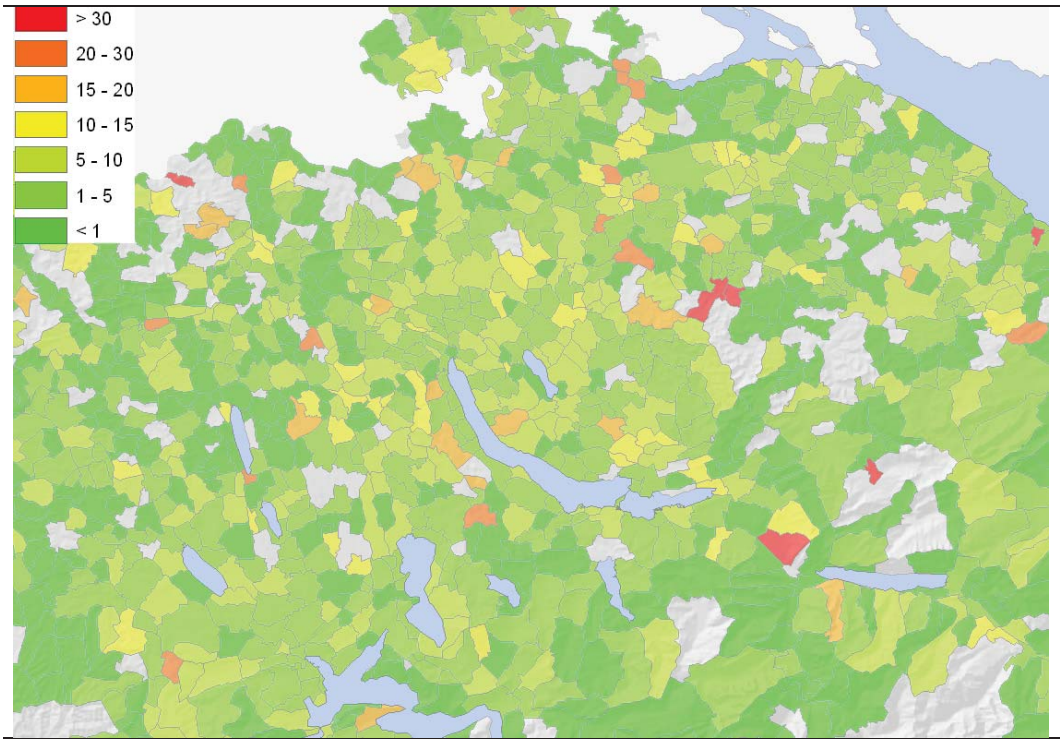



*Abb. 72 Räumliche Verteilung der Anpassung der Abfahrtszeit in Szenario (1) – Verschiebung der Abfahrtszeit in Minuten*

### 4.9.2 Konkrete Fallstudien

Zusätzlich zu den sehr generell formulierten Beispielen aus Abschnitt 4.9.1 wurden zwei konkretere Fallbeispiele untersucht, um deren Auswirkungen zu analysieren:

- der Vergleich der Reisezeiten vor und nach der Eröffnung der Westumfahrung (inklusive Üetlibergtunnel) im Kanton Zürich (1);
- die Verkürzung der Reisezeit mit der Bahn auf der Hauptlinie St. Gallen – Zürich – Bern – Lausanne – Genf – Genf Flughafen um 25 Prozent (2).

Zur Beurteilung der Szenarien wurden diese im Nationalen Personenverkehrsmodell der Schweiz (zur Verfügung gestellt durch das Bundesamt für Raumentwicklung ARE) implementiert, um die Reisezeitmatrizen vor und nach der Realisierung der Massnahme zu berechnen. Diese Reisezeiten wurden dann wiederum den Wegen aus dem Mikrozensus 2005 zugespielt, um die Reisezeitdifferenzen, welche sich aus den Szenarien für die einzelnen Personen über deren angegebene Tagespläne aggregiert ergeben würden, zu berechnen und daraus die Reaktionen dieser Personenstichprobe vorherzusagen.

*Abb. 73* und *Abb. 74* zeigen, analog zu *Abb. 70*, die aus der Erstellung der Fallstudien resultierenden Verteilungen der Gesamtreisezeitveränderungen für die durch die Befragten im Mikrozensus 2005 angegebenen Tagespläne.

Da die Reisezeitveränderungen und damit auch die Reaktionen in Fallstudie (1) räumlich sehr beschränkt sind, fallen Sie im gesamtschweizerischen Durchschnitt sehr gering aus. Daher ist in der Abbildung zusätzlich die Auswertung nur für Personen, welche im Kanton Zürich (in welchem die Massnahme ausgeführt wird und somit auch deren Auswirkungen am stärksten spürbar sind) aufgezeigt. Auch hier zeigt sich allerdings, dass im Bevölkerungsmittel die Reisezeitgewinne nur sehr gering sind.

Für Fallstudie (2) hingegen resultieren im Maximum spürbarere Reisezeitgewinne; auch diese betreffen jedoch nur einen geringen Anteil der Stichprobe des Mikrozensus 2005,

(nur die Personen, welche mit dem ÖV im entsprechenden Korridor unterwegs sind) womit auch hier die modellierten Reaktionen sehr gering ausfallen dürften.

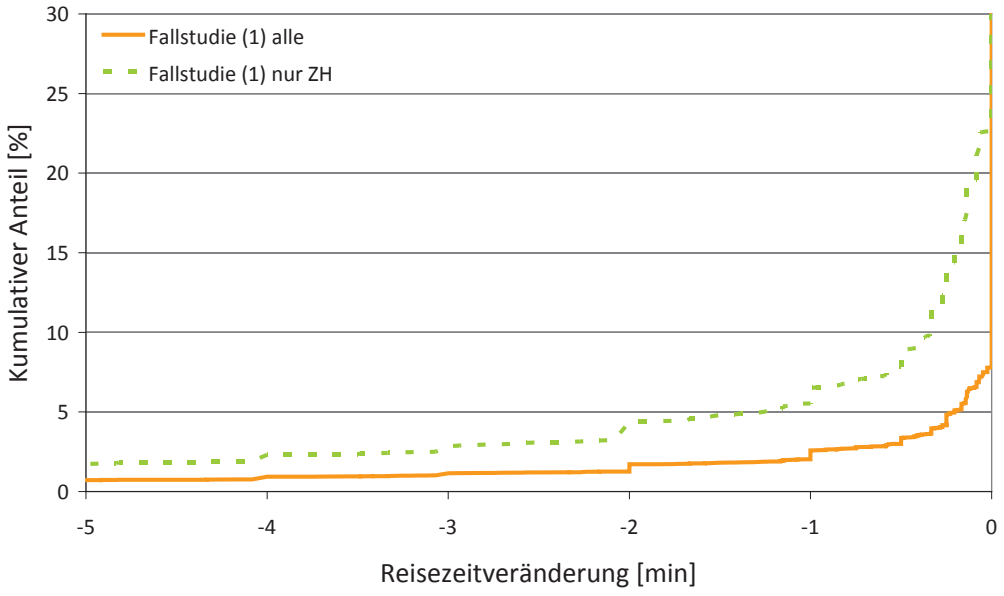



*Abb. 73 Veränderungen der Gesamtreisezeit in Fallstudie (1)*

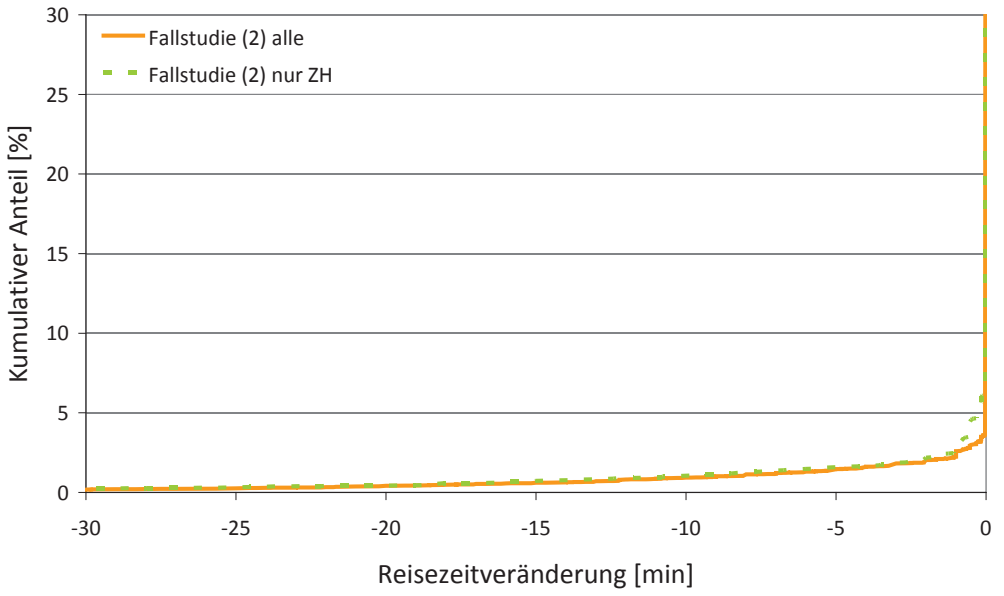



*Abb. 74 Veränderungen der Gesamtreisezeit in Fallstudie (2)*

Zum besseren Vergleich mit den Ergebnissen aus dem ersten Teil des Projekts zeigt *Abb. 75* die aus diesen Reisezeitveränderungen resultierenden Veränderungen der Erreichbarkeiten auf Gemeindeebene. Wie zu sehen ist, führt das Szenario „Eröffnung Westumfahrung“ zu bis zu 4 Prozent höheren Erreichbarkeiten, insbesondere in Gemeinden des Kantons Zürich.

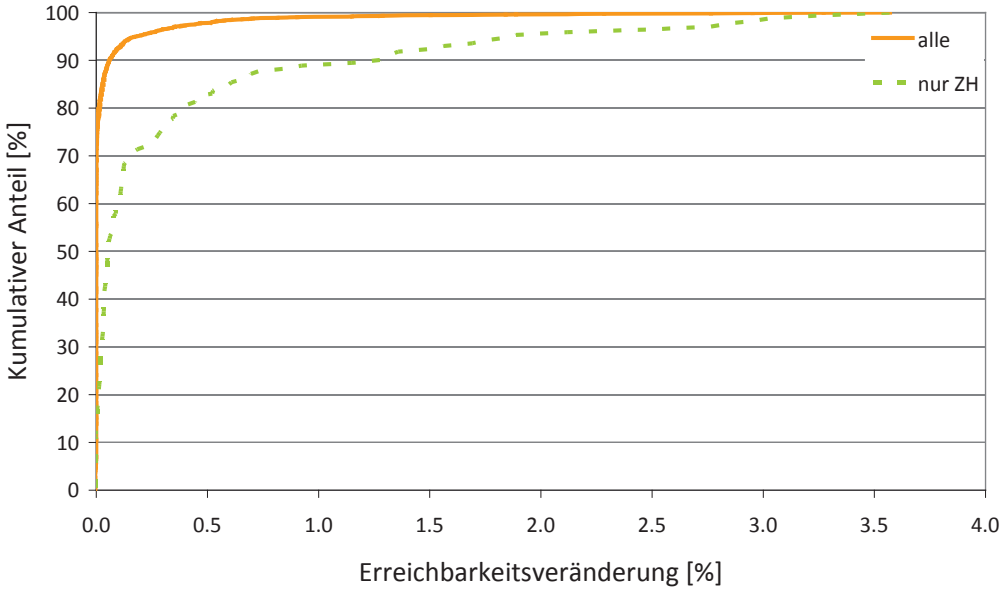



*Abb. 75 Veränderungen der Erreichbarkeiten in Fallstudie (1)*

*Abb. 76* zeigt, analog zu *Abb. 71*, die aus den Modellläufen resultierenden Veränderungen der interessierenden Variablen. Wie erwartet fallen die Reaktionen in Fallstudie (1), sowohl grossräumig als auch nur im Kanton Zürich, vernachlässigbar gering aus. In Szenario (2) wird immerhin für gut ein Prozent der Reisenden eine Anpassung des Verhaltens vorausgesagt.

*Abb. 76 Reaktionen auf die Fallstudienszenarien: Durchschnittswerte*

| Veränderung | (1) alle | (1) nur ZH | (2) alle | (2) nur ZH |
|---|---|---|---|---|
| Reisezeitveränderung [min] | -0.112 | -0.277 | -0.412 | -0.437 |
| Wahrscheinlichkeit der Anpassung [%] | 0.759 | 2.010 | 1.163 | 1.248 |
| Kompensierte Zeit [min] | -0.035 | -0.107 | -0.147 | -0.156 |
| Anpassung der Abfahrtszeit [min] | 0.031 | 0.096 | 0.136 | 0.149 |
| Anpassung der Aktivitätendauer [min] | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Anpassung der Reisezeit [min] | 0.004 | 0.011 | 0.011 | 0.006 |
| Reisezeitdifferenz insgesamt [min] | -0.108 | -0.266 | -0.401 | -0.430 |
| Anpassung der Anzahl Aktivitäten | 0.001 | 0.003 | 0.001 | 0.002 |
| Anpassung der Anzahl Reisen | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.001 |
| Anpassung der Anzahl Wege | 0.001 | 0.005 | 0.002 | 0.003 |

*Abb. 77* zeigt die räumliche Verteilung der Anpassung der Abfahrtszeit für die Eröffnung der Westumfahrung. Es ist offensichtlich, dass die geringfügigen Reisezeitgewinne, welche durch die Eröffnung der Westumfahrung resultieren, im Modell praktisch keine Veränderungen des Verhaltens hervorrufen. Für die Beschleunigung der Bahnverbindung sind die Reaktionen nur entlang des entsprechenden Korridors in Gemeinden mit viel Pendlerverkehr, die von den Verbesserungen am meisten profitieren, spürbar Auch hier fallen die erwarteten Reaktionen im Durchschnitt jedoch sehr geringfügig aus.

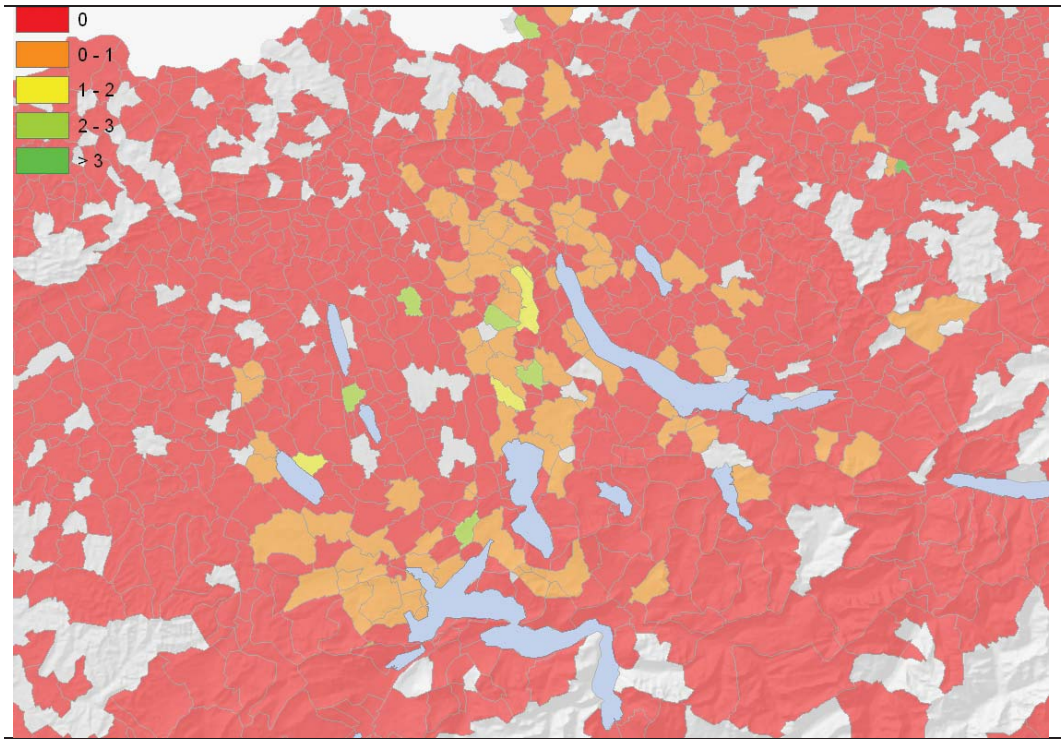



*Abb. 77 Räumliche Verteilung der Anpassung der Abfahrtszeit, Fallstudie (1) – Verschiebung der Abfahrtszeit in Minuten*

Zum besseren Vergleich mit den Ergebnissen aus dem ersten Teil des Projekts, und zur Illustration der Auswertungen im nächsten Abschnitt, ist in *Abb. 78* die aus der Fallstudie „Eröffnung der Westumfahrung“ resultierende räumliche Verteilung der Erreichbarkeitsveränderungen ersichtlich. Hier ist zu sehen, dass sich die grössten Erreichbarkeitsveränderungen (bis zu 3.6 Prozent) erwartungsgemäss entlang des Korridors der neuen Strasse ergeben, in welchen wie oben beschrieben auch die grössten Nachfragereaktionen entstanden sind. Zudem ist die Ausdehnung des Einzugsgebiets der Massnahme sichtbar, womit sich erneut bestätigt, dass signifikante Veränderungen nur sehr lokalisiert auftreten.

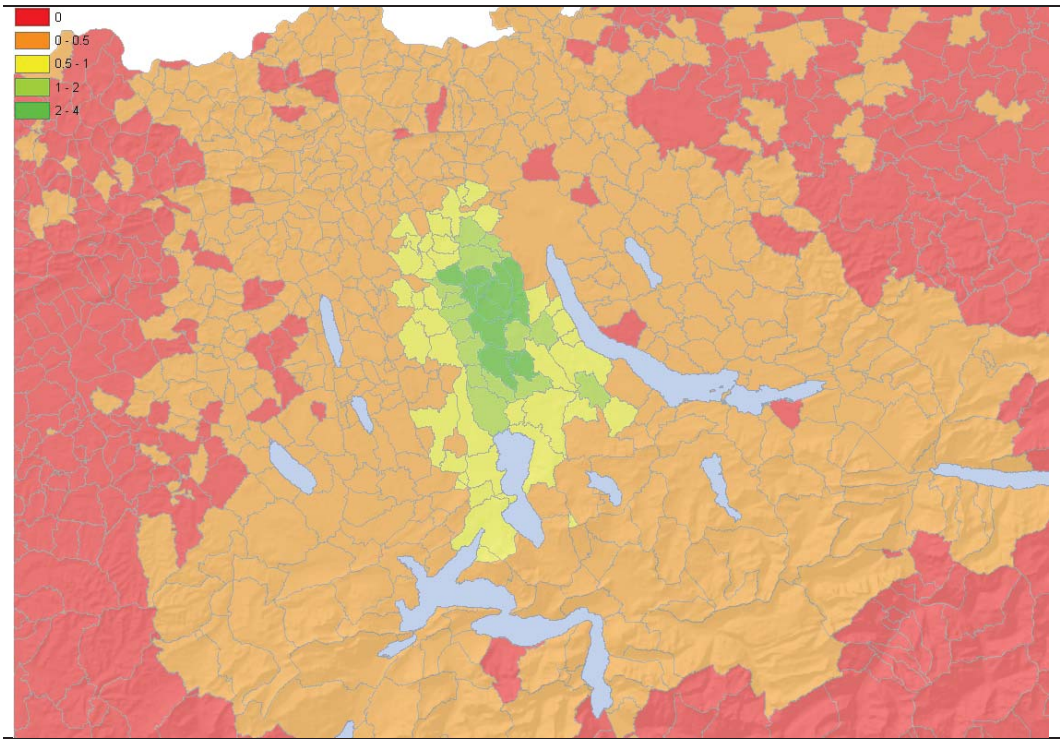



*Abb. 78 Räumliche Verteilung der Erreichbarkeitsveränderungen, Fallstudie (1) – Veränderung der Erreichbarkeit in Prozent*

Analog zu *Abb. 76* sind in *Abb. 79* die Nachfragereaktionen für die 4 am stärksten durch Fallstudie (1) betroffenen Gemeinden dargestellt. Es handelt sich dabei um Gemeinden in unmittelbarer Umgebung der neuen Infrastruktur, nämlich:

- Wettswil am Albis;
- Mettmenstetten;
- Bonstetten;
- und Stallikon.

In der Tabelle sind für jede dieser Gemeinden die Durchschnittswerte aller Befragten im Mikrozensus 2005 angegeben. Für die insgesamt 46 Befragten wurde im Modell keine Veränderung der Aktivitätendauern und Anzahl Aktivitäten, Reisen und Wege vorhergesagt. Fast alle vorhergesagten Anpassungen finden bei der Abfahrtszeit statt. Insgesamt sind die Veränderungen auch hier nur sehr geringfügig.

*Abb. 79 Reaktionen auf Fallstudie (1): am stärksten betroffene Gemeinden*

| Veränderung | Wettswil | M.-stetten | B.-stetten | Stallikon |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl Befragte | 13 | 13 | 10 | 10 |
| Reisezeitveränderung [min] | -2.01 | -1.15 | -2.37 | -2.25 |
| Erreichbarkeitsveränderung [%] | 3.57 | 3.27 | 3.04 | 2.95 |
| Wahrscheinlichkeit der Anpassung [%] | 0.14 | 0.11 | 0.22 | 0.18 |
| Kompensierte Zeit [min] | -0.77 | -0.17 | -0.84 | -1.58 |
| Anpassung der Abfahrtszeit [min] | 0.77 | 0.17 | 0.77 | 1.58 |
| Anpassung der Aktivitätendauer [min] | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Anpassung der Reisezeit [min] | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.00 |
| Reisezeitdifferenz insgesamt [min] | -2.01 | -1.15 | -2.30 | -2.25 |
| Anpassung der Anzahl Aktivitäten | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Anpassung der Anzahl Reisen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Anpassung der Anzahl Wege | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

### 4.9.3 Elastizitäten

Zur Plausibilisierung der Modellergebnisse und zum Vergleich mit den langfristigen Elastizitäten aus dem ersten Teil des Projekts, für welche die Eingangsvariable die Erreichbarkeit einer Gemeinde ist, wurden die Veränderungen dieser Erreichbarkeiten aufgrund der in den Szenarien eingeführten Reisezeitveränderungen, und die daraus resultierenden kurzfristigen Elastizitäten, berechnet.

Das Vorgehen für die Berechnung der Nachfrageelastizitäten ist hier wie folgt:

- Aus dem Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) der Schweiz werden die Reisezeitenmatrizen im Ist-Zustand, und die daraus resultierenden Erreichbarkeiten im Ist-Zustand, berechnet.

- Die Veränderungen werden im Netzmodell eingeführt, und daraus die Reisezeitenmatrizen und die daraus resultierenden neuen Erreichbarkeiten für das Szenario berechnet.

- Die Reisezeiten im Ist-Zustand und im Szenario werden den berichteten Wegen im Mikrozensus 2005 zugespielt. Daraus wird für jeden berichteten Weg die Reisezeitveränderung berechnet. Alle im Mikrozensus 2005 berichteten Wege und Aktivitäten werden dann zu Tagesplänen aggregiert, welche dasselbe Datenformat besitzen wie die Daten der *Stated Adaptation* Befragung.

- Durch die Anwendung der in Kapitel 4.8 vorgestellten Modelle werden die erwarteten Nachfragereaktionen der im Mikrozensus 2005 befragten Personen erstellt.

- Die Erreichbarkeitsveränderungen werden den Verhaltensänderungen gegenübergestellt. Die Elastizität wird dann berechnet als mittlere relative Veränderung der betrachteten Verhaltensvariablen geteilt durch die mittlere relative Veränderung der Erreichbarkeit für alle Personen im Mikrozensus 2005.

Die Elastizitäten sind für jene Variablen, für welche ein direkter Vergleich zwischen dem ersten und dem zweiten Teil des Projekts möglich ist, aus *Abb. 80* ersichtlich. Die kurzfristigen Elastizitäten aus dem zweiten Teil beziehen sich hier auf mobile Personen (welche befragt wurden), womit keine Elastizität für den ausser-Haus-Anteil angegeben wer-

den kann.

*Abb. 80 Kurz- und langfristige Erreichbarkeitselastizitäten*

| Elastizität | Kurzfristig | Langfristig |
|---|---|---|
| Ausser-Haus-Anteil | - | 0.61 |
| Anzahl Wege | 0.37 | 0.44 |
| Anzahl Wege pro Reise | 0.07 | 0.24 |
| Ausser-Haus-Dauer | -0.23 | 0.10 |

Hier zeigt sich, dass für diejenigen Variablen, welche zwischen den Teilen 1 und 2 verglichen werden können und welche in der Tabelle beispielhaft aufgezeigt sind („langfristig" sind hier die Elastizitäten, welche aus den *Structural Equation Modell*en aus den Auswertungen im ersten Teil resultieren und in *Abb. 31* aufgezeigt sind), aus den hier getätigten Auswertungen plausible Werte resultieren:

- Trotz der sehr geringen Gesamteffekte, welche oben gezeigt werden, sind die Elastizitäten bezogen auf die Erreichbarkeitsveränderungen substantiell; hier greift wieder das Argument, dass diese Erreichbarkeitssteigerungen selbst unter den sehr grosszügigen hier getroffenen Annahmen bezüglich der Reisezeitveränderungen im Bevölkerungsmittel sehr gering sind.

- Die kurzfristigen Elastizitäten sind geringer als die langfristigen; Verhaltensanpassungen werden also wie erwartet nicht sofort, sondern erst im langfristigeren Planungsprozess, umgesetzt.

- Insbesondere bei der Anpassung der Anzahl Wege pro Reise ist der kurzfristige Effekt viel geringer als der langfristige; daraus kann geschlossen werden, dass über die zusätzlichen Wege zunächst noch viele Zusatzwege zum Wohnort zurückgelegt werden, die Anzahl der Reisen also ebenso schnell steigt wie jene der Wege. Erst langfristig werden die zusätzlichen Wege und Aktivitäten effizient in bestehende Wegeketten eingegliedert, wodurch die Anzahl Rückkehren nach Hause dann weniger stark zunimmt.

- Was die ausser Haus verbrachte Dauer betrifft, so wird gemäss der Natur des hier vorgestellten Experiments jede gewonnene Zeit (welche in einer Erhöhung der Erreichbarkeit resultiert) zunächst in zusätzliche Dauer zu Hause, also gerade weniger ausser Haus verbrachte Zeit, umgesetzt. Daher ist in der kurzfristigen Analyse das Vorzeichen der Elastizität für die entsprechende Nachfragedimension negativ.

  Aussagekräftiger dürfte hier jedoch die langfristige Elastizität sein, welche unbeeinflusst von der Konfiguration der Befragung ist und die zusätzliche Zeitnutzung ausweist, welche Erreichbarkeitsgewinne erlauben (wenngleich diese auch langfristig mit einer Elastizität von 0.1 sehr gering ist, also im Wesentlichen von einem konstanten Zeitbudget ausgegangen werden kann).

- Für den Ausser-Haus-Anteil kann keine kurzfristige Elastizität angegeben werden, da nur mobile Personen befragt wurden und somit keine weitere Steigerung des Ausser-Haus-Anteils möglich ist.

## 4.10 Zwischenfazit

Im zweiten Teil des Projekts wurde untersucht, welche kurzfristigen Effekte bei Veränderungen des Verkehrsangebots und den damit einhergehenden Reisezeitveränderungen zu erwarten sind. Hier zeigt sich, dass die Teilnehmenden an der Befragung zwar Reak-

tionen auf die ihnen vorgelegten Szenarien angeben, hierbei jedoch sehr selektiv vorgehen. Die prominentesten Anpassungen der berichteten Tagespläne beschränken sich auf eine Anpassung der Abfahrtszeit von zu Hause, um zur gewünschten Zeit am Ort der ersten Aktivitätsausübung einzutreffen. Ebenfalls häufig wird die gewonnene bzw. verlorene Reisezeit durch Anpassungen bei den Wegen selber kompensiert, also über Veränderungen der Verkehrsmittel- oder Zielwahl.

Auf der anderen Seite zeigt sich, dass die Reaktionen, welche zentral für Effekt des induzierten Verkehrs wären, also zusätzlich durchgeführte oder weggelassene Aktivitäten, Wege und Reisen, trotz der teilweise sehr starken Eingriffe in die Tagespläne nur in sehr wenigen Fällen als gangbare Alternative angesehen werden. In einigen Beispielen der Modellanwendung konnte gezeigt werden, dass die Modellergebnisse die Existenz solcher Effekte nur sehr geringfügig, und sehr lokalisiert, aufzeigen.

Es kann darauf geschlossen werden, dass Verkehrsteilnehmer kurzfristig in ihrem Verhalten eher träge und resistent gegen grosse Veränderungen sind, was die hier betrachteten relevanten Variablen der Verkehrserzeugung anbelangt. Die im zweiten Teil ermittelten Strukturen der Tagespläne bleiben in sich ähnlich, während Anpassungen des Verhaltens bei der Wahl der Abfahrtszeit (welche die Verteilung der Nachfrage über den Tag, nicht jedoch deren Gesamtmenge beeinflusst), der Verkehrsmittelwahl (also Umsteigeeffekte, welche in früheren Studien detailliert und umfangreich erfasst sind) und der Zielwahl (welche als einziges Effekte des induzierten Verkehrs im Sinne der Veränderung der Weglängenverteilung mit sich bringt) stattfinden. Es besteht die Möglichkeit, dass diese Trägheit teilweise auf die Befragungsmethodik zurückzuführen ist, die Befragten also nach einfachen Wegen suchen, komplexeren Überlegungen zur tatsächlichen Anpassungen ihrer Tagespläne aus dem Weg zu gehen. Übertragen auf reales Planungsverhalten zeigt dies jedoch auch, dass sich kurzfristige Anpassungen in der Regel weniger lohnen als solche im langfristigen Planungshorizont. Es ist also nicht auszuschliessen, dass ein Teil der Trägheit des Verhaltens der befragten Personen durch die Rahmenbedingungen der Befragung begründet ist. Insbesondere die negative kurzfristige Elastizität für die ausser Haus verbrachte Zeit ist wie im vorangehenden Abschnitt beschrieben direkt auf die Formulierung des Experiments zurückzuführen.

Durchschnittlich wird immerhin ein Fünftel der gewonnenen Reisezeit in zusätzliches Reisen re-investiert; dies ist teilweise auf Effekte der erwähnten Verkehrsmittelwahl, teilweise jedoch auch auf die hier nicht detailliert modellierte Zielwahl, zurückzuführen. Ein Teil der Bevölkerung würde also bei Verkürzungen der Reiszeit, bzw. bei Erhöhungen der Geschwindigkeiten, weitere Wege in Betracht ziehen. Auf diesem Niveau ist also ein Effekt der induzierten Nachfrage zu sehen, welcher jedoch nur schwer quantifizierbar ist.

Insgesamt konnten im zweiten Teil die Ergebnisse aus dem ersten Teil des Projekts, also der aggregierten Analyse, bestätigt werden. Hier wurden zwar substantielle Reaktionen in der Verkehrserzeugung gemessen, jedoch nachgewiesen, dass die für die Auslösung dieser Effekte notwendige Erhöhung der allgemeinen Erreichbarkeiten in absehbarer Zukunft nur sehr gering sein dürfte.

# 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsauftrages konnte gezeigt werden, dass Reduktionen der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme insgesamt eine höhere Mobilität der Verkehrsteilnehmenden induzieren. Dies wird durch die in beiden Projektteilen erzielten Modellergebnisse und insbesondere die signifikanten Effekte veränderter Erreichbarkeiten, welche zur Abbildung der generalisierten Kosten verwendet wurden, bestätigt. Dieser substantielle Neuverkehr auf den oberen Ebenen der Verkehrsnachfrage ist sicher ein interessanter Umstand, der unseres Wissens in dieser Form bisher noch nicht nachgewiesen worden ist.

Wie im Bericht mehrmals erwähnt ist die globale Steigerung der Erreichbarkeiten, und somit auch die erwartete Nachfragewirkung für diejenigen Dimensionen der Verkehrsnachfrage, welche über die ermittelten Elastizitäten abgebildet werden können, bei lokalen Projekten sehr gering, im unmittelbaren Umfeld solcher Massnahmen sind Erreichbarkeitssteigerungen im Bereich von bis zu mehreren Prozent jedoch durchaus denkbar.

Zur Abschätzung der im Rahmen dieses Projekts untersuchten Effekte für lokale Projekte sei empfohlen, als Näherung die in diesem Bericht ausgewiesenen langfristigen Nachfrageelastizitäten und das Anwendungsverfahren, welches in Absatz 3.9, bzw. im Merkblatt in Anhang III beschrieben ist, zu verwenden. Diese Elastizitäten erlauben eine grobe Abschätzung der Nachfrageeffekte, welche sich aus einer Massnahme und den daraus resultierenden Reisezeit- und Erreichbarkeitsveränderungen ergeben würden.

Als Stärkung. bzw. zur Bestätigung, der hier vorgestellten Ergebnisse, sei noch die Möglichkeit einer tatsächlichen vorher-nachher-Analyse eines spezifischen Ausbauprojektes genannt. So wurden beispielsweise im Rahmen des SVI-Projektes „Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr“ eine solche Erhebung für die Eröffnung der Westumfahrung Zürich, bzw. des dazugehörigen Uetlibergtunnels, durchgeführt. Der Vergleich der berichteten Verhaltensdaten der Teilnehmenden an dieser Befragung vor und nach der Eröffnung der Umfahrung würde zusätzlichen Aufschluss darüber geben können, ob die hier vorgestellten Modelle sich tatsächlich im realisierten Verhalten widerspiegeln, und zur Validierung der Ergebnisse beitragen.

Für diesen Vergleich könnte das detaillierte Verfahren aus Teil 2 (unter der Berücksichtigung des sich verändernden Angebots) auf die vor der Massnahme berichteten Tagespläne angewendet werden. Die so berechneten erwarteten neuen Tagespläne könnten dann den tatsächlich berichteten nach der Realisierung der Massnahme gegenübergestellt werden, um so eine Beurteilung der Vorhersagequalität des Modells zu tätigen. Allenfalls könnten auf dieser Ebene auch grobe Aussagen über Effekte bei der Ziel- und Verkehrsmittelwahl getätigt werden.

Aus einer ersten Besprechung des Projektbearbeiters mit den Bearbeitern des genannten SVI-Projekts ergab sich, dass die tatsächlich realisierten (bzw. berichteten) Verhaltensänderungen auf dem Niveau der Verkehrserzeugung jedoch auch bei einem Projekt eines solchen Umfangs (und den im Vorfeld geführten politischen Diskussionen zu den Wirkungen der daraus resultierenden Reisezeitveränderungen) sehr gering ausfallen. Dies bestätigt wiederum die Ergebnisse aus den Kapiteln 3.9 und 4.9, in welchen beispielhaft konkrete Fallstudien untersucht wurden und auf der Grundlage der dort verwendeten Methoden ebenfalls nur geringe Veränderungen der Nachfrage vorhergesagt werden konnten.

Abschliessend bleibt festzuhalten, dass die im Vorfeld des Projekts getätigten Hypothesen, dass bei Verbesserungen des Verkehrsangebots ein signifikanter Effekt der induzierten Nachfrage existiert, im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsauftrags bestätigt werden konnten.

# 6 Dank

Den folgenden Personen gebührt der Dank der Projektbearbeiter für die Unterstützung bei der Umsetzung der Arbeiten:

- den Mitgliedern der Begleitgruppe: Michel Simon (Präsident), Stefan Dasen, Helmut Honermann, Samuel Waldvogel und René Zbinden;
- Dr. Chandra Bhat, welcher uns seine Software zur Schätzung von MDCEV-Modellen grosszügigerweise zur Verfügung gestellt hat;
- Prof. Michel Bierlaire, für die freie Verfügbarkeit der Software *Biogeme* zur Schätzung diskreter Entscheidungsmodelle;
- Christoph Dobler, der für die Programmierung sämtlicher für die Online-Befragung und die Haushaltsinterviews benötigten Software-Tools zuständig war;
- den Befragern und Befragerinnen, welche die Teilnehmenden telefonisch rekrutiert, die Papierfragebögen eingegeben und die Haushaltsinterviews durchgeführt haben, namentlich Sarah Brack, Manuela Hess, Rolf Hug, Tina Lohfing, Ana Pajovic, Alessandra Pellegrini und Janira Perrotta.

# Anhänge

**I Verkehrstagebuch: schriftlicher Fragebogen ... 109**
I.1 Einleitungstext ... 111
I.2 Fragen zum Haushalt ... 112
I.3 Fragen zur Person ... 113
I.4 Fragen zu den Wegen ... 115
I.5 Kommentare ... 120
**II Verkehrstagebuch: Online-Fragebogen ... 121**
II.1 Einleitungstext ... 123
II.2 Fragen zum Haushalt ... 124
II.3 Fragen zur Person ... 125
II.4 Wege-Übersicht ... 126
II.5 Wege-Eingabe ... 127
**III SVI-Merkblatt „Induzierter Verkehr“ ... 129**
III.1 Anlass ... 129
III.2 Verwendete Methodik ... 129
III.3 Ergebnisse ... 130
III.4 Anwendung der Ergebnisse ... 130
III.5 Anwendungsbeispiel ... 132
III.6 Literatur ... 133

# I Verkehrstagebuch: schriftlicher Fragebogen

Dieses Kapitel beinhaltet ein Beispiel eines Fragebogens, wie er den Befragten zugestellt wurde; er besteht aus einem Einleitungstext, Fragen zum Haushalt und zur Person, zu den zurückgelegten Wegen, und gibt den Befragten abschliessend die Gelegenheit, allgemeine Kommentare anzubringen.

# I.1 Einleitungstext

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IVT Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Institute for Transport Planning and Systems

Prof. Dr. Kay W. Axhausen
IVT, ETH Zürich
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
8093 Zürich

Herr XXX
Strasse, Hausnummer
PLZ, Ort

Zürich, den 12. April 2011

Sehr geehrter Herr XXX

Vor einigen Tagen haben wir Sie angerufen, und Sie haben eingewilligt an unserer Befragung zu Ihrem Verkehrsverhalten teilzunehmen. Dafür möchten wir uns bereits jetzt ganz herzlich bei Ihnen bedanken!

Auf den folgenden Seiten finden Sie Ihre Befragungsunterlagen. Diese sind in 3 Teile gegliedert:

- allgemeine Angaben zu Ihrem Haushalt;
- Angaben zu den einzelnen Mitgliedern Ihres Haushalts (ein Fragebogen pro Teilnehmer über 18 Jahre);
- Angaben zu den Wegen und Aktivitäten, welche die erwachsenen Mitglieder Ihres Haushalts im Laufe der Ihnen zugeteilten Tage unternommen haben. Der Zeitraum beinhaltet die 5 angegebenen Tage.

Wir möchten Sie bitten, die Anleitungen zu den einzelnen Blöcken jeweils genau durchzulesen und die entsprechenden Fragen dann so genau wie möglich zu beantworten.

Den ausgefüllten Fragebogen können Sie uns im beigelegten Couvert zurückschicken; **dieses ist bereits vorfrankiert**.

Nachdem wir Ihre Fragebögen zurückerhalten haben, werden wir Ihre Tagesabläufe auswerten und daraus auf Ihre Situation zugeschnittene computergestützte Simulationen erstellen. Diese dienen als Grundlage für eine Untersuchung, welche wir zu einem vereinbarten Termin in persönlichen Gesprächen mit Ihrem Haushalt durchführen möchten. Das Ziel ist es hierbei, zu ermitteln wie Ihr Haushalt auf Veränderungen der alltäglichen Rahmenbedingungen der Verkehrs- beziehungsweise Aktivitätenteilnahme reagiert – welche Faktoren bewegen Menschen dazu, an Aktivitäten ausserhalb ihres Wohnortes (Arbeit, Einkauf, Freizeit, ...) teilzunehmen, und wie erzeugt die Teilnahme an diesen Aktivitäten Verkehr?

Für dieses persönliche Gespräch sehen wir eine Dauer von ca. 45 Minuten vor. Wir werden Sie bitten, Ihre angegebenen Tagespläne an eine sich neu ergebende Situation anzupassen. Diese Simulationen stellen eine grundlegende Verbesserung der Modelle der Verkehrsnachfrage, welche an unserem Institut erstellt werden, dar. Die Modelle dienen zur Vorhersage der zukünftigen Verkehrsnachfrage und haben somit einen Einfluss darauf, wie der Verkehr in Zürich im Interesse der Einwohner gestaltet werden kann.

Ihre Teilnahme an dieser Befragung ist natürlich freiwillig. Ihre Angaben werden streng vertraulich und anonym behandelt. In diesem Projekt geht es ausschliesslich darum, statistische Zusammenhänge aufzudecken. Eine Zuordnung der Daten zu einzelnen Personen wird nicht möglich sein.

Um Sie für den Aufwand zu entschädigen, der Ihnen für die Teilnahme an unserer Studie entsteht, werden wir Ihnen anlässlich unseres Besuchs pro teilnehmende Person einen Betrag von 20.- CHF auszahlen.

Wir bedanken uns nochmals für Ihren wertvollen Beitrag zum Gelingen unseres Forschungsprojekts!

Mit freundlichen Grüssen

Prof. Dr. Kay W. Axhausen, IVT, ETH Zürich

## I.2 Fragen zum Haushalt

Haushaltsfragebogen

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wohnadresse: | Strasse | | Hausnummer |
| | PLZ | | Ort |
| Welche der folgenden Einrichtungen können Sie innerhalb von 10 Minuten von zu Hause aus zu Fuss erreichen? | ☐ Schule<br>☐ Arzt<br>☐ Bank<br>☐ Post<br>☐ Supermarkt<br>☐ Bus- / Tramhaltestelle<br>☐ Bahnhof | | |
| Besitzen Sie einen Zweitwohnsitz? | ☐ nein<br>☐ ja, Adresse: | Str. | Hausnr. |
| | | PLZ | Ort |
| Wie viele Personen wohnen in Ihrem Haushalt? | ____ Kinder / Jugendliche unter 18 Jahren<br>____ Erwachsene über 18 Jahre | | |
| Wie viele der folgenden Verkehrsmittel besitzt Ihr Haushalt? | ____ Personenwagen<br>____ motorisierte Zweiräder<br>____ Fahrräder | | |
| Wie hoch ist das Brutto-Einkommen pro Monat des gesamten Haushalts? | ☐ unter 2'000.- CHF<br>☐ zwischen 2'000.- und 4'000.- CHF<br>☐ zwischen 4'000.- und 6'000.- CHF<br>☐ zwischen 6'000.- und 8'000.- CHF<br>☐ zwischen 8'000.- und 10'000.- CHF<br>☐ zwischen 10'000.- und 12'000.- CHF<br>☐ zwischen 12'000.- und 14'000.- CHF<br>☐ zwischen 14'000.- und 16'000.- CHF<br>☐ über 16'000.- CHF | | |

## I.3 Fragen zur Person

Fragebogen für Person: _____ (Vorname)

| | |
|---|---|
| Sind Sie...? | ☐ männlich<br>☐ weiblich |
| Wann sind Sie geboren? | Monat ..... Jahr ..... |
| Welche Staatsbürgerschaft besitzen Sie? | ☐ Schweizer / -in<br>☐ andere, und zwar: ..... |
| Welchen Zivilstand haben Sie? | ☐ ledig<br>☐ verheiratet<br>☐ verheiratet, in Trennung lebend<br>☐ geschieden<br>☐ verwitwet |
| Welchen Ausbildungsabschluss haben Sie als Letztes erworben? | ☐ Primar- oder Grundschulabschluss<br>☐ Hauptschulabschluss<br>☐ Sekundar- oder Realschulabschluss<br>☐ Maturität / Abitur<br>☐ Lehrabschluss<br>☐ Fachhochschulabschluss<br>☐ Universitäts- / Hochschulabschluss<br>☐ sonstige, und zwar: ..... |
| Was ist Ihre momentane berufliche Stellung? | ☐ in Ausbildung<br>☐ berufstätig, als: .....<br>☐ auf Arbeitssuche<br>☐ im eigenen Haushalt beschäftigt<br>☐ in Rente<br>☐ erwerbsunfähig |

Bitte wenden! →

| | | |
|---|---|---|
| Wenn Sie berufstätig oder in Ausbildung sind: | | |
| Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie im Durchschnitt bei dieser Tätigkeit? | | |
| Adresse des Arbeits- bzw. Ausbildungsorts: | Str. | Hausnr. |
| | PLZ | Ort |
| Steht Ihnen am Arbeits- bzw. Ausbildungsort | ☐ | nein |
| ein Parkplatz zur Verfügung? | ☐ | ja, Kosten pro Monat: CHF |
| Besitzen Sie einen Führerausweis | ☐ | ja |
| für Personenwagen (Kategorie B)? | ☐ | nein |
| Wie häufig steht Ihnen ein | ☐ | immer |
| Personenwagen zur Verfügung? | ☐ | häufig |
| | ☐ | selten / nach Absprache |
| | ☐ | nie |
| Sind Sie Mitglied einer Car-Sharing-Organisation? | ☐ | ja |
| (z.B. Mobility) | ☐ | nein |
| Besitzen Sie eines oder mehrere der | ☐ | Generalabonnement (GA) |
| folgenden Abonnemente für den | ☐ | Halbtax-Abonnement |
| öffentlichen Verkehr? | ☐ | Gleis 7 |
| | ☐ | Monatskarte (z.B. ZVV NetzPass) |
| | ☐ | Jahreskarte (z.B. ZVV NetzPass) |
| | ☐ | Mehrfahrtenkarte |
| | ☐ | Streckenabonnement |
| | ☐ | sonstige, und zwar: |

# I.4 Fragen zu den Wegen

## Wegetagebuch für die Tage:
## 11. September bis 15. September

Hier möchten wir Sie bitten, über alle Wege, welche Sie in der Woche zwischen Samstag, dem 11. September und Mittwoch, dem 15. September zurücklegen, Buch zu führen. Geben Sie bitten am oberen Rand des Fragebogens jeweils an, auf welchen Wochentag die Angaben sich beziehen.

### Haben Sie an einem oder mehreren Tagen das Haus nicht verlassen?

Es kommt sicherlich vor, dass Sie das Haus, in dem Sie wohnen, an einem bestimmten Tag überhaupt nicht verlassen. Sollte dies in der vorliegenden Woche der Fall sein, so kreuzen Sie den oder die entsprechenden Tage bitte in der folgenden Liste an und geben Sie jeweils auch den **Grund für Ihr Zuhausebleiben** an.

| | | |
|---|---|---|
| ☐ Samstag, den 11. September | Grund: | |
| ☐ Sonntag, den 12. September | Grund: | |
| ☐ Montag, den 13. September | Grund: | |
| ☐ Dienstag, den 14. September | Grund: | |
| ☐ Mittwoch, den 15. September | Grund: | |

Bitte wenden! →

## Erläuterungen zu den einzelnen Feldern:

| | |
|---|---|
| Startzeit | Geben Sie an, um wie viel Uhr der Weg begonnen hat. |
| Verkehrsmittel | Kreuzen Sie **alle** Verkehrsmittel an, welche Sie für das Zurücklegen der Wegstrecke verwendet haben, und geben Sie jeweils an, wie lange Sie dafür gebraucht haben. Beachten Sie bitte, dass auch Etappen zu Fuss, z.B. vom Parkplatz oder der ÖV-Haltestelle zum Ziel, berücksichtigt werden sollten. |
| Wartezeit | Geben Sie an, wie viel Zeit Sie unterwegs mit Warten (auf Verkehrsmittel oder andere Personen) verbracht haben. |
| Ankunftszeit | Geben Sie an, um wie viel Uhr Sie am Zielort angekommen sind. |
| Gesamtdistanz | Versuchen Sie, die zurückgelegte Distanz so genau wie möglich zu schätzen. |
| Ziel des Weges | Geben Sie die Adresse des Zielortes so genau wie möglich an. Sie können auch den Namen der Lokalität angeben, z.B. Hauptbahnhof Zürich. |
| Zweck des Weges | Geben Sie an, was Sie am Zielort unternommen haben (siehe auch Beispiele auf der folgenden Seite). |
| Anzahl Begleitpersonen | Geben Sie an, wie viele Mitglieder Ihres Haushalts und andere Personen Sie<br>• auf dem Weg<br>• bei der Aktivität am Zielort<br>begleitet haben. |
| Planungshorizont | Geben Sie an, wie weit im Voraus Sie diese Aktivität geplant hatten. |

## Bemerkung:

Ein **Weg** beschreibt immer nur die Fahrt zu einem einzigen Ort, mit dem Ziel dort eine Aktivität durchzuführen. Ortswechsel zurück zum Ausgangsort (also beispielsweise nach Hause) sind sinngemäss als separater Weg zu betrachten und sollten somit auch zusätzlich angegeben werden.

## Beispiele für Wegzwecke:

Für jeden zurückgelegten Weg werden Sie gebeten, genau **einen** Zweck anzugeben. Die folgenden Beispiele sollen Sie dabei unterstützen, Ihren Weg der richtigen Kategorie zuzuordnen. Wenn Sie keine passende Kategorie finden, so geben Sie bitte den Zweck des Weges unter „sonstige" an.

| | |
|---|---|
| Rückkehr nach Hause<br>→ von ausserhalb<br><br>Jemanden abholen / bringen<br>→ Bahnhof, Flughafen<br>→ Kindergarten, Schule<br>→ Arzt, Krankenhaus<br>→ Sport-, Einkaufsstätte<br>→ etc.<br><br>Arbeit / Ausbildung<br>→ Arbeitsort<br>→ Ausbildungsort | Erledigung / Dienstleistung<br>→ Behörden, Ämter<br>→ Post, Briefkasten<br>→ Friseur, Kosmetik<br>→ Arzt, Massage<br>→ Optiker<br>→ Reparaturdienste<br>→ Schumacher, Schneider, Textilreinigung<br>→ Autowerkstatt<br>→ Tankstelle<br>→ Reisebüro<br>→ Fotograf<br>→ etc. |
| Einkauf (täglicher Bedarf)<br>→ Lebensmittel, Getränke<br>→ Hygieneartikel<br>→ Putz- / Reinigungsmittel<br>→ Zigaretten, Zigarren, Tabak<br>→ Zeitungen, Zeitschriften<br>→ Medikamente<br>→ etc.<br><br>Einkauf (langfristiger Bedarf)<br>→ Kleidung, Schuhe<br>→ Haushalts-, elektronische Geräte<br>→ Möbel, Einrichtung, Dekoration<br>→ Sportartikel, Fahrräder<br>→ Bau-, Heimwerker-, Gartenbedarf<br>→ Geschirr<br>→ CD's, Bücher, Schreibwaren<br>→ etc. | Freizeit<br>→ private Treffen oder Besuche<br>→ Kino, Theater, Konzert, Museum<br>→ Restaurant, Café, Kneipe<br>→ eigene sportliche Tätigkeit<br>→ Schwimmbad<br>→ Besuch einer Sportveranstaltung<br>→ Spaziergang, Hund ausführen<br>→ Gartengrundstück, Schrebergarten<br>→ Park, Zoo, Erholungsgebiet<br>→ Ausflüge, Radtouren<br>→ Messen, Ausstellungen, Jahrmärkte<br>→ Kirchgang<br>→ Krankenbesuche<br>→ etc. |

Wegetagebuch für: ☐ Mo ☐ Di ☐ Mi ☐ Do ☐ Fr ☐ Sa ☐ So

| Weg Nr. | 1 | 2 |
|---|---|---|
| Startzeit | : Uhr | : Uhr |
| Verkehrsmittel | ☐ zu Fuss ____ Minuten<br>☐ Fahrrad ____ Minuten<br>☐ Motorrad ____ Minuten<br>☐ Auto (Fahrer) ____ Minuten<br>☐ Auto (Mitfahrer) ____ Minuten<br>☐ Tram / Bus ____ Minuten<br>☐ Bahn ____ Minuten<br>☐ Sonstige ____ Minuten<br>Wartezeit ____ Minuten | ☐ zu Fuss ____ Minuten<br>☐ Fahrrad ____ Minuten<br>☐ Motorrad ____ Minuten<br>☐ Auto (Fahrer) ____ Minuten<br>☐ Auto (Mitfahrer) ____ Minuten<br>☐ Tram / Bus ____ Minuten<br>☐ Bahn ____ Minuten<br>☐ Sonstige ____ Minuten<br>Wartezeit ____ Minuten |
| Ankunftszeit | : Uhr | : Uhr |
| Gesamtdistanz | ____ Kilometer | ____ Kilometer |
| Ziel des Weges (Adresse) | Str. ____ Hausnr. ____<br>PLZ ____ Ort ____<br>Lokalität ____ | Str. ____ Hausnr. ____<br>PLZ ____ Ort ____<br>Lokalität ____ |
| Wegzweck | ☐ Rückkehr nach Hause<br>☐ Jemanden abholen / bringen<br>☐ Arbeit / Ausbildung<br>☐ Einkauf (täglicher Bedarf)<br>☐ Einkauf (langfristiger Bedarf)<br>☐ Erledigung / Dienstleistung<br>☐ Dienstlich / geschäftlich<br>☐ Freizeit, und zwar: ____<br>☐ Sonstiges, und zwar: ____ | ☐ Rückkehr nach Hause<br>☐ Jemanden abholen / bringen<br>☐ Arbeit / Ausbildung<br>☐ Einkauf (täglicher Bedarf)<br>☐ Einkauf (langfristiger Bedarf)<br>☐ Erledigung / Dienstleistung<br>☐ Dienstlich / geschäftlich<br>☐ Freizeit, und zwar: ____<br>☐ Sonstiges, und zwar: ____ |
| Begleit-personen | Weg / Aktivität<br>____ Haushaltsmitglieder ____<br>____ übrige Personen ____<br>☐ Hund ☐ | Weg / Aktivität<br>____ Haushaltsmitglieder ____<br>____ übrige Personen ____<br>☐ Hund ☐ |
| Planungs-horizont | ☐ Routineaktivität / Weg nach Hause<br>☐ Einen oder mehrere Tage im Voraus<br>☐ Im Laufe des Tages<br>☐ Spontan / gerade eben | ☐ Routineaktivität / Weg nach Hause<br>☐ Einen oder mehrere Tage im Voraus<br>☐ Im Laufe des Tages<br>☐ Spontan / gerade eben |

| Wegetagebuch für: | ☐ Mo | ☐ Di | ☐ Mi | ☐ Do | ☐ Fr | ☐ Sa | ☐ So |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| Weg Nr. | 3 | 4 |
|---|---|---|
| Startzeit | : Uhr | : Uhr |
| Verkehrsmittel | ☐ zu Fuss ____ Minuten<br>☐ Fahrrad ____ Minuten<br>☐ Motorrad ____ Minuten<br>☐ Auto (Fahrer) ____ Minuten<br>☐ Auto (Mitfahrer) ____ Minuten<br>☐ Tram / Bus ____ Minuten<br>☐ Bahn ____ Minuten<br>☐ Sonstige ____ Minuten<br>Wartezeit ____ Minuten | ☐ zu Fuss ____ Minuten<br>☐ Fahrrad ____ Minuten<br>☐ Motorrad ____ Minuten<br>☐ Auto (Fahrer) ____ Minuten<br>☐ Auto (Mitfahrer) ____ Minuten<br>☐ Tram / Bus ____ Minuten<br>☐ Bahn ____ Minuten<br>☐ Sonstige ____ Minuten<br>Wartezeit ____ Minuten |
| Ankunftszeit | : Uhr | : Uhr |
| Gesamtdistanz | ____ Kilometer | ____ Kilometer |
| Ziel des Weges (Adresse) | Str. ____ Hausnr. ____<br>PLZ ____ Ort ____<br>Lokalität ____ | Str. ____ Hausnr. ____<br>PLZ ____ Ort ____<br>Lokalität ____ |
| Wegzweck | ☐ Rückkehr nach Hause<br>☐ Jemanden abholen / bringen<br>☐ Arbeit / Ausbildung<br>☐ Einkauf (täglicher Bedarf)<br>☐ Einkauf (langfristiger Bedarf)<br>☐ Erledigung / Dienstleistung<br>☐ Dienstlich / geschäftlich<br>☐ Freizeit, und zwar: ____<br>☐ Sonstiges, und zwar: ____ | ☐ Rückkehr nach Hause<br>☐ Jemanden abholen / bringen<br>☐ Arbeit / Ausbildung<br>☐ Einkauf (täglicher Bedarf)<br>☐ Einkauf (langfristiger Bedarf)<br>☐ Erledigung / Dienstleistung<br>☐ Dienstlich / geschäftlich<br>☐ Freizeit, und zwar: ____<br>☐ Sonstiges, und zwar: ____ |
| Begleit-personen | Weg / Aktivität<br>____ Haushaltsmitglieder ____<br>____ übrige Personen ____<br>☐ Hund ☐ | Weg / Aktivität<br>____ Haushaltsmitglieder ____<br>____ übrige Personen ____<br>☐ Hund ☐ |
| Planungs-horizont | ☐ Routineaktivität / Weg nach Hause<br>☐ Einen oder mehrere Tage im Voraus<br>☐ Im Laufe des Tages<br>☐ Spontan / gerade eben | ☐ Routineaktivität / Weg nach Hause<br>☐ Einen oder mehrere Tage im Voraus<br>☐ Im Laufe des Tages<br>☐ Spontan / gerade eben |

… weiter bis zu maximal 40 Wegen

# I.5 Kommentare

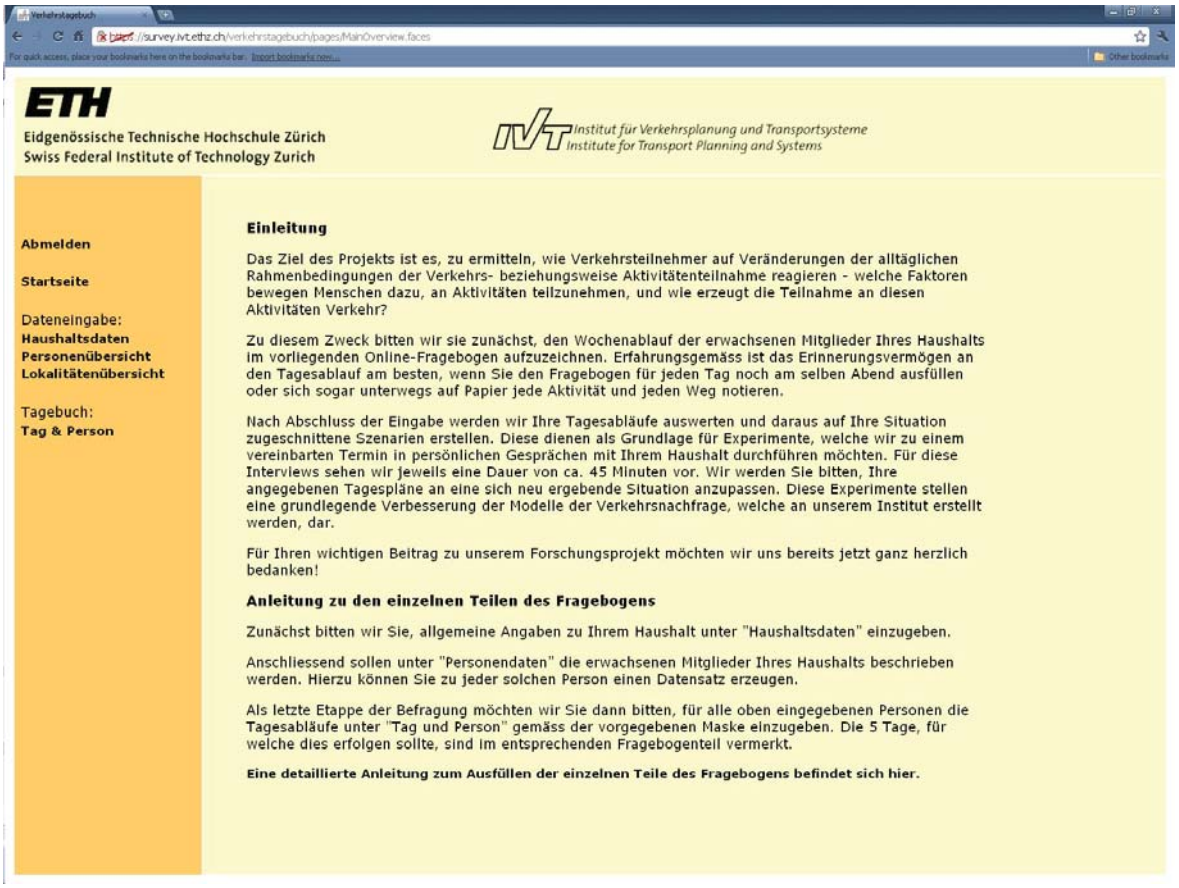
Haben Sie Anmerkungen zum Fragebogen?

Wenn Sie noch ergänzende Angaben zu den Ihnen hier gestellten Fragen haben oder uns generelle Kommentare mitteilen möchten, können Sie dies hier tun.

# II Verkehrstagebuch: Online-Fragebogen

Analog zum vorigen Kapitel werden hier Screenshots der Software für die Online-Verkehrstagebücher gezeigt.

# II.1 Einleitungstext



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IVT Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Institute for Transport Planning and Systems

**Abmelden**

**Startseite**

Dateneingabe:
**Haushaltsdaten**
**Personenübersicht**
**Lokalitätenübersicht**

Tagebuch:
**Tag & Person**

**Einleitung**

Das Ziel des Projekts ist es, zu ermitteln, wie Verkehrsteilnehmer auf Veränderungen der alltäglichen Rahmenbedingungen der Verkehrs- beziehungsweise Aktivitätenteilnahme reagieren - welche Faktoren bewegen Menschen dazu, an Aktivitäten teilzunehmen, und wie erzeugt die Teilnahme an diesen Aktivitäten Verkehr?

Zu diesem Zweck bitten wir sie zunächst, den Wochenablauf der erwachsenen Mitglieder Ihres Haushalts im vorliegenden Online-Fragebogen aufzuzeichnen. Erfahrungsgemäss ist das Erinnerungsvermögen an den Tagesablauf am besten, wenn Sie den Fragebogen für jeden Tag noch am selben Abend ausfüllen oder sich sogar unterwegs auf Papier jede Aktivität und jeden Weg notieren.

Nach Abschluss der Eingabe werden wir Ihre Tagesabläufe auswerten und daraus auf Ihre Situation zugeschnittene Szenarien erstellen. Diese dienen als Grundlage für Experimente, welche wir zu einem vereinbarten Termin in persönlichen Gesprächen mit Ihrem Haushalt durchführen möchten. Für diese Interviews sehen wir jeweils eine Dauer von ca. 45 Minuten vor. Wir werden Sie bitten, Ihre angegebenen Tagespläne an eine sich neu ergebende Situation anzupassen. Diese Experimente stellen eine grundlegende Verbesserung der Modelle der Verkehrsnachfrage, welche an unserem Institut erstellt werden, dar.

Für Ihren wichtigen Beitrag zu unserem Forschungsprojekt möchten wir uns bereits jetzt ganz herzlich bedanken!

**Anleitung zu den einzelnen Teilen des Fragebogens**

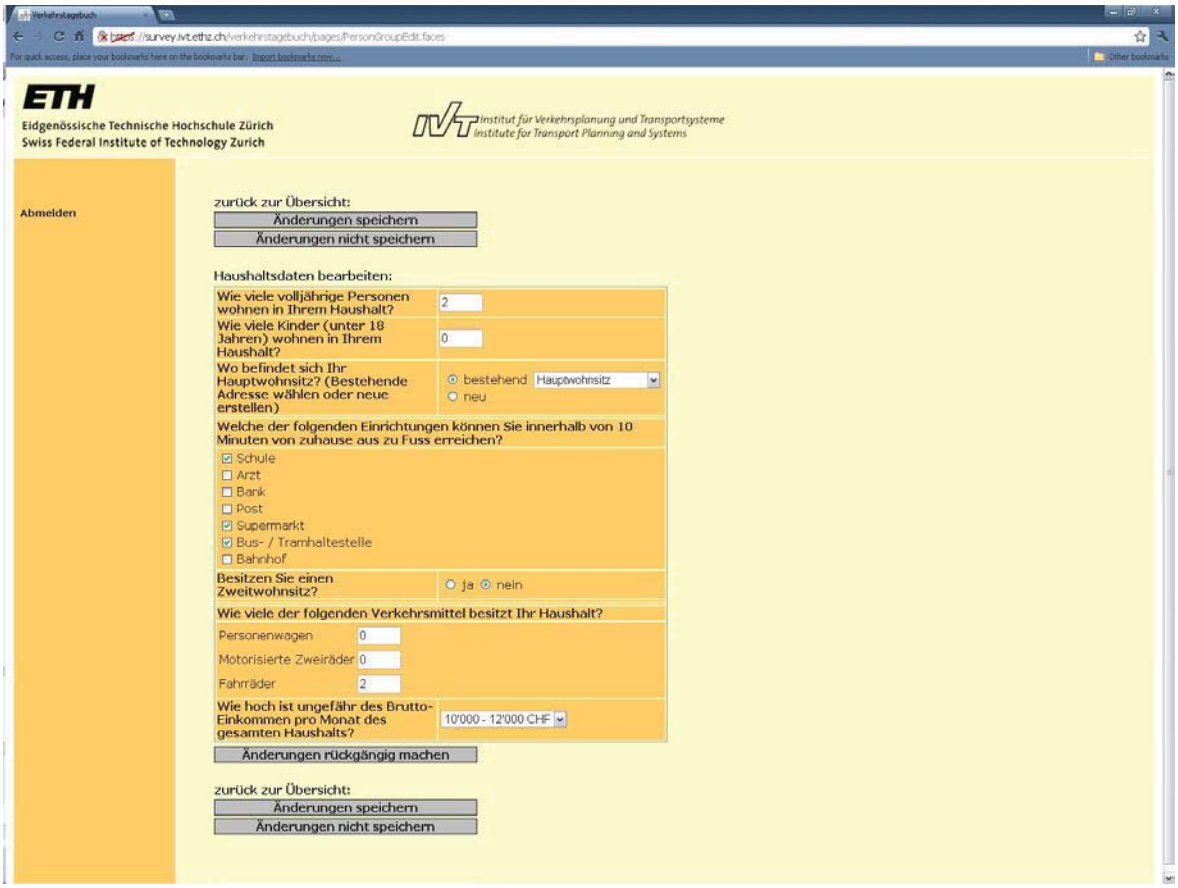
Zunächst bitten wir Sie, allgemeine Angaben zu Ihrem Haushalt unter "Haushaltsdaten" einzugeben.

Anschliessend sollen unter "Personendaten" die erwachsenen Mitglieder Ihres Haushalts beschrieben werden. Hierzu können Sie zu jeder solchen Person einen Datensatz erzeugen.

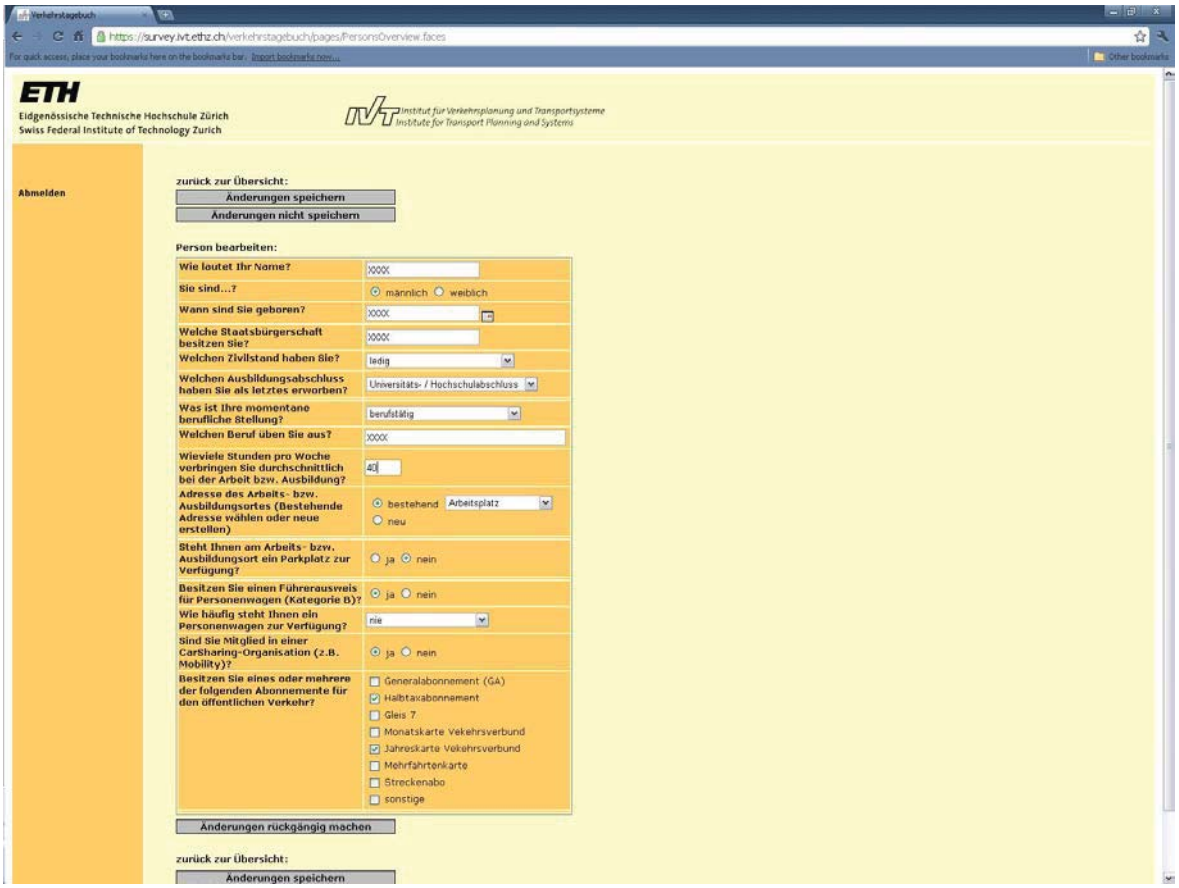
Als letzte Etappe der Befragung möchten wir Sie dann bitten, für alle oben eingegebenen Personen die Tagesabläufe unter "Tag und Person" gemäss der vorgegebenen Maske einzugeben. Die 5 Tage, für welche dies erfolgen sollte, sind im entsprechenden Fragebogenteil vermerkt.

**Eine detaillierte Anleitung zum Ausfüllen der einzelnen Teile des Fragebogens befindet sich hier.**

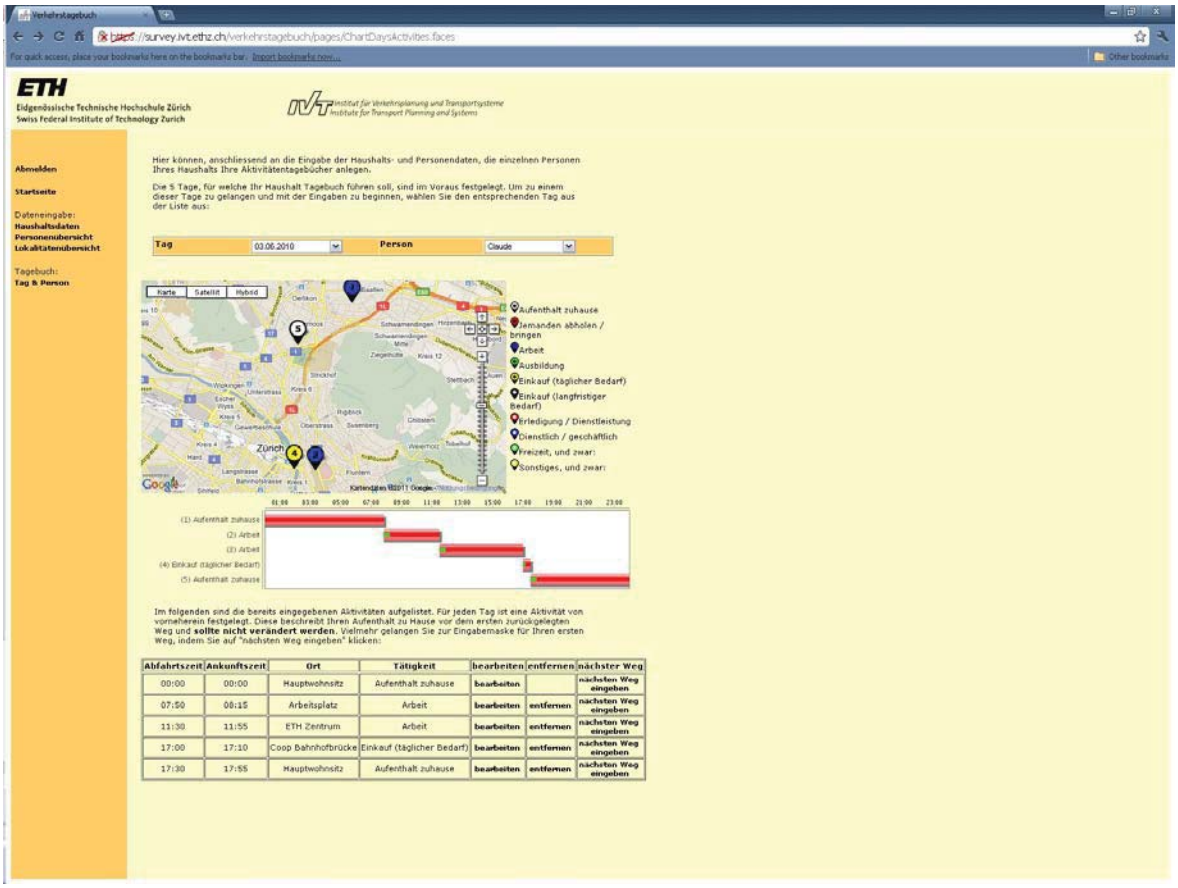
## II.2 Fragen zum Haushalt



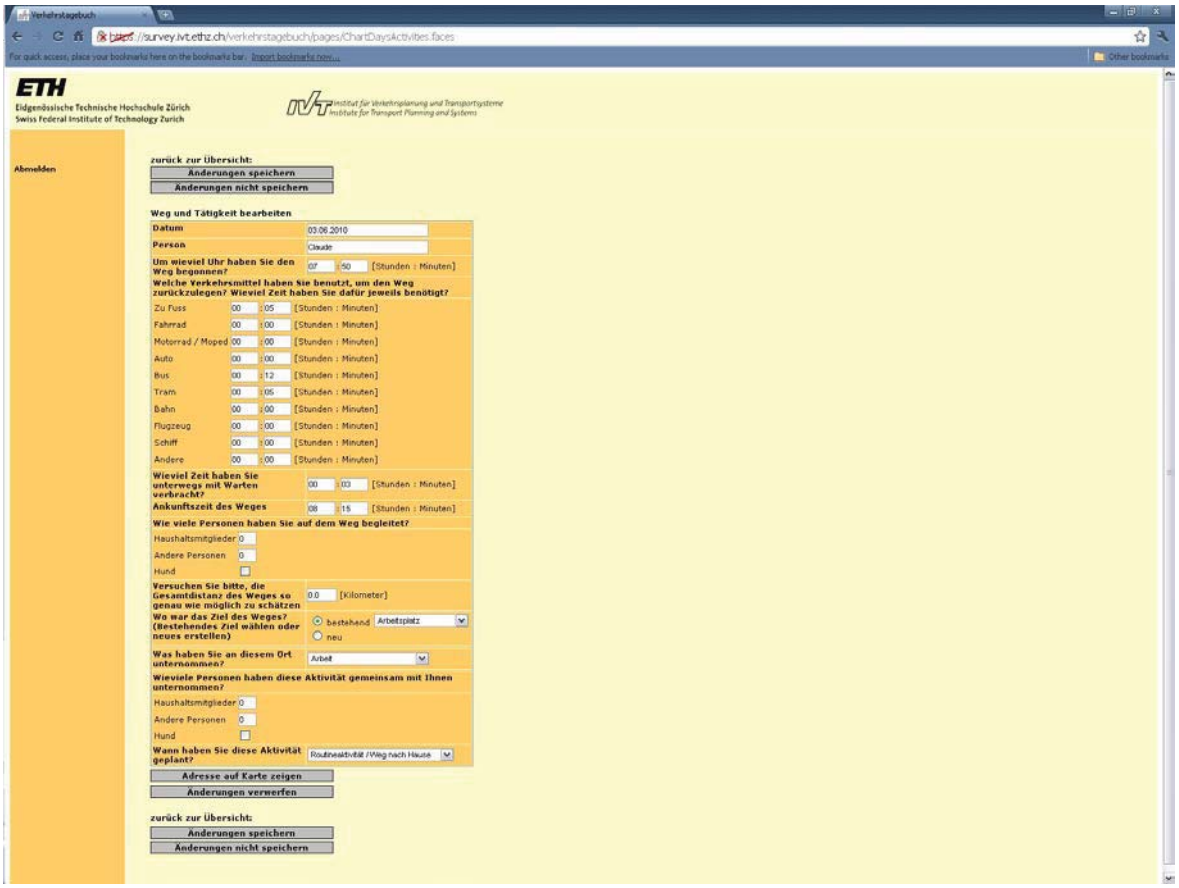
# II.3 Fragen zur Person



## II.4 Wege-Übersicht



# II.5 Wege-Eingabe



# III SVI-Merkblatt „Induzierter Verkehr“

## III.1 Anlass

Im Rahmen des SVI-Projekts „Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs“ (SVI 2004/012; siehe Weis und Axhausen, 2011) wurden verschiedene Ansätze zur Ermittlung der aus Veränderungen des Verkehrssystems resultierenden Nachfrage nach Verkehrsleistungen verfolgt. Im Mittelpunkt stand hierbei die Verkehrserzeugung, also die Frage, wie stark die Verkehrsteilnehmer mit zusätzlichen Aktivitäten und Wegen auf veränderte Reisezeiten reagieren.

Das genannte Projekt konzentriert sich ausdrücklich auf aggregierte Veränderungen in der Verkehrserzeugung – Verkehrsmittel- und Routenwahleffekte wurden nur am Rande, bzw. nicht, berücksichtigt. Auch die Zielwahl wird nicht explizit, sondern nur über die Abschätzung der Veränderungen der zurückgelegten Distanzen, modelliert. Die letzte systematische Durchsicht zu den Elastizitäten der genannten Verhaltensreaktionen (Routenwahl, Verkehrsmittelwahl, Zielwahl) ist Vrtic (2001) bzw. die zugehörige SVI-Studie (Vrtic et al., 2000).

Die im Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse werden im vorliegenden Merkblatt zusammenfassend aufgezeigt, gemeinsam mit Hinweisen, wie diese in der Praxis zur Abschätzung der untersuchten Effekte anzuwenden sind. Die Anwendung betrifft Projekte, welche Reise-zeitveränderungen im motorisierten Individualverkehr (MIV) oder im öffentlichen Verkehr (ÖV) erzeugen.

## III.2 Verwendete Methodik

Im Projekt wurden lang- und kurzfristigen Elastizitäten mit zwei getrennten Ansätzen ermittelt.

Die **langfristigen Nachfrageelastizitäten** (Zeithorizont: Jahre) wurden mit einem *Structural Equation Modell* (SEM) errechnet, einem Ansatz ähnlich einer linearen Regression, welcher jedoch die simultane Schätzung von Modellen für mehrere abhängige Variablen, und auch deren gegenseitiger Beeinflussung, zulässt.

Als zentrale Einflussvariable bei der Schätzung dieser Modelle, und auch bei deren Anwendung, wird die **Erreichbarkeit** einer Zone (Definition siehe unten), im vorliegenden Fall einer Gemeinde, verwendet. Es konnte unter Berücksichtigung aller anderen relevanten Variablen aufgezeigt werden, welchen Einfluss Steigerungen dieser Erreichbarkeit auf die im Projekt interessierenden Dimensionen der Verkehrsnachfrage haben:

- die Wahrscheinlichkeit, ausser Haus zu gehen;
- die Anzahl zurückgelegter Wege;
- die Anzahl Wege pro Reise (Abfolge von Wegen mit Start und Ziel am Wohnort) als Indikator der Verkettung von Wegen;
- die Gesamtdauer der ausser Haus durchgeführten Aktivitäten;
- und die insgesamt an einem Tag zurückgelegte Distanz.

Als Grundlage für die Schätzung der Modelle wurden verschiedene Datenquellen verwendet:

- die Mikrozensen Verkehr von 1974 bis 2005, aus welchen die Mobilitätsvariablen sowie die soziodemographischen Eigenschaften der Verkehrsteilnehmer abgeleitet wurden;

- Zeitreihen über Preisindizes im Personenverkehr seit 1970, als monetäre Einflussgrösse;
- und Daten über die Entwicklung der Erreichbarkeiten der Schweizer Gemeinden seit 1970.

Die Daten der verschiedenen Mikrozensus-Datensätze wurden zu sogenannten *Pseudopanels* zusammengefasst, in welchen die Befragten jeweils nach Geburtsjahr, Geschlecht und Sprachregion einer Kohorte zugeordnet wurden und diese Kohorten dann im Modell als Individuen angesehen wurden.

Für die Ermittlung der **kurzfristigen Nachfrageelastizitäten** wurde ein komplexer Befragungsansatz gewählt, welcher Anpassungen der Tagespläne von Personen als Reaktion auf veränderte Reisezeiten abzubilden vermag. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu den langfristigen Elastizitäten zu gewährleisten, wurden die sich aus diesen Reisezeitveränderungen ergebenden Erreichbarkeitsveränderungen berechnet und wiederum den Verhaltensänderungen gegenübergestellt.

Die Ergebnisse aus beiden Teilstudien sind sich insgesamt sehr ähnlich und zueinander konsistent. Da es sich bei der Befragung um eine innovative und noch experimentelle Methode handelt, und im jetzigen Stand der Praxis die entsprechende Datengrundlage für die Anwendung der resultierenden Modelle nur selten vorliegen dürfte, werden im Folgenden nur die Ergebnisse aus der Langfriststudie der historischen Daten verwendet, und zur Verwendung in der Bewertung von Einzelprojekten empfohlen.

## III.3 Ergebnisse

Aus der Langfristanalyse ergeben sich folgende Nachfrageelastizitäten:

| Nachfragedimension | Elastizität bezüglich Erreichbarkeit | Elastizität bezüglich Preisindex |
|---|---|---|
| Ausser-Haus-Anteil | 0.61 | -0.06 |
| Anzahl Wege | 0.44 | -0.19 |
| Anzahl Wege pro Reise[1] | 0.24 | -1.66 |
| Ausser-Haus-Dauer | 0.10 | -0.84 |
| Zurückgelegte Distanz | 1.14 | -1.95 |

Die obenstehende Tabelle liest sich wie folgt (zur genauen Definition des Konzepts der Nachfrageelastizitäten siehe z.B. Greene, 1997):

Ergibt sich aus der Realisierung einer Massnahme, beispielsweise eines Ausbaus der Infrastruktur, für eine bestimmte Gemeinde eine Erreichbarkeitssteigerung von 10 Prozent, so ist für diese Gemeinde mit einem Anstieg des Anteils mobiler Personen pro Tag um 6,1 Prozent zu rechnen. Die Anzahl durchgeführter Wege würde dadurch um 4,4 Prozent steigen.

Zur Interpretation der Elastizität und den Kausalitäten der erhöhten Mobilität siehe den Forschungsbericht (Weis und Axhausen, 2011, S. 28ff).

## III.4 Anwendung der Ergebnisse

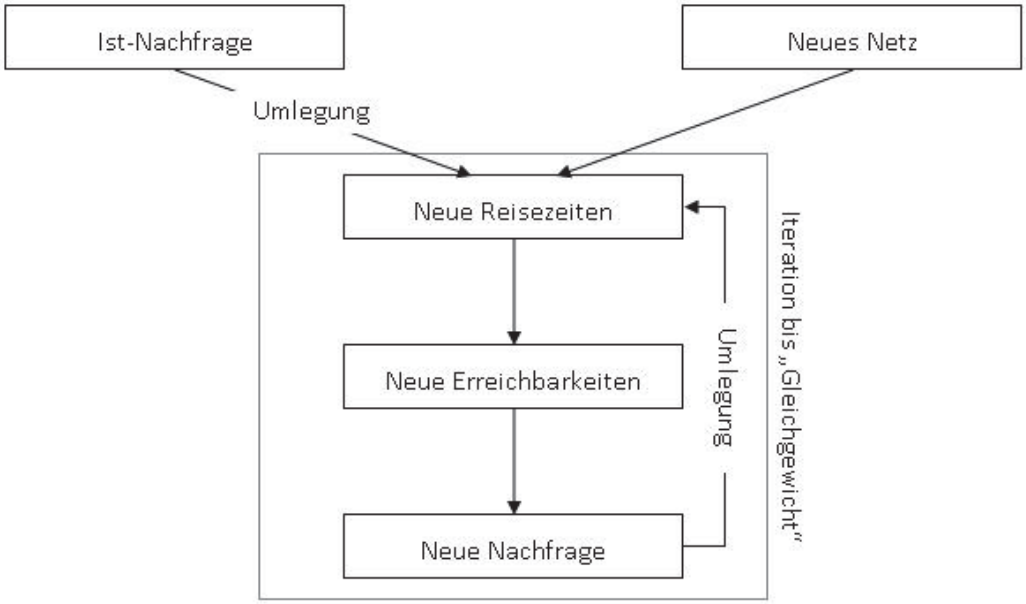
Es konnte anhand verschiedener Beispiele im Projekt gezeigt werden, dass die zu erwartenden Nachfragereaktionen bei starken Anstiegen der Erreichbarkeiten zwar substantiell sind, diese Erreichbarkeitssteigerungen bei realistischen Massnahmen jedoch im Ge-

[1] Eine Reise ist hier definiert als Abfolge von Wegen mit Start und Ziel am Wohnort.

samt-schweizerischen Mittel nur sehr gering ausfallen dürften.

Nichtsdestotrotz können die Effekte lokal sehr gross sein, und es ist im Einzelfall zu prüfen, wie sich die Veränderungen des Angebots auf die Erreichbarkeiten und die damit einhergehenden Nachfragereaktionen auswirken. Dazu wird das hier beschriebene Vorgehen empfohlen.

Es wird davon ausgegangen, dass für den bestehenden Netzzustand die Reisezeitmatrix vorliegt. Zur Prognose der Nachfragereaktionen werden die in der folgenden Abbildung schematisch dargestellten und anschliessend im Detail beschriebenen Schritte ausgeführt.




(1) Aufgrund der bestehenden Reisezeiten werden die Erreichbarkeiten $A_{alt}$ aller relevanten Zonen (Gemeinden) im Ist-Zustand berechnet:

$$A_i = \ln\left[\sum_{j=1}^{n} X_j \cdot f\left(c_{ij}\right)\right],$$

wobei $A_i$ die Erreichbarkeit für Gemeinde $i$ darstellt. $X_j$ ist die Anzahl Einwohner von Gemeinde $j$. $c_{ij}$ sind die Reisezeiten zwischen $i$ und $j$. $n$ ist die Gesamtanzahl Gemeinden. $f$ ist eine negativ exponentielle Gewichtungsfunktion für die Wirkung der Zunahme der Entfernung zwischen zwei Gemeinden auf die Abnahme deren gegenseitiger Beeinflussung:

$$f\left(c_{ij}\right) = e^{-\beta \cdot c_{ij}},$$

wobei für $\beta$ hier ein Wert von 0.2 für die Gewichtung der Reisezeit in Minuten eingesetzt wird (siehe dazu Fröhlich, 2006).

(2) Bei bestehender Nachfrage und mit einem aufgrund einer Massnahme veränderten Netzzustand wird die neue Reisezeitmatrix (mittels Umlegung der Nachfrage auf das entsprechende Netzmodell) ermittelt.

(3) Aus den neuen Reisezeiten werden mittels obiger Formel die neuen Erreichbarkeiten $A_{neu}$ ermittelt.

(4) Für jede Gemeinde wird die relative Erreichbarkeitsveränderung $\delta_{Erreichbarkeit,rel}$ berechnet:

$$\partial_{Erreichbarkeit,rel} = \frac{A_{neu}}{A_{alt}} - 1$$

(5) Die Multiplikation dieser Veränderung mit der interessierenden Elastizität $\varepsilon$ aus obenstehender Tabelle ergibt die relative Veränderung $\delta_{Nachfrage,rel}$ der betrachteten Nachfragegrösse:

$$\partial_{Nachfrage,rel} = \varepsilon \cdot \partial_{Erreichbarkeit,rel}$$

(6) Die so errechnete prozentual neu entstehenden Wege für jede Gemeinde werden zu den Zeilen der bestehenden Nachfragematrix addiert, womit die neue Nachfragematrix vorliegt:

$$n_{Wege,i,j,neu} = n_{Wege,i,j,alt} \cdot \left(1 + \partial_{Nachfrage,rel,i}\right) \qquad \forall i, j$$

(7) Die so ermittelte Matrix sollte dann wiederum zwecks erneuter Berechnung der Reisezeiten und Erreichbarkeiten auf das Netz umgelegt werden. Gegebenenfalls müssen diese Arbeitsschritte mehrmals iterativ wiederholt werden, um letztendlich die Konsistenz zwischen erzeugten Verkehrsmengen und Erreichbarkeiten herzustellen (also bis ein Gleichgewichtszustand entsteht).

Wie bei allen Anwendungen von Elastizitäten ist daran zu denken, dass sie eine lineare Extrapolation sind, die bei grossen Veränderungen zu unrealistischen Werten führt.

## III.5 Anwendungsbeispiel

Zur weiteren Veranschaulichung folgt ein einfaches Beispiel zum oben beschriebenen Anwendungsverfahren:

Gegeben seien 4 Gemeinden in einem Netz, die Reisezeiten zwischen diesen Gemeinden, und die gemäss obiger Formel daraus resultierenden Erreichbarkeiten:

| Gemeinde | Einwohner | Reisezeit nach | | | | Erreichbarkeit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | |
| A | 500 | 2 | 10 | 15 | 20 | 6.50 |
| B | 2’000 | 10 | 10 | 5 | 10 | 6.65 |
| C | 1’000 | 15 | 5 | 5 | 5 | 7.18 |
| D | 500 | 20 | 10 | 5 | 2 | 6.89 |

Durch eine Massnahme reduziere sich die Reisezeit zwischen *A* und *B* von 10 auf 5 Minuten, womit die neue Matrix wie folgt aussähe:

| Gemeinde | Einwohner | Reisezeit nach | | | | Erreichbarkeit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | |
| A | 500 | 2 | 5 | 15 | 20 | 7.03 |
| B | 2’000 | 5 | 10 | 5 | 10 | 6.79 |
| C | 1’000 | 15 | 5 | 5 | 5 | 7.18 |
| D | 500 | 20 | 10 | 5 | 2 | 6.89 |

Die Erreichbarkeit der Gemeinde *A* würde sich also um 8 Prozent erhöhen, womit die Anzahl Wege zwischen *A* und allen anderen Gemeinden um 0.08*0.44 = 0.035, bzw. um 3.5 Prozent, erhöhen würde. Für Gemeinde *B* ergäbe sich immerhin eine Erreichbarkeitssteigerung von 2 Prozent, welche hier entsprechend zu 0.9 Prozent mehr Wegen führen würde.

Um das Beispiel zu Ende zu führen, sei im Ausgangszustand ein Durchschnitt von 3.8 Wegen pro Person angenommen (Schweizer Durchschnitt im Jahr 2005). Für das Beispielgebiet ergäben sich also folgende Gesamtveränderungen:

| Gemeinde | Einwohner | Wege alt | Steigerung [%] | Wege neu |
|---|---|---|---|---|
| A | 500 | 1’900 | 3.35 | 1’964 |
| B | 2’000 | 7’600 | 0.86 | 7’666 |
| C | 1’000 | 3’800 | - | 3’800 |
| D | 500 | 1’9000 | - | 1’900 |
| Alle | 4’000 | 15’200 | 0.86 | 15’330 |

Die zusätzliche Nachfrage von 130 Wegen pro Tag (was einer Gesamtsteigerung der Nachfrage um ca. 0.9 Prozent entspricht) müsste also als Folge der Massnahme vom Verkehrsnetz aufgenommen werden. Die Anwendung des hier diskutierten Modells bezieht sich alleine auf die Gesamtmenge an erzeugten Wegen; die übrigen Modellschritte bleiben die Aufgabe des Nachfragemodells. Die Aufteilung der in obiger Tabelle angegebenen Quellströme auf die verschiedenen Ziele bleibt also hier dieselbe wie im Ausgangszustand.

## III.6 Literatur

Greene, W.H. (1997) *Econometric Analysis*, Prentice Hall, Upper Saddle River.

Tschopp, M., P. Fröhlich und K.W. Axhausen (2005) Accessibility and spatial development in Switzerland during the last 50 years, in Levinson, D.M. und K.J. Krizek (Hrsg.) *Access to Destinations*, 361-376, Elsevier, Oxford.

Vrtic, M. (2001) Schweiz: Elastizitäten der Personenverkehrsnachfrage*, Internationales Verkehrswesen*, **53** (4) 132-136.

Vrtic, M., O. Meyer-Rühle, S. Rommerskirchen, P. Cerwenka und W. Stobbe (2000) Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr, Schlussbericht SVI 44/98, *Schriftenreihe des UVEK*, **449**, UVEK, Bern.

Weis, C. und K.W. Axhausen (2011) Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehr, Schlussbericht SVI 2004/012, *Schriftenreihe des UVEK*, **xxxx**, UVEK, Bern.

# Literaturverzeichnis

Abay, G. (1995) Die Preisentwicklung im Personenverkehr 1987-1994, *GVF-Auftrag Nr. 258*, Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Bern.

Abay, G. (2000) Die Preisentwicklung im Personenverkehr 1994-1999, *GVF-Auftrag Nr. 376*, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

Aliesch, B., J. Sauter and J. Kuster (2006) Räumliche Auswirkungen des Vereinatunnels: Eine ex-post Analyse, Bericht an das Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

Arentze. T., F. Hofman und H.J.P. Timmermans (2004) Predicting multi-faceted activity-travel adjustment strategies in response to possible congestion pricing scenarios using an Internet-based stated adaptation experiment, *Transport Policy*, **11** (1) 31-41.

Arentze, T. und H.J.P. Timmermans (2005) *ALBATROSS 2.0: A learning-based transportation oriented simulation*, European Institute of Retailing and Services Studies, Eindhoven.

Axhausen, K.W. und C. Weis (2010) Predicting response rate: A natural experiment, *Survey Practice*, **3** (2), http://surveypractice.org/.

Balmer, M., K. Meister, M. Rieser, K. Nagel und K.W. Axhausen (2008) Agent-based simulation of travel demand: Structure and computational performance of MATSim-T, Vortrag, *2nd TRB Conference on Innovations in Travel Modeling,* Portland, Juni 2008.

Barr, L.C. (2000) Testing for the significance of induced highway travel demand in metropolitan areas, *Transportation Research Record*, **1706**, 1-8.

Ben-Akiva, M.E. und S.R. Lerman (1985) *Discrete choice analysis: Theory and application in travel demand*, MIT Press, Cambridge.

Bhat. C.R. (2005) A multiple discrete-continous extreme value model: Formulation and application to discretionary time-use decisions, *Transportation research B*, **39** (8) 679-707.

Bhat, C.R. (2008) The multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model: Role of utility function parameters, identification considerations, and model extensions, *Transportation Research B*, **42** (3) 274-303.

Bierlaire, M. (2003) BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models, Vortrag, *3rd Swiss Transport Research Conference*, Monte Verità, März 2003.

Bierlaire, M. (2009) An introduction to BIOGEME 1.8, http://biogeme.epfl.ch.

Boarnet, M.G. und R. Crane (2004) *Travel by design: The influence of urban form on travel*, Springer, Amsterdam.

Bodenmann B.R. (2007) Modelle zur Standortwahl von Unternehmen, in Bieger, T., C. Lässer und R. Maggi (Hrsg.) *Jahrbuch 2006/2007 Schweizerische Verkehrswirtschaft*, SVWG, St. Gallen.

Bollen, K.A. (1989) *Structural Equation with latent variables*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Brown, A. und P. Mawson (1981) The *HATS* Technique: An urban application in Basildon New Town, Basildon New Town Development Corporation, Basildon New Town.

Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung (2007) Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten, Bundesamt für Statistik, Bern.

Bush, S. B. (2003) *Forecasting 65+ travel: An Integration of Cohort Analysis and Travel Demand Modelling*, Dissertation at the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Byrne, B. (2001) *Structural equation modelling With AMOS – Basic concepts, applications, and programming*, Psychology Press, East Sussex.

Cairns, S., C. Hass-Klau und P.B. Goodwin (1998) *Traffic impact of highway capacity reductions: Assessment of the evidence*, ERSC Transport Studies Unit, UCL, London.

Cervero, R. und M. Hansen (2002) Induced travel demand and induced road investment: A simultaneous equation analysis', *Journal of Transport Economics and Policy*, **36** (3) 469-490.

Cerwenka, P. und G. Hauger (1996) Neuverkehr – Realität oder Phantom?, *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft,* **67**, 286-326.

Dargay, J.M. (2002) Determinants of car ownership in rural and urban areas: A Pseudo-panel analysis', *Transportation Research E*, **38**, 351-366.

Dargay, J.M. (2007) The effect of prices and income on car travel in the UK, *Transportation Research A*, **41** (10) 949-960.

Deaton, A. (1985) Panel data from time series of cross sections, *Journal of Econometrics*, **30** (1) 109-126.

De Abreu e Silva, J. und K.G. Goulias (2009) Using Structural Equation Modelling to unravel the influence of land use patterns on travel behavior of urban adult workers of Puget Sound region, Vortrag, *88th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, Januar 2009.

De Corla-Souza, P. und H. Cohen (1999) Estimating induced travel for evaluation of metropolitan highway expansion, *Transportation*, **26** (3) 249-262.

Doherty, S.T. und M. Lee-Gosselin (2000) Activity scheduling adaptation experiments under vehicle reduction scenarios, vorgetragen bei *9th International Conference on Travel Behaviour Research*, Gold Coast, July 2000.

Doherty, S.T. und E.J. Miller (2000) A computerized household activity scheduling survey, *Transportation*, **27** (1) 75-97.

Doherty, S.T., M. Lee-Gosselin, K. Burns und J. Andrey (2002) Household activity rescheduling in response to automobile reduction scenarios, Transportation Research Record, **1807**, 174-182.

Eurostat (2008) Nomenclature of territorial units for statistics – NUTS statistical regions of Europe, http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nuts/home_regions_en.html, abgerufen am 26. März 2009.

Feil, M., M. Balmer und K.W. Axhausen (2010) New approaches to generating comprehensive all-day activity-travel schedules, vorgetragen bei *89th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., January 2010.

Fogel, R.W. (2004) *The escape from hunger and premature death, 1700-2100, Europe, America and the Third World*, Cambridge University Press, Cambridge.

Fröhlich, P. (2003) Induced traffic: Review of the explanatory models, Vortrag, *3rd Swiss Transport Research Conference*, Monte Verità, März 2003.

Fröhlich, P. (2008a) Travel behavior changes of commuters from 1970-2000‘, *Transportation Research Record*, **2082**, 35-42.

Fröhlich, P. (2008b) Änderungen der Intensitäten im Arbeitspendlerverkehr von 1970 bis 2000, *Dissertation*, ETH Zürich, Zürich.

Fröhlich, P., M. Tschopp und K.W. Axhausen (2005) Netzmodelle und Erreichbarkeit in der Schweiz: 1950-2000, in K.W. Axhausen and L. Hurni (Hrsg.) *Zeitkarten Schweiz 1950-2000*, IVT und IKA, ETH Zürich, Zürich, Kap. 2.

Fulton, L.M., R.B. Noland, D.J. Meszler und J.V. Thomas (2000) A statistical analysis of induced travel effects in the U.S. Mid-Atlantic region’, *Journal of Transportation and Statistics*, **3** (1) 1-14.

Giacomazzi, F., R. Clerici, P. Marti, R. Rudel, G. Brugnoli, L. Passardi-Gianola, G. Gianola, F. Meneghin und S. von Wartburg (2004) *Räumliche Auswirkungen der Verkehrsinfrastrukturen in der Magadinoebene*: *Eine ex-post Analyse*, ARE, Bern.

Golob, T.F. (2003) Structural equation modeling for travel behavior research’, *Transportation Research B*, **37** (1) 1-25.

Goodwin, P.B. (1992) Review of new demand elasticities, *Journal of Transport Economics and Policy*, **26** (2) 155-169.

Goodwin, P.B. (1996) Empirical evidence on induced traffic, *Transportation*, **23** (1) 35-54.

Goodwin, P.B., J. Dargay und M. Hanly (2004) Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review, *Transport Reviews*, **24** (3) 275-292.

Goulias K.G., N. Kilgren, und T. Kim (2003) A decade of longitudinal travel Behavior observation in the Puget Sound region: Sample composition, summary statistics, and a selection of first order findings, Vortrag, *10th International Conference on Travel Behavior Research*, Luzern, August 2003.

Goulias K. G., L. Blain, N. Kilgren, T. Michalowski, und E. Murakami (2007) Catching the next big wave: Are the observed behavioral dynamics of the Baby Boomers forcing us to rethink regional travel demand models? *Transportation Research Record*, **2014**, 67-75.

Graham, D.J. und S. Glaister (2004) Road Traffic Demand Elasticity Estimates: A review, *Transport Reviews*, **24** (3) 261-274.

Güller, P., W. Schenkel, R. De Tommasi und D. Oetterli (2004) *Räumliche Auswirkungen der Zürcher S-Bahn*: *Eine ex-post Analyse*, Bericht an das Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.

Hanemann, W.M. (1978) A methodological and empirical study of the recreation benefits from water quality improvement, *Ph.D. dissertation*, Department of Economics, Harvard University.

Hills, P.J. (1996) What is induced traffic?, *Transportation*, **23** (1) 5-16.

Huang, B. (2007) The use of pseudo panel data for forecasting car ownership, *Dissertation*, University of London, London.

Hymel, K.M., K.A. Small und K. van Dender (2010) Induced demand and rebound effects in road transport, *Transportation Research B*, **44** (10) 1220-1241.

Jones, P.M. (1977) Assessing policy impacts using the Household Activity-Travel Simulator, *Working Paper* **18**, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford.

Jones, P.M. (1979) '*HATS*': A technique for investigating household decisions, *Environment and Planning A*, **11** (1) 59-70.

Jones, P.M. (1980) Experience with Household Activity-Travel Simulator (*HATS*), *Transportation Research Record*, **765**, 6-12.

Jones, P.M. und M.C. Dix (1979) Household travel in the Woodley-Earley area: Report of a pilot study using *HATS*, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford.

Jones, P.M., M. Dix, M. Clarke und I. Heggie (1980) *Understanding travel behaviour*, Gower, Aldershot.

Jones, P.M., M. Bradley und E. Ampt (1989) Forecasting household response to policy measures using computerised, activity-based stated preference techniques, in International Association for Travel Behaviour (Hrsg.) *Travel Behaviour Research*, 41-63, Avebury, Aldershot.

Kitamura, R. (2000) Longitudinal methods, in Hensher, D.A. and K.J. Button (Hrsg.) *Handbook of Transport Modelling*, 113-129, Elsevier Science, Oxford.

König, A., R. Schlich und K.W. Axhausen (2000) Deskriptive Darstellung der Befragungsergebnisse des Projektes Mobi*drive, Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung,* **37**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Kumar, A und D. Levinson (1992) Specifying, estimating and validating a new trip generation model: A case study of Montgomery County, Maryland, *Transportation Research Record*, **1413**, 107-113.

Kuppam, A.R. und Pendyala, R.M. (2001) A Structural Equation analysis of commuters' activity and travel patterns, *Transportation*, **28** (1) 33-54.

Lee, D.B., L.A. Klein und G. Camus (1999) Induced traffic and induced demand, *Transportation Research Record*, **1659**, 68-75.

Lee-Gosselin, M.E.H. (1989) In-depth research on lifestyle and household car use under future conditions in Canada, in International Association for Travel Behaviour Research (eds.) *Travel Behaviour Research*, 102-118, Avebury, Aldershot.

Lee-Gosselin, M.E.H. (1990) The dynamics of car use patterns under different scenarios: A gaming approach, in P.M. Jones (ed.) *Developments in Dynamic and Activity-Based Approaches to Travel Analysis*, 250-271, Gower, Aldershot.

Lleras, G.C., A. Simma, M. Ben-Akiva, A. Schafer, K.W. Axhausen und T. Furutani (2003) Fundamental relationships specifying travel behavior – An international travel survey comparison, Vortrag, *82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, Januar 2003.

Löchl, M., K.W. Axhausen und S. Schönfelder (2005) Analysing Swiss longitudinal travel data, vorgetragen bei *5th Swiss Transport Research Conference*, Monte Verità, March 2005.

Lu, X. und E.I. Pas (1999) Socio-demographics, activity participation and travel behavior, *Transportation Research A*, **33** (1) 1-18.

Madre, J.-L., K.W. Axhausen und W. Brög (2007) Immobility in travel diary surveys, *Transportation*, **34** (1) 107-128.

Martin and Voorhees Associates (1978) Reductions in rural bus services: An independent assessment of the *HATS* technique, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford.

Mason, W.M. und Wolfinger, N.H. (2004) Cohort analysis, in Smelser, N.J. and Baltes, P.B. (Hrsg.) *International Encyclopedia of Social and Behavioral Sciences*, 2189-2194, Elsevier, Amsterdam.

Meier, E. (1989) Neuverkehr infolge Ausbau und Veränderung des Verkehrssystems, *Dissertation*, ETH Zürich, Zürich.

Mokhtarian, P.L. und X. Cao (2008) Examining the impacts of residential self-selection on travel behavior: A focus on methodologies, *Transportation Research B*, **42** (3) 204-228.

Mokhtarian, P.L. und C. Chen (2004) TTB or not TTB, that is the question: A review and analysis of the empirical literature on travel time (and money) budgets', *Transportation Research A*, **38** (10) 643-675.

Noland, R.B. (2001) Relationships between highway capacity and induced vehicle travel, *Transportation Research A*, **35** (1) 47-72.

Noland, R.B. und W.A. Cowart (2000) Analysis of metropolitan highway capacity and the growth in vehicle miles of travel, *Transportation*, **27** (4) 363-390.

Noland, R.B. und L.L. Lewison (2000) Induced travel: A review of recent literature and the implications for transportation and environmental policy, Vortrag, *European Transport Conference*, Cambridge, September 2000.

Oum T. (1992) Alternative demands and their elasticity estimates, *Journal of Transport Economics and Policy,* **33** (2) 139-154.

Ortúzar, J. de D. und L.G. Willumsen (2001) *Modelling Transport*, Wiley, Chichester.

Papola, A. (2004) Some developments on the cross-nested logit model, *Transportation Research B*, **38** (9) 833-851.

Phifer, S.P., A.J. Neveu und D.T. Hartgen (1980) Family reactions to energy constraints, *Transportation Research Record*, **765**, 12-16.

Pinjari, A.R. und C.R. Bhat (2010) An efficient forecasting procedure for Kuhn-Tucker consumer demand model systems, paper presented at the *89th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., January 2010.

Pinjari, A.R. und C.R. Bhat (2010) An efficient forecasting procedure for Kuhn-Tucker consumer demand model systems: Application to residential energy consumption analysis, *Technical Paper*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of South Florida, Tampa.

Primerano, F., M.A.P. Taylor, L. Pitaksrigkarn und P. Tisato (2008) Defining and understanding trip chaining behaviour, *Transportation*, **35** (1) 55-72.

Rudel, R. and R. Maggi (2007) Schätzung der Elastizitäten der Gesamtnachfrage (RP), in SVI (Hrsg.) *Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens*, 251-278, UVEK, Bern.

Schermelleh-Engel, K., H. Mossburger und H. Müller (2003) Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures, *Methods of Psychological Research - Online*, **8** (2) 23-74.

Simma, A. (2003) Geschichte des Schweizerischen Mikrozensus zum Verkehrsverhalten, vorgetragen bei *3rd Swiss Transport Research Conference*, Ascona, March 2003.

Simma, A. und K.W. Axhausen (2004) Interactions between travel behaviour, accessibility and personal characteristics: The case of the Upper Austria region, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, **3** (2) 179-198.

Sommer, H., F. Walter, P. Widmer und T. Buhl (2004) Wirkungsketten Verkehr - Wirtschaft, *Schlussbericht*, **SVI 1999/310**, ecoplan und Büro Widmer, Bern und Frauenfeld.

Train, K.A. (2003) *Discrete Choice Models with Simulation*, Cambridge University Press, Cambridge.

Tschopp, M. (2007) Erreichbarkeitsveränderungen und Raumstrukturelle Entwicklung, *Dissertation*, IVT, ETH Zürich, Zurich.

Tschopp, M., P. Fröhlich und K.W. Axhausen (2005) Accessibility and spatial development in Switzerland during the last 50 years, in Levinson, D.M. und K.J. Krizek (Hrsg.) *Access to Destinations*, 361-376, Elsevier, Oxford.

Tschopp. M., P. Keller, H.U. Schiedt, T. Frei, S. Reubi und K. W. Axhausen (2003) Raumnutzung in der Schweiz: Eine Historische Raumstruktur-Datenbank, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **165**, IVT, ETH Zürich.

Van Knippenberg-den Brinker C. und M. Clarke (1984) Taking account of when passengers want to travel, *Traffic Engineering and Control*, **25** (12) 602-605.

Van Knippenberg-den Brinker, C. und I. Lameijer (1985) Simulation studies as a tool for determining public transport services in rural areas, in Jansen, G.R.M., P. Nijkamp and C.J. Ruijgro (eds.) *Transportation and Mobility in an Era of Transition*, 323-333, Elsevier, Amsterdam.

Van Wee, B., P. Rietveld und H. Meurs (2006) Is average daily travel time expenditure constant? In search of explanations for an increase in average travel time, *Journal of Transport Geography*, **14** (2) 109-122.

Varian, H.R. (1992) *Microeconomic Analysis,* WW Norton, New York, 1992.

Venables, W.N. und D.M. Smith (2010) An introduction to R, http://www.r-project.org/, Zugriff am 21. Juni 2010.

Weis, C. (2009) Structural Equation Modelling of travel behaviour dynamics using a pseudo panel approach, vorgetragen bei *12th International Conference on Travel Behaviour Research*, Jaipur, December 2009.

Weis, C. und K.W. Axhausen (2009) Induced travel demand: Evidence from a pseudo panel data based Structural Equation model, *Research in Transportation Economics*, **25** (1) 8-18.

Weis, C., A. Frei, K.W. Axhausen, T. Haupt and B. Fell (2008) A comparative study of web- and paper-based travel behaviour surveys, vorgetragen bei *European Transport Conference*, Noordwijkerhout, October 2008.

Yee, J.L. und D.A. Niemeier (2000) Analysis of activity duration using the Puget Sound transportation panel. *Transportation Research A*, **34** (8) 607-624.

Zumkeller, D., B. Chlond, P. Ottmann, M. Kagerbauer und T. Kuhnimhof (2009) *Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – WissenschaftlicheBegleitung und erste Auswertungen*, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.

# Abkürzungen

| Begriff | Bedeutung |
|---|---|
| ARE | Bundesamt für Raumentwicklung |
| ATAQ | Adelaide Travel and Activity Questioner |
| BFS | Bundesamt für Statistik |
| CASP | Computerised Activity-Based Stated Preference |
| CATI | Computer Assisted Telephone Interviewing |
| CHASE | Computerized Household Activity Scheduling Simulator |
| CNL | Cross Nested Logit Model |
| CUPIG | Car-Use Patterns Interview-Game |
| EU | Europäische Union |
| GLM | General Linear Model |
| HATS | Household Activity Travel Simulator |
| IVT | Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich |
| MDCEV | Multiple Discrete-Continuous Extreme Value Model |
| MIV | Motorisierte Individualverkehr |
| MNL | Multinomiales Logit Model |
| MZ | Mikrozensus |
| NUTS | Nomenclature of Territorial Units for Statistics |
| ÖV | Öffentlicher Verkehr |
| PW | Personenwagen |
| REACT | Response to Energy and Activity Constraints on Travel |
| SEM | Structural Equation Model |

# Projektabschluss

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
**Bundesamt für Strassen ASTRA**

**FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK** **ARAMIS SBT**

## Formular Nr. 3: Projektabschluss

| | |
|---|---|
| erstellt / geändert am: | 12.09.2011 |

***Grunddaten***

| | |
|---|---|
| Projekt-Nr.: | **2004/012** |
| Projekttitel: | **Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs** |
| Enddatum: | 12.09.2011 |

***Projektleiter***

| | | | |
|---|---|---|---|
| Name: | | Vorname: | |
| Amt, Firma, Institut: | | | |
| Strasse, Nr.: | | | |
| PLZ: | | Email: | |
| Ort: | | Telefon: | |
| Kanton, Land: | | Fax: | |

ARAMIS SBT: Form_Projektabschluss_SVI2004-012(def)_ohneProjektleiter.docx Seite 1 / 5

***Texte:***

| | |
|---|---|
| Zusammenfassung der Projektresultate: | Es sollte aufgezeigt werden, wie sich Veränderungen in den generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme auf die Erzeugung der Verkehrsnachfrage auswirken. Die interessierenden Dimensionen der Nachfrage lagen hier auf der Seite derer Erzeugung auf Individuen- bzw. Kohortenebene: die Wahrscheinlichkeit, an einem bestimmten Tag eine oder mehrere Aktivitäten ausser Haus zu unternehmen; die Anzahl der unternommenen Aktivitäten und der damit einhergehenden Wege, Wegeketten und Reisen; und die daraus resultierenden gesamthaft ausser Haus verbrachten Dauern und zurückgelegten Entfernungen.<br>Im ersten Teil des Projektes wurden die Hypothesen mit einem *Structural Equation* Modell gestestet, welches auf einen aus den Mikrozensen Verkehr Schweiz 1974-2005 erzeugten *Pseudopanel*-Datensatz angewendet wurde. Das Modell erlaubt die simultane Quantifizierung aller exogenen Variablen auf alle endogenen (abhängigen) Variablen und kann gleichzeitig sowohl Fehlerkorrelationen als auch direkte Beeinflussungen unter den endogenen Variablen abbilden.<br>Das interessanteste Ergebnis aus den Modellschätzungen ist der Einfluss der Variablen zur Beschreibung der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme. So hat selbst nach Einbindung aller übrigen Variablen die Erreichbarkeit einen signifikant positiven Einfluss auf die Mobilität, während für den Preisindex ein umgekehrter Trend nachgewiesen werden konnte. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass reduzierte generalisierte Kosten der Verkehrsteilnahme tatsächlich einen positiven Effekt auf die Mobilität haben.<br>Aus den geschätzten Regressionsparametern wurden langfristige Nachfrageelastizitäten ermittelt, welche eine konsistente Quantifizierung der oben beschriebenen Effekte liefern und deren Anwendung auf verschiedene Szenarien erlaubt.<br>Kurzfristige Effekte auf die Zeitplanung von Verkehrsteilnehmern wurden im zweiten Projektteil mittels einer *Stated Adaptation* Befragung analysiert. Auch hier lag das Hauptaugenmerk auf der Verkehrserzeugungsseite. In der Befragung wurden die teilnehmenden Personen zunächst mittels eines 5-tägigen Verkehrstagebuchs zu ihrem aktuellen Verkehrsverhalten befragt. Einer dieser Tage wurde ausgewählt und dessen Rahmenbedingungen in einem persönlichen Interview mit den Haushalten nach bestimmten Kriterien angepasst, um signifikante Veränderungen der generalisierten Kosten (hier abgebildet durch die Reisezeiten) der Verkehrsteilnahme an diesem Tag zu erreichen. Die Befragten wurden dann gebeten, ihre wahrscheinliche Reaktion auf diese Veränderungen abzuschätzen.<br>In den vorgängigen Analysen der Befragungsdaten und auch in den erzielten Modellergebnissen zeigt sich, dass die Teilnehmenden an der Befragung zwar Reaktionen auf die ihnen vorgelegten Szenarien angeben, hierbei jedoch sehr selektiv vorgehen. Die prominentesten Anpassungen der berichteten Tagespläne beschränken sich auf die Anpassung der Abfahrtszeit von zu Hause, um zur gewünschten Zeit am Ort der ersten Aktivitätsausübung einzutreffen. Ebenfalls häufig wird die gewonnene bzw. verlorene Reisezeit durch Anpassungen bei den Wegen selber kompensiert, also über Veränderungen der Verkehrsmittel- oder Zielwahl.<br>Auf der anderen Seite zeigt sich, dass die Reaktionen, welche zentral für Effekt des induzierten Verkehrs wären, also zusätzlich durchgeführte oder weggelassene Aktivitäten, Wege und Reisen, trotz der teilweise sehr starken Eingriffe in die Tagespläne nur in sehr wenigen Fällen als gangbare Alternative angesehen werden. In einigen Beispielen der Modellanwendung konnte gezeigt werden, dass die Modellergebnisse die Existenz solcher Effekte nur sehr geringfügig, und sehr lokalisiert, aufzeigen.<br>Anwendungen der kurz- und langfristigen Modellergebnisse haben ergeben, dass die angesprochenen Effekte vorhanden sind, deren Auslösung jedoch massive Angebotsveränderungen bedingen würde. Die Verkehrsteilnehmer reagieren auf Veränderungen des Verkehrsangebots mit Anpassungen ihrer Tagespläne, welche jedoch die eigentliche Verkehrserzeugung nur minimal beeinflussen. |
| Zielerreichung: | Die Ziele des Projekts wurden erreicht; es konnte anhand neuartiger Analysemethoden aufgezeigt werden, wie Verkehrsteilnehmer kurz- und langfristig auf Veränderungen der generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme reagieren. |
| Folgerungen und Empfehlungen: | Zur Abschätzung der im Rahmen dieses Projekts untersuchten Effekte für lokale Projekte wird empfohlen, als grobe Näherung das Vorgehen aus dem ersten Teil des Schlussberichts und die daraus resultierenden Elastizitäten zu verwenden. Diese wurden zudem in Form eines SVI-Merkblatts für die |

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Strassen ASTRA**

Anwendung in der Praxis aufbereitet.

Für eine detailliertere Analyse, und wenn die Nachfrage in Form von Tagesplänen einzelner Individuen (beispielsweise in Form von Verkehrstagebüchern, was jedoch nach momentanem Stand der Praxis nur selten der Fall sein dürfte) und nicht nur als Nachfragematrizen vorliegt, kann das im zweiten Teil des Schlussberichts vorgestellte Modell zur Prognose der Verhaltensänderungen verwendet werden. Zusätzliche Analysen mittels vorher-nachher-Untersuchungen (z.B. mittels Panel-Befragungen) können verwendet werden, um zu überprüfen, ob die anhand der hier vorgestellten Modelle durch die tatsächlichen Verhaltensänderungen wiedergegeben werden.

Publikationen:

Weis, C. und K.W. Axhausen (2011) Assessing changes in travel behaviour induced by modified travel times: A stated adaptation survey and modelling approach, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **669**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Weis, C., C. Dobler und K.W. Axhausen (2010) An interactive stated adaptation survey of activity scheduling decisions, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **637**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Weis, C., C. Dobler and K.W. Axhausen (2010) Stated adaptation survey of activity scheduling reactions to changing travel conditions: Field work and preliminary results, vorgetragen bei *12th World Conference on Transportation Research*, Lissabon, Juli 2010.

Weis, C. und K.W. Axhausen (2009) Structural equations modelling of travel behaviour dynamics using a pseudo panel approach, vorgetragen bei *12th International Conference on Travel Behaviour Research*, Jaipur, Dezember 2009.

Weis, C. und K.W. Axhausen (2009) Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs, Zwischenbericht SVI 2004/012, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, **559**, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Weis, C. und K.W. Axhausen (2009) Induced travel demand: Evidence from a pseudo panel data based structural equations model, *Research in Transportation Economics*, **25** (1) 8-18.

***Präsident Begleitkommission:***

| | | | |
|---|---|---|---|
| Name: | Simon | Vorname: | Michel J. |
| Amt, Firma, Institut: | S-ce consulting AG | | |
| Strasse, Nr.: | Hönggerstrasse 117 | | |
| PLZ: | 8037 | Email: | msimon@s-ce.ch |
| Ort: | Zürich | Telefon: | +41 (0)44 272 40 88 |
| Kanton, Land: | Zürich, Schweiz | Fax: | +41 (0)44 272 40 43 |

***Unterschrift Präsident Begleitkommission:***

# Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

## Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

**Auszug zur Integration in Schlussberichte (Stand: 4. Quartal 2011)**

| Bericht-Nr. | Projekt Nr. | Titel | Datum |
|---|---|---|---|
| 1323 | VSS 2008/205 | Ereignisdetektion im Strassentunnel<br>*Détection d'incidents dans les tunnels routiers*<br>*Incident Detection in Road Tunnels* | 2011 |
| 1327 | VSS 2006/601 | Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen<br>*Prévision de gel et de brouillard pour les routes*<br>*Prediction of frost and fog for roads* | 2010 |
| 1328 | VSS 2005/302 | Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten<br>*Principes pour la quantification des effets des déficits de la sécurité*<br>*Basis for the quantification of the effects of safety deficits* | 2011 |
| 1329 | SVI 2004/073 | Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen<br>*Alternatives aux passages pour piétons dans les zones 30*<br>*Alternatives to zebra crossings in 30km/h zones* | 2010 |
| 1330 | FGU 2008/006 | Energiegewinnung aus städtischen Tunneln; Systemeevaluation<br>*Energy extraction from urban tunnels, evaluation of systems*<br>*Extraction d'énergie géothermique de tunnels urbains;* | 2010 |
| 1331 | VSS 2005/501 | Rückrechnung im Strassenbau<br>*Analyse inverse pour la construction routière*<br>*Inverse analysis in Road Geotechnics* | 2011 |
| 1311 | VSS 2000/543 | Viabilite des projets et des Installations annexes<br>*Kontrolle der Befahrbarkeit von Strassen und Nebenanlagen*<br>*Viability of road projects and secondary facilities* | 2010 |
| 1332 | VSS 2006/905 | Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement<br>*Standadisation des données de trafic pour gestion intermodale du trafic*<br>*Standardised traffic data for intermodal trafic management* | 2011 |
| 1333 | SVI 2007/001 | Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum<br>*Standards for mobility supply in peripheral regions*<br>*Standards pour l'offre de mobilité dans l'espace périphérique* | 2011 |
| 1334 | ASTRA 2009/009 | Was treibt uns an ?<br>Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen<br>*Transports de l'avenir ?*<br>*Moteurs et carburants pour la mobilité de demain*<br>*What drives us on ?*<br>*Drives and fuels for the mobility of tomorrow* | 2011 |
| 1335 | VSS 2007/502 | Stripping bei lärmmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im labormasstab<br>*Désenrobage des enrobés peu bruyants des couches de roulement sous sollicitation de roulement en laboratoire*<br>*Stripping of Low Noise Surface Courses during Laboratory Scaled Wheel Tracking* | 2011 |
| 1336 | ASTRA 2007/006 | SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors<br>*SPIN-ALP: Abschätzung des Potentials des Intermodalen Verkehrs auf Alpenkorridoren*<br>*SPIN-ALP: Estimation du potentiel du transport intermodal sur les axes transalpins* | 2010 |
| 1339 | SVI 2005/001 | Widerstandsfunktionen für Innerorts- Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten<br>*Fonctions de résistance pour des tronçons routiers urbains en dehors de la zone d'influence de carrefours*<br>*Capacity restraint functions for urban road sections not affected by intersection delays* | 2010 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1325 | SVI 2000/557 | Indices caractéristiques d'une cité-Vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.<br>*Die charakteristischen Indikatoren einer Velostadt. Evaluationsmethode der Velopolitiken anhand von 8 Indikatorgruppen für kleine und mittlere Gemeinden*<br>*Characteristic indices of a Bike City. Method of evaluation of cycling policies in 8 indices for small and medium-sized communes* | 2010 |
| 1337 | ASTRA 2006/015 | Development of urban network travel time estimation methodology<br>*Temps de parcours en réseau urbain* | 2011 |
| 1338 | VSS 2006/902 | Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit<br>*Modèles d'impact d'équipements de véhicules pour améliorer la sécurité routière*<br>*Modelling of the impact of in-vehicle equipment for the enhancement of traffic safety* | 2009 |
| 1341 | FGU 2007/005 | Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground<br>*Entscheidungsgrundlagen und Hilfsmittel für die Planung von TBM-Vortrieben in druckhaftem Gebirge*<br>*Critères de décision et outils pour la planification de* | 2011 |
| 1343 | VSS 2009/903 | Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr<br>*Basic technologies for detecting intermodal traveling passengers*<br>*Les technologies de base pour l'enregistrement automatique* | 2011 |
| 1340 | SVI 2004/051 | Aggressionen im Verkehr<br>*L'aggressivité au volant*<br>*Aggressive Driving* | 2011 |
| 1344 | VSS 2009/709 | Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"<br>*Projet initial pour le paquet de recherche "Augmentation de l'utilité pour les usagers du système d'information de la route"*<br>*Initial project for the research package "Increasing benefits for the users of the road and transport information system"* | 2011 |
| 1345 | SVI 2004/039 | Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen<br>*Application areas of various means of transportation in agglomerations*<br>*Domaine d'application de different moyen de transport dans* | 2011 |
| 1342 | FGU 2005/003 | Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren<br>*Investigations of the ice-wall grow and frost heave in artificial ground freezing*<br>*Recherches sur la formation corps gelés et du soulèvement au gel pendant la procédure de congélation* | 2010 |
| 647 | AGB 2004/010 | Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges<br>*Qualitätsprüfung und Überwachung elektrisch isolierter Spannglieder in Brücken*<br>*Contrôle de la qualité et surveillance des câbles de précontrainte isolés électriquement dans les ponts* | 2011 |
| 1348 | VSS 2008/801 | Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene<br>*Sécurité en cas de tracés rail-route parallèles ou rapprochés*<br>*Safety measures to manage risk of roads meeting or running close to railways* | 2011 |
| 1349 | VSS 2003/205 | In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen<br>*On-site runoff experiments on roads*<br>*Essai d'écoulements pour l'évacuation des eaux des* | 2011 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1350 | VSS 2007/904 | IT-Security im Bereich Verkehrstelematik<br>*IT-Security pour la télématique des transports*<br>*IT-Security for Transport and Telematics* | 2011 |
| 1352 | VSS 2008/302 | Fussgängerstreifen (Grundlagen)<br>*Passage pour piétons (les bases)*<br>*Pedestrian crossing (basics)* | 2011 |