



Working Paper

## **Modelle der Verkehrsmittelwahl aus RP- und SP Datengrundlage Heureka '02 Optimierung in Verkehr und Transport, März 2002, Köln i.e. Karlsruhe**

**Author(s):**

Axhausen, Kay W.; Vrtic, Milenko

**Publication Date:**

2002

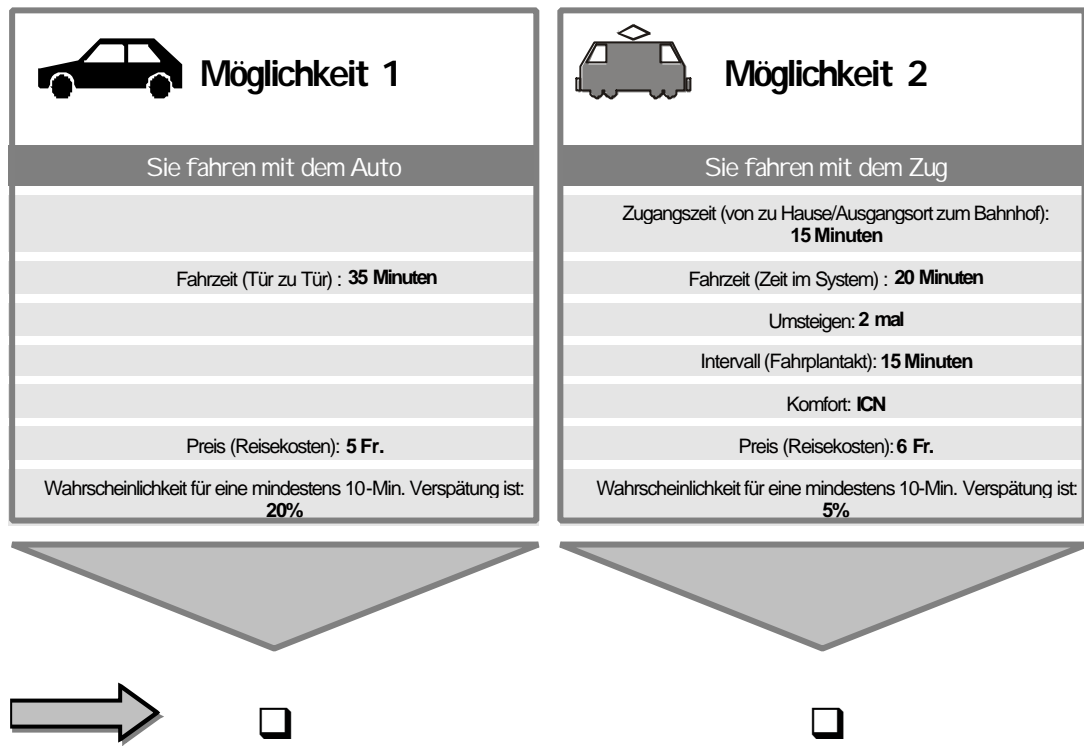
**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004339668> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).



HEUREKA '02,

## Modelle der Verkehrsmittelwahl aus RP- und SP Datengrundlage

M Vrtic  
KW Axhausen



## Modelle der Verkehrsmittelwahl aus RP- und SP Datengrundlage

M Vrtic  
KW Axhausen  
IVT  
ETH  
CH – 8093 Zürich

Telefon: 0041 1 633 31 07

Telefax: 0041 1 633 10 57

[vtic@ivt.baug.ethz.ch](mailto:vtic@ivt.baug.ethz.ch)

[axhausen@ivt.baug.ethz.ch](mailto:axhausen@ivt.baug.ethz.ch)

Februar 2002

## Kurzfassung

Für die Ermittlung von Verkehrsprognosen sind neben geeigneten Datengrundlagen die Wirkungszusammenhänge zwischen der Verkehrsnachfrage und den die Nachfrage beeinflussenden Faktoren die wesentliche Voraussetzung. Bei der Quantifizierung der verkehrlichen Auswirkungen von infrastruktur- und verkehrspolitischen Massnahmen sind (häufig) die Modelle der Verkehrsmittelwahl die wichtigsten aber auch problematischsten Komponenten. Die aus dem beobachteten Verkehrsverhalten (*revealed preference*- (RP) - Daten) ermittelten Modelle sind oft mit vielen Unsicherheiten behaftet und daher in ihrer Nutzbarkeit eingeschränkt. Aus diesem Grund wurde in dieser Untersuchung neben RP-Daten gleichzeitig auch eine *Stated Preference* (SP) Befragung zur Verkehrsmittelwahl durchgeführt. Die SP-Befragung wurde als *stated-choice*-Befragung formuliert. Neben getrennten Modellschätzungen wurde hier gezeigt wie gemeinsame Modelle der Verkehrsmittelwahl (SP und RP Daten) geschätzt werden können. Wie erwartet zeigen die aus SP Daten ermittelte Modellparameter gegenüber RP Modellen eine höhere Plausibilität und Akzeptanz. Von den Angebotsvariablen sind Zugangszeit und Fahrzeit die zwei für die Verkehrsmittelwahl wichtigsten Variablen. Aus der soziodemographischen Variablen wird durch die PKW-Verfügbarkeit und den Abonnementbesitz die Verkehrsmittelwahl stark prädestiniert.

## Schlagworte

Verkehrsmittelwahl - Stated Preference – Modellschätzungen - Nachfrageprognose

## Zitierungsvorschlag

Vrtic M. und K.W. Axhausen (2002) Modelle der Verkehrsmittelwahl aus RP- und SP Datengrundlage, *Heureka '02*, Köln.

# 1 Einleitung

Die Ermittlung der Nachfrage und der Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren bei den Entscheidungen über das Verkehrsverhalten der Verkehrsteilnehmer ist die zentrale Aufgabe der heutigen Verkehrsplanung. Die Modelle der Verkehrsmittelwahl sind hier häufig die wichtigsten und auch problematischsten Komponenten. Angebotsveränderungen eines Verkehrsmittels, die keine Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl haben, sind heute kaum anzutreffen. Dabei werden die Entscheidungen über die Verkehrsmittelwahl durch verschiedene und oft schwer quantifizierbare Einflussfaktoren bestimmt. Die genaue Quantifizierung der Bedeutung von einzelnen Einflussfaktoren stellt die wesentliche Voraussetzung für die Qualität eines Verkehrsmittelwahlmodells dar. Die traditionellen Modellschätzungen basieren vor allem auf der Grundlage des tatsächlich durchgeführten Verkehrsverhaltens (*revealed preferences*; RP). Dabei zeigen sich RP-Daten bei der statistischen Analyse oft als sehr problematisch, vor allem wegen der starken Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen und der oft unvollständigen Datenbasis (aus Modellen berechnete unabhängige Variable, fehlerhafte oder nicht verfügbare Variablen, zu kleine Wertebereiche...).

Damit lassen sich mit RP-Daten oft einige Modellparameter nicht schätzen und es ergeben sich unvollständige Modelle der Verkehrsmittelwahl. Einige dieser Probleme lassen sich durch gezielte *Stated Preference* (SP) Befragungen vermeiden und korrigieren. Hier werden alle wichtigen Variablen dargestellt, wobei diese nun statistisch unabhängig sind. Das Problem bei SP-Befragung ist vor allem die Tatsache, dass sich die Entscheidungen auf hypothetische Situationen beziehen und die Bereitschaft der Befragten, sich die dargestellte Situation als Realität vorzustellen, begrenzt ist. Trotz dieser Probleme haben sich SP-Verfahren in vielen Anwendungen bewährt, insbesondere in Studien, bei denen die SP-Befragungen auf das tatsächliche Verhalten der Befragten aufbauen (Axhausen, 1999; Axhausen und Sammer, 2001; Axhausen, Haupt, Fell und Heidl, 2001).

Um die Qualität und die Glaubwürdigkeit der vorhandenen Verkehrsprognosen zu erhöhen, wurde das IVT, ETH Zürich und die USI, Lugano vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) und den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) beauftragt, eine entsprechende Untersuchung über die Genauigkeit von aus RP- und SP-Daten geschätzten Modellen durchzuführen. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der Schätzung der Verkehrsmittelwahl aus den RP- und SP-Daten dar.

## 2 Datengrundlage

Die SBB führen jedes Jahr kontinuierliche Erhebungen des Personenverkehr (KEP) durch. Der KEP ist eine telefonische Befragung der Verkehrsteilnehmer über das durchgeführte Verkehrsverhalten während der vergangenen Woche. Sie erfasst das Reiseverhalten der Schweizer Wohnbevölkerung im Alter zwischen 15 und 84 Jahren. In werktäglich durchgeführten telefonischen Interviews wird das Reiseverhalten der vorausgegangenen 7 Tage von rund 16800 Personen im Jahr erfragt. Diese Stichprobe ist für die Grundgesamtheit repräsentativ. Alle Wege (über Ortsgrenze) ab einer Gesamtdistanz von 3 km und mehr, die mit irgendeinem Verkehrsmittel unternommen wurden, werden nach vielfältigen Kriterien erfasst (Quelle und Ziel, Umsteigen, Wartezeiten, Reisezeiten ÖV, Zugangszeiten zum Bahnhof, Fahrtzweck, PKW-Verfügbarkeit, PKW-Besitz, Haushaltsgrösse, Beruf, Erwerbstätigkeit, Abonnementbesitz, usw).

Diese Befragung bildet die Datengrundlage für das RP-Modell und dient gleichzeitig als Basis für die SP-Befragung. Bei der telefonischen Befragung (2001) über das durchgeführte Verkehrsverhalten wurde auch nach der Bereitschaft für die Teilnahme an einer weiteren schriftlichen SP-Befragung gefragt. Damit wurden die SP-Daten mit einer zweistufigen Befragung erhoben:

- Telefonische KEP Befragung über das durchgeführtem Verkehrsverhalten während eine Woche (RP)
- Schriftliche SP-Befragung auf Grundlage eines im KEP berichteten Weges

Für das RP-Modell konnten aus der KEP-Befragung zwischen Januar und September 2001 insgesamt 10'696 Personen berücksichtigt werden. Aus allen berichteten Wegen wurden für die Modellschätzung 35'749 PKW-Wege und 10'304 Bahn-Wege ausgewählt. Zu jedem Weg wurden aus entsprechenden Netzmodellen (Schweizerisches Strassen- und Schienenpersonenverkehrsmodell) Angebotsattribute für den ausgewählten und den alternativen Weg generiert. Neben den gemeinsamen Attributen Fahrzeit und Preis wurden beim Bahnmodell auch die Variablen Zugangszeit zum Bahnhof, Umsteigezahl, Umsteigezeit und Intervall generiert. Die Zugangszeiten zum Bahnhof wurden bei der Befragung direkt erhoben. Der Preis für ÖV-Benutzer wurde in Abhängigkeit vom Zeitkartenbesitz der Person berechnet (Generalabonnement=6,5 Rp/Pkm, Halbtaxabonnement=14.5 Rp/Pkm, Kein Abonnement=27 Rp/Pkm). In einem weiteren Schritt wurden diese Daten mit den soziodemographischen Variablen ergänzt.

Die Datenanalyse der RP-Daten bestätigte, dass zwischen der Preis- und der Zeitvariable (sowie zwischen der Umsteigezahl und der Umsteigezeit) eine sehr starke Korrelation besteht. Diese Korrelationen der unabhängigen Variablen sind bei RP Daten nicht zu vermeiden, da beide Variablen direkt von der Reisedistanz abhängig sind.

Die SP-Befragung wurde als stated-choice-Befragung formuliert. Stated-choice-Befragungen haben den Vorteil, dass die Aufgabe den Befragten vertraut ist und sie deshalb als angenehm und einfach empfunden wird. Es ist deshalb auch möglich, die Alternativen mit einer relativ grossen Anzahl von Einflussgrössen zu beschreiben, ohne die Befragten zu überlasten (Axhausen, 1999).

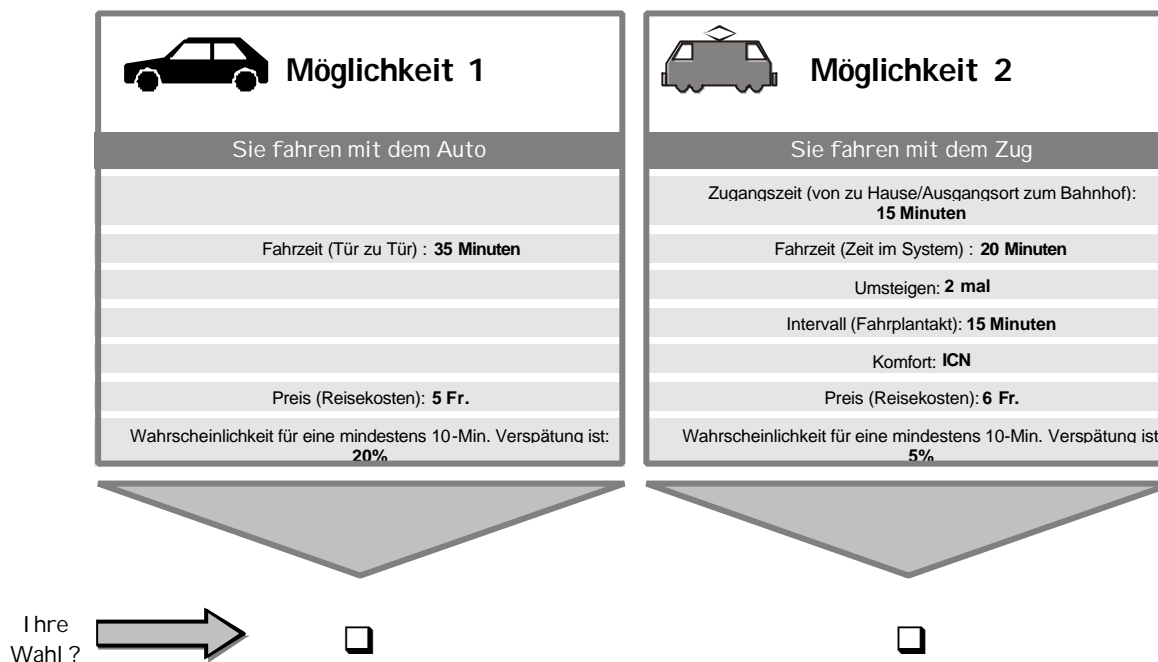
Um die Qualität der SP-Befragung zu erhöhen, wird diese auf einer vorhandenen Befragung über das durchgeführte Verkehrsverhalten aufgebaut. Bei der hier durchgeführten SP Befragung wird von einem im KEP berichteten Weg ausgegangen. Betrachtet werden dabei die Wege mit dem PKW oder der Bahn. Die Auswahl des Weges (aus allen berichteten Wegen) wurde aufgrund von verschiedenen Kriterien durchgeführt, so dass die SP Stichprobe zu der KEP und der Grundgesamtheit repräsentativ ist. Jeder Befragte erhielt zur Einführung die von ihm beschriebene Fahrt mit allen Einflussgrössen bezüglich des gewählten bzw. alternativen Verkehrsmittels, und acht Situationen, bei denen er sich zwischen dem MIV und der Bahn (siehe Abbildung 1) entscheiden muss. Bei dieser Untersuchung wurden für den ÖV sieben und für den motorisierten Individualverkehr (MIV) drei Einflussgrössen definiert. Dabei wird jede Einflussgrösse mit drei oder vier Ausprägungen variiert (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1      Verwendete Einflussgrössen und Ausprägungen

Einflussgrösse	Ausprägungen
Komfort (ÖV)	Regionalzug (ohne Klimaanlage und Speisewagen), InterRegio (Doppelstock), IC/EC, ICN
Zugangszeit (ÖV)	0%, +15%, -15%
Fahrzeit im System (ÖV)	0%, -10%, -25%
Fahrzeit (MIV)	-10%, +10%, +25%
Umsteigehäufigkeit (ÖV)	0, 1, 2
Intervall(ÖV)	1h, ½h, ¼h
Preis (ÖV)	+20%, -10%, -30%,
Preis (MIV)	+15%, +40%, -5%
Verlässlichkeit (ÖV)	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung 0%, 5%, 15%
Verlässlichkeit (MIV)	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung 5%, 10%, 20%

Der Versuchsplan d.h. die systematische Kombination der Ausprägungen der Einflussgrössen, wurde als Zufallsstichprobe von 64 Entscheidungssituationen aus allen möglichen Kombinationen gewonnen ( $19 \cdot 687 = 3^9 \cdot 4^1$ ; neun Einflussgrössen mit drei Ausprägungen und eine mit vier Ausprägungen). Die gewählte Stichprobe ermöglicht die Schätzung der Haupteffekte der Einflussgrössen. Die Ausprägungen werden als prozentuelle oder absolute Abweichung von den Werten, die für den ausgewählten Weg im KEP berichtet wurden, angegeben.

Abbildung 1 Beispiel einer Entscheidungssituation



Auf Grundlage der wöchentlichen KEP-Befragung und der dort registrierten Adressen der Befragten wurden jede Woche ca. 70 SP-Fragebogen verschickt. Die Befragung wurde in zwei Teilen durchgeführt: Pretest (April/Mai 2001) und Hauptbefragung (von Juli bis September 2001). Insgesamt wurden für die Verkehrsmittelwahl 1'762 Fragebögen verschickt mit einer Rücklaufquote von 66% (Tabelle 2). Die Erzeugung von SP-Fragebogen wurde von der Firma PTV, Karlsruhe durchgeführt.

Tabelle 2 Versand und Rücklauf

	Versand	Rücklauf	%
Pretest	509	337	66
Hauptbefragung	1253	827	66
Total	1762	1164	66

Die soziodemographischen Charakteristiken der Befragten (sowohl beim Versand als auch beim Rücklauf) entsprechen der KEP-Stichprobe und sind damit auch für die Grundgesamtheit repräsentativ (Tabelle 3).

Tabelle 3 Die wichtigste Soziodemographischen Charakteristiken

Variable	Ausprägung	Anteil [%]	
		RP	SP
Geschlecht	Männlich	49	51
	Weiblich	51	49
Abonnement-Besitz	GA*	7	11
	Halbtax Abo.	38	43
	Andere Abo.	6	6
	Keine Bahn Abo.	49	39
Erwerbstätig		61	65
PKW-Verfügbarkeit	Immer	58	59
	Gelegentlich	23	21
	Nie	19	19
Altersstruktur	Unter 25 Jahre	14	13
	25 – 45 Jahre	39	41
	45 – 65 Jahre	31	33
	> 65 Jahre	16	13

(\*) GA = Jahresabonnement

Für die Modellschätzung wurden die aus den Fragebogen kodierten Entscheidungen und die Werte der Einflussgrößen mit den soziodemographischen Variablen ergänzt. Am Ende der SP-Befragung konnten insgesamt 9'029 Entscheidungen (von 1'164 Personen) bei der Schätzung des Modells berücksichtigt werden. Aus Tabelle 4 ist zu sehen, dass bei den RP-Daten gegenüber den SP-Daten ein höherer Anteil an kürzeren Wegen vorhanden ist. Da der Untersuchungsgegenstand vor allem der Regional- und Fernverkehr ist, wurden bei der SP-Befragung dementsprechend aus den berichteten Wegen vor allem die längeren Wege (mit einer Reiseweite >10 km) gewählt.



Tabelle 4 Beschreibung der Angebotsvariablen

Variable	Minimum		Mittelwert		Median		Maximum		Std. Abweichung	
	SP	RP	SP	RP	SP	RP	SP	RP	SP	RP
Fahrzeit MIV [h]	0.05	0.01	1.26	0.63	0.92	0.36	8.25	6.34	1.10	0.72
Fahrzeit ÖV[h]	0.05	0.00	1.40	0.80	1.00	0.45	6.67	10.45	1.28	0.97
Preis MIV [SFR]	0.00	0.03	12.75	4.86	8.00	2.29	73.00	57.97	12.43	6.56
Preis ÖV [SFR]	2.00	0.09	14.79	6.38	9.00	3.04	88.50	92.81	14.56	8.72
Umsteige [Zahl]	0.00	0.00	0.76	0.63	1.00	0.15	2.00	4.20	0.83	0.79
Umsteigezeit [h]		0.00		0.11		0.01		2.02		0.18
Intervall [h]	0.25	0.15	0.69	0.86	1.00	0.74	1.00	12.00	0.32	0.58
Zugangszeit Bahn [h]	0.17	0.02	0.34	0.18	0.33	0.17	0.58	2.00	0.08	0.12
Verlässlichkeit MIV [%]	0.00		12.28		10.00		20.00		6.89	
Verlässlichkeit ÖV[%]	0.00		10.20		10.00		20.00		6.86	

### 3 Modellansatz und Ergebnisse

Die Modelle der Verkehrsmittelwahl werden aus zwei unterschiedlichen Datengrundlagen geschätzt:

- Revealed Preference
- Stated Preference

Zusätzlich wird auch eine gemeinsame Schätzung mit RP und SP Daten durchgeführt.

Für die Modellierung von Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer werden am häufigsten Logit-Modelle verwendet. Diese Modelle, die das Entscheidungsverhalten des Verkehrsteilnehmers auf der Grundlage der Nutzenmaximierungsannahme modellieren, bieten bezüglich der Widerstandsempfindlichkeiten mehr Flexibilität und lassen sich mittels statistischer Methoden gut an Messungen des Nachfrageverhaltens der Verkehrsteilnehmer anpassen (Ben-Akiva und Lehrman, 1985). Hier ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Alternative  $k$  gewählt wird, gleich der Wahrscheinlichkeit, dass die Nutzen dieser Alternative  $U_{kn}$  grösser sind als die Nutzen  $U_{k'n}$  aller anderen Alternativen  $k'$

$$U_{kn} \geq U_{k'n}, \forall k'$$

Dabei ist

$$U_{kn} = V_{kn} + \mathbf{e}_{kn}$$

wobei  $V$  einer systematischen Nutzenkomponente, die deterministisch ist, und  $\varepsilon$  einer stochastischen (nicht systematischer, zufälliger) Nutzerkomponente entspricht. Aus diesen beiden Komponenten setzen sich den gesamte Nutzen einer Alternative zusammen.

Daraus folgt, dass

$$V_{kn} - V_{k'n} \geq \mathbf{e}_{k'n} - \mathbf{e}_{kn}, \forall k'$$

bzw.

$$P_n(k) = \text{Prob}(V_{kn} + \mathbf{e}_{kn} \geq V_{k'n} + \mathbf{e}_{k'n}; \forall k' \in K_n)$$

P - Wahrscheinlichkeit  
 Prob – Wahrscheinlichkeitsfunktion  
 k,k' – Alternativen  
 n – Person  
 U - Nutzen  
 K - Wahlmengen

ist.

In der Regel wird angenommen, dass die Nutzen bezüglich der Attribute  $x_{kn}$  linear sind, mit einem Vektor unbekannter Parameter  $\beta$

$$V_{kn} = \mathbf{b}_1 x_{kn1} + \mathbf{b}_2 x_{kn2} + \dots + \mathbf{b}_H x_{knB} = \mathbf{b}' x_{kn}$$

Mit der Annahme über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Störterme  $\mathbf{e}_{kn}$  (die Störterme sind stochastisch unabhängig und identisch verteilt) wird mit dem multinomalem Logit Model (MNL) die Auswahlwahrscheinlichkeit der Person n für die Alternative k wie folgt berechnet:

$$P_n(k) = \frac{\exp(V_{kn})}{\sum_{k'} \exp(V_{k'n})} = \frac{\exp(\mathbf{b}' x_{kn})}{\sum_{k'} \exp(\mathbf{b}' x_{k'n})}$$

wo  $x_{kn}$  und  $x_{k'n}$  Vektoren für die Beschreibung der Attribute der Alternativen k und k' sind.

Da hier zwei einander nicht ähnliche Verkehrsmittel (MIV und Bahn) betrachtet werden, ist MNL für diese Analyse als angemessenes Modell zu sehen. Mit diesem Modell werden die Parameter aus getrennten RP- und SP Datengrundlagen geschätzt. Bei gemeinsamer Schätzung von Entscheidungsmodellen auf Grundlage von RP- und SP-Daten wurde das nested-logit-Modell (NL) angewendet.

Nach Ben-Akiva und Morikawa (1992) unterscheiden sich die beiden Datenquellen vor allem in den Parametern der Verteilung der Störgrösse  $e_{kn}$  bei der Nutzenfunktion. Diese Residuen sind das Resultat aller Überlegungen und Randbedingungen des Verkehrsteilnehmer, die im MNL nicht durch messbare Einflussgrössen beschrieben werden können (Axhausen, 1999). Aus diesem Grund müssen die Randbedingungen, die bei der Befragung nicht vollständig reproduziert werden können, im Modell berücksichtigt werden. Beim hier angewendeten nested logit-Modell wird dies durch den Skalierungsparameter  $\mu$  berücksichtigt.

Das Nested Logit Modell stellt eine Verallgemeinerung des Logit-Modells dar, das aus statistischer Sicht un plausible Effekte haben kann, wenn einige Alternativen gleich oder sehr ähnlich sind. Das NL Modell erlaubt Abhängigkeiten oder Korrelationen zwischen den Nutzen der Alternativen innerhalb von gemeinsamen Gruppen (Williams, 1977; McFadden, 1978). Durch die Berücksichtigung von Korrelationen wird mit Nested-Logit-Modell ein wesentlicher Nachteil des MNL-Modells vermieden. Die Ähnlichkeiten bzw. Nutzenkomponenten (sowohl deterministische als auch stochastische Komponenten) können in einem Nested-Logit Modell in Teilkomponenten der zugehörige Alternative aufgespaltet und modelliert werden.

Die Schätzung der Modellparameter sowohl aus der getrennten als auch aus der gemeinsamen Datengrundlage wurde mit Hilfe des Maximum-Likelihood-Verfahrens<sup>1</sup> durchgeführt. Es wurde die Standard Software „LIMDEP 7.0“ (Econometric Software, 1998) verwendet.

Die Modellparameter wurden mit und ohne Berücksichtigung des Fahrtzwecks geschätzt. Die Ergebnisse der SP-Schätzung für das MNL Modell sind in Tabelle 5 dargestellt. Die geschätzten Modellparameter zeigen das richtige Vorzeichen und sind vergleichbar mit Untersuchungen in anderen Ländern (Abay und Axhausen, 2001). Bei der Schätzung der Modellparameter wurde die Annahme getroffen, dass die Preisvariable gleiche Bedeutung für ÖV- und MIV-Nutzer hat. Hinter dieser Annahme steht die Voraussetzung, dass das Geld unabhängig von der Verkehrsmittelwahl und den soziodemographischen Charakteristika für all Personen gleichen Wert hat. Diese Annahme führte zu einer höheren Plausibilität der Modellergebnisse.

---

<sup>1</sup> Die Maximum-Likelihood-Schätzung ist ein Verfahren, um die Parameter eines probabilistischen Modells, wie des Logitmodells, so zu bestimmen, dass die beobachteten Entscheidungen mit grösster Wahrscheinlichkeit reproduziert werden.

Tabelle 5 Ergebnisse der SP-Schätzung (MNL)

Variable	Modell Parameter ( $\beta$ )				
	Alle Fahrzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit/ Urlaub
<b>MIV</b>					
Konstante	0.185 *	-0.839 *	0.287 *	0.137 *	0.445 *
Fahrzeit	-1.383 *	-2.916 *	-1.858 *	-3.189 *	-1.236 *
Preis	-0.050 *	-0.191 *	-0.025 *	-0.126 *	-0.049 *
Verlässlichkeit	-0.006		-0.017		-0.005
PKW-Verfügbarkeit	0.828 *	1.118 *	1.153 *	1.257 *	0.715 *
<b>ÖV</b>					
Fahrzeit	-0.921 *	-1.661 *	-1.390 *	-2.014 *	-0.817 *
Preis	-0.050 *	-0.191 *	-0.025 *	-0.126 *	-0.049 *
Zugangszeit	-2.493 *	-3.354 *	-2.023	-4.489 *	-1.946 *
Verlässlichkeit	-0.005		-0.015		-0.005
Intervall	-0.414 *	-0.868 *	-0.591 *	-0.387 *	-0.321 *
Umsteigezahl	-0.378 *	-0.502 *	-0.524 *	-0.492 *	-0.351 *
Komfort IR-Doppelstock	0.146 *	0.188 *	0.032	0.389 *	0.127
Komfort IC/EC	0.314 *	0.330	0.023	0.397 *	0.339 *
Komfort ICN	0.246 *	0.448 *	0.353	0.196	0.209 *
Männlich	0.046	0.191	-0.994 *	0.295 *	-0.075
Alter	0.007 *	0.001	0.035 *	0.010 *	0.007 *
GA Besitz	1.657 *	0.801 *	1.752 *	1.193 *	1.787 *
Halbtax Besitz	1.001 *	0.894 *	0.874 *	1.036 *	1.028 *
Erwerbstätig	-0.064	-0.094 *			-0.131 *
N – Beobachtungen	9027	1080	650	1181	6116
Adj Pseudo R <sup>2</sup>	0.252	0.247	0.270	0.398	0.237
Log-likelihood Function	-4671	-555	-320	-494	-3224

(\*)  $\alpha < 0.10$ 

Die hier ermittelten Pseudo  $Rsq(\beta)$  zeigen, dass die Modelle eine genügend gute Erklärungskraft haben (Pseudo  $Rsq(\beta)$  sind durchwegs kleiner als  $R^2$ ; ein Pseudo  $Rsq(\beta)$  von 0.4 stellt i.a. schon sehr gute Übereinstimmung dar). Die geschätzten Parameter zeigen, dass die Reisezeit die wichtigste Variable ist. Da die Zugangszeiten in der Regel kürzer sind als die Fahrzeiten, sind die geschätzten Modellparameter für diese Variable höher. Relativ unbedeutend im Vergleich mit anderen Variablen ist die Verlässlichkeit. Neben der Reisezeit ist für die PKW-Benutzer die Autoverfügbarkeit und für die ÖV-Benutzer der Abonnementbesitz die entscheidende Variable. Wegen der Korrelation zwischen der Umsteigezahl und der Umsteigezeit wurde die SP-Befragung nur mit einer Variable durchgeführt. Dabei ist anzunehmen, dass die Befragten bei der vorgegebenen Umsteigezahl erfahrungsgemäss auch eine minimale Umsteigezeit berücksichtigt haben. Hier wird ein Umsteigen mit ca. 20 min. zusätzlicher Fahrzeit bewertet und zeigte sich beim Vergleich zwischen den Fahrzwecke relativ stabil. Die ge-

geschätzten Modellparameter für den Komfort zeigen, wie gross die Zahlungsbereitschaft für diese Variable im Vergleich zu der schlechtesten Zugskategorie (in diesem Fall der Regionalzug, ohne Klimaanlage und Speisewagen) ist. Es zeigte sich, dass das Intervall vor allem für die Pendlerfahrten bedeutend ist. Bemerkenswert ist, dass die ICN Züge als neuste Kategorie nur bei Geschäftsreisenden und Pendler als die beste beurteilt werden. Eine Ursache könnte eine nicht genügende Kenntnis der ICN Züge bzw. fehlendes Vertrauen in diese Technologie seitens der Befragten sein (die ICN Züge wurden erst im Juni 2001 in Betrieb genommen). Wie schon in bisherigen Untersuchungen zeigen die PKW-Benutzer einen höheren Zeitwert als die ÖV Benutzer.

Tabelle 6 Relative Bewertung der Einflussgrössen (SP Schätzung)

	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit / Urlaub
Zeitwert MIV-Fahrzeit [CHF/h]	27.7	15.2	74.6	25.3	25.3
Zeitwert ÖV-Fahrzeit [CHF/h]	18.5	8.7	55.8	16.0	16.7
Zeitwert Intervall [CHF/h]	8.3	4.5	23.7	3.1	6.6
Umsteigewert [CHF/Umsteige]	7.6	2.6	21.0	3.9	7.2
Verlässlichkeit MIV* [CHF/Wahrsch.%]	0.1		0.7		0.1
Verlässlichkeit ÖV* [CHF/Wahrsch.%]	0.1		0.6		0.1
Komfort IR-Doppelstock [CHF]**	2.9	1.0	1.3	3.1	2.6
Komfort IC/EC [CHF]**	6.3	1.7	0.9	3.2	6.9
Komfort ICN [CHF]**	4.9	2.3	14.2	1.6	4.3
<i>Relative Verhältnisse der Parameter</i>					
Fahrzeit PKW / ÖV	1.5	1.8	1.3	1.6	1.5
Verlässlichkeit PKW / ÖV	1.2		1.1		1.2
Umsteigezahl / Fahrzeit ÖV [min./Umsteigen]	24.6	18.1	22.6	14.6	25.8
Intervall / Fahrzeit ÖV	0.4	0.5	0.4	0.2	0.4
Zugangszeit ÖV / Fahrzeit ÖV	2.7	2.0	1.5	2.2	2.4

(\*) Wahrscheinlichkeit für eine Verspätung von min. 10 min.

(\*\*) Im Vergleich mit dem Regionalzug (Nahverkehrszug)

Die Preisparameter liegen im erwarteten Rahmen; höher bei den Pendlern und beim Einkauf als bei Geschäft und Freizeit/Urlaub. Dies entspricht einer höheren Zahlungsbereitschaft bei den Fahrtzwecken Geschäft bzw. Freizeit/Urlaub als bei anderen Fahrtzwecken. Relativ hohe Zeitkostensätze für Freizeit und Urlaub sind durch die hier längeren Fahrten als für den Freizeitverkehr typisch ist und einen grösseren Anteil der Urlaubsfahrten zu erklären. Bei den Pendlern ist infolge regelmässiger und

alltäglicher Werktagfahrten die Zahlungsbereitschaft niedriger. Erwartungsgemäss sind die Zeitwerte bei Geschäftsreisenden deutlich höher als bei anderen Fahrtzwecken. Relativ ähnliche Bedeutung für ÖV und PKW hat die Wahrscheinlichkeit für eine Verspätung, obwohl bei fehlender Signifikanz der zugrunde liegenden Parameter.

Bei der Schätzung der Modellparameter aus RP-Daten müssen wegen der starken Korrelation zwischen den Preis- und Zeitvariablen, welche die Schätzung der Modellparameter beeinträchtigen würde, zwei getrennte Modelle geschätzt werden: ein Zeitmodell und ein Preismodell. Dabei beinhaltet das Zeitmodell keine Preisvariablen und umgekehrt. Da in früheren RP-Untersuchungen (Vrtic und Axhausen, 2000) als auch aus der SP-Schätzungen eine niedrigere Bedeutung der Preisvariablen für die Verkehrsmittelwahl im Vergleich mit der Zeitvariable gezeigt wurde, wird hier für die RP-Daten nur ein Zeitmodell geschätzt. Die Ergebnisse der RP-Schätzungen sind in der Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7 Ergebnisse der RP-Schätzung (MNL)

Variable	Modell Parameter ( $\beta$ )				
	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit/ Urlaub
MIV					
Konstante	-1.915 *	-3.834 *	-0.905 *	-0.967 *	-0.322 *
Fahrzeit	-1.999 *	-3.896 *	-2.004 *	-2.175 *	-1.293 *
PKW-Verfügbarkeit	1.771 *	2.220 *	1.368 *	1.776 *	1.499 *
ÖV					
Fahrzeit	-0.962 *	-2.245 *	-1.029 *	-0.796 *	-0.439 *
Zugangszeit	-3.576 *	-5.557 *	-2.371 *	-4.428 *	-1.894 *
Intervall	-1.153 *	-1.366 *	-1.453 *	-0.998 *	-0.915 *
Umsteigezahl	-0.482 *	-0.197 *	-0.276 *	-0.434 *	-0.648 *
Selbständig	-0.598 *	-1.437 *	0.319	-0.326	-0.226 *
Männlich	-0.178 *	-0.430 *	-0.724 *	-0.061	-0.105 *
Alter	-0.020 *	-0.022 *	-0.017 *	-0.021 *	-0.005 *
GA Besitz	2.787 *	2.911 *	3.530 *	2.657 *	2.642 *
Halbtax Besitz	1.177 *	0.706 *	2.067 *	1.597 *	1.630 *
Erwerbstätig	-0.501 *	-1.275 *		-0.962 *	-0.406 *
N – Beobachtungen	46051	22016	1363	6854	15818
Adj Pseudo R <sup>2</sup>	0.477	0.522	0.394	0.653	0.438
Log-likelihood Function	-16675	-7295	-568	-1647	-6158

(\*)  $\alpha < 0.10$

Auf Grundlage der relativ kleinen Werte der Preisparameter bei SP-Schätzungen ist zu erwarten, dass die Vernachlässigung dieser Variable im RP-Modell keine bedeutende Verzerrung der Modellparameter zur Folge hat. Trotz einer viel höheren Anzahl von Beobachtungen hat das RP-Modell einen hö-

heren Pseudo  $R^2$  ( $\beta$ ). Bei den hier geschätzten Parametern ist wie auch beim SP Modell festzustellen, dass die Reisezeitkomponenten (Zugangszeit und Fahrzeit) für die Verkehrsmittelwahl die wichtigsten Variablen sind. Bestätigt wurde auch eine höhere Bewertung der Fahrzeit durch MIV-Nutzer gegenüber ÖV-Nutzer. Dabei ist zu beachten, dass die hier berechneten Zeiten aus dem nationalen Netzmodell ermittelt wurden und dadurch die MIV Fahrzeit die Zeit im nicht abgebildeten innerstädtischem Netz nicht beinhaltet. Zusätzlich zu der Reisezeit ist für den ÖV der Abonnementbesitz auch hier eine sehr wichtige Variable.

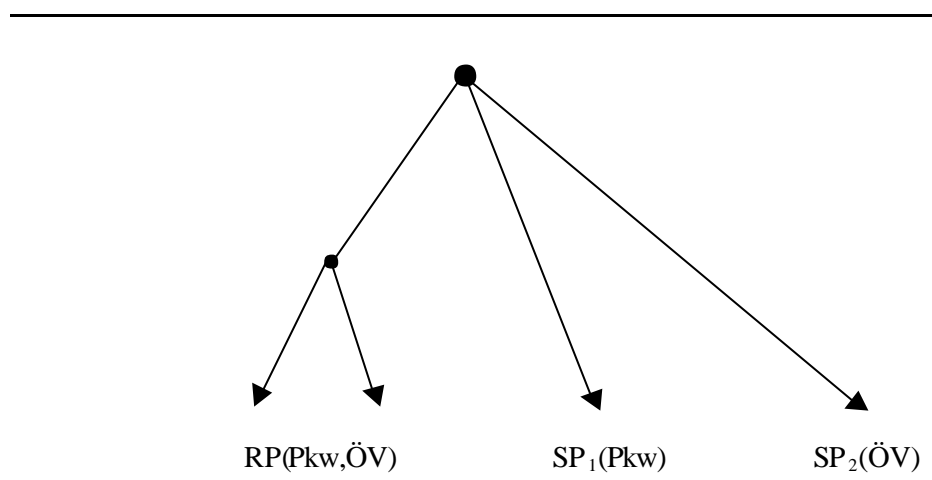
Tabelle 8 Relative Bewertung der Einflussgrößen (RP-Schätzung)

	Alle Fahrzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit / Urlaub
Fahrzeit PKW / ÖV	2.1	1.7	1.9	2.7	2.9
Umsteigezahl / Fahrzeit ÖV [min./Umsteige]	30.1	5.3	16.1	32.7	88.6
Intervall / Fahrzeit ÖV	1.2	0.6	1.4	1.3	2.1
Zugangszeit ÖV / Fahrzeit ÖV	3.7	2.5	2.3	5.6	4.3

Unerwartet niedrig sind im Vergleich mit anderen Fahrzwecken die Fahrzeitparameter für den Fahrzweck Freizeit/Urlaub (sowohl bei PKW als auch bei ÖV). Dies ist vor allem auf einen höheren Anteil längerer Fahrten bei diesem Fahrzweck zurückzuführen. Die mittlere Reiseweite beim Fahrzweck Freizeit/Urlaub ist 76 km gegenüber 24 km beim Pendler und 21 km beim Einkaufsverkehr (RP Daten). Das führte auch zu einer sehr hohen Bewertung der Umsteigezahl im Verhältnis zur Fahrzeit. Eine erhöhte Erwerbstätigkeit und Anzahl von Selbständigen wirkt sich mit der Ausnahme des Fahrtzweckes Geschäft negativ auf die ÖV-Nachfrage aus, was vor allem auf eine Korrelation zwischen diesen Variablen und dem PW-Besitz bzw. verfügbaren Einkommen zurückzuführen ist. Für die Variablen Geschlecht und Alter zeigte die RP Schätzung im Vergleich mit dem SP-Modell eine andere Bedeutung dieser Variable für die ÖV Nachfrage, wobei diese Variablen in beiden Modellen eine eher geringe Bedeutung zukommt. Dabei ist die Signifikanz für die Variable Geschlecht bei der SP Schätzung ungenügend und sollte damit als nicht plausibel betrachtet werden.

Für die gemeinsame Schätzung der Modellparameter aus RP- und SP-Daten (mit dem nested logit-Modell) wurden drei Nester abgebildet, so dass zwei RP- Beobachtungen gemeinsam als eine und zwei SP- Beobachtungen als zwei getrennte Alternative abgebildet werden (Abbildung 2). Beim nested logit-Modell werden durch die Skalierungsparameter  $\mu$  die Unterschiede in den Varianzen der Residuen abgebildet. Damit wird bei dieser Schätzung für jedes Nest ein Skalierungsparameter  $\mu$  (einer für die RP- und zwei für die SP Daten) ermittelt.

Abbildung 2 Struktur des SP/RP-Modells



Als wesentliches Problem für die gemeinsame Modellschätzung zeigte sich die unterschiedliche Datenstruktur und ihre Qualität. Eine deutlich grössere Anzahl RP-Beobachtungen (RP Daten – 46'051 Beobachtungen, SP Daten 9'027 Beobachtungen) mit weniger Variationen innerhalb der Datenstruktur und mit beschränkter Qualität bzw. Genauigkeit der unabhängigen Variablen führte dazu, dass bei einigen Variablen die Modellparameter nicht geschätzt werden konnten. Dadurch ist auch die Plausibilität der ermittelten Modellparameter nicht so hoch wie bei den SP Schätzungen. Ein Vergleich der geschätzten Modellparameter für die Nutzenfunktion aus den SP-, RP- und gemeinsamen RP- und SP-Daten ist in der Tabelle 9 und Tabelle 10 dargestellt.



Tabelle 9 Ergebnisse der gemeinsamen SP/RP Schätzung und Modellvergleiche

Variable	Modellparameter ( $\beta$ )		
	SP-Daten	RP-Daten	SP/RP-Daten**
<b>MIV</b>			
Konstante	0.185 *	-1.915 *	-0.116 *
Fahrzeit	-1.383 *	-1.999 *	-1.828 *
Preis	-0.050 *		-0.068 *
Verlässlichkeit	-0.006		
PKW-Verfügbarkeit	0.828 *	1.771 *	
PKW-Besitz			1.943 *
<b>ÖV</b>			
Fahrzeit	-0.921 *	-0.96 *	-0.899 *
Preis	-0.050 *		-0.068 *
Zugangszeit	-2.493 *	-3.576 *	-1.197 *
Verlässlichkeit	-0.005		
Intervall	-0.414 *	-1.153 *	-0.737 *
Umsteigezahl	-0.378 *	-0.482 *	-0.368 *
Selbständig		-0.598 *	
Komfort IR-Doppelstock	0.146 *		0.176 *
Komfort IC/EC	0.314 *		0.576 *
Komfort ICN	0.246 *		0.328 *
Männlich	0.046	-0.178 *	
Alter	0.007 *	-0.020 *	
GA Besitz	1.657 *	2.787 *	2.584 *
Halbtax Besitz	1.001 *	1.177 *	1.298 *
Erwerbstätig	-0.064	-0.501 *	
N – Beobachtungen	9027	46051	55076
Adj Pseudo R <sup>2</sup>	0.252	0.477	0.724
Log-likelihood Function	-4671	-16675	-21934

(\*)  $\alpha < 0.10$ 

(\*\*) Skalierungsparameter - RP 1.76; SP(Pkw) 0.91; SP(OV) 0.97

Einige Variablen konnten wegen ungenügender Signifikanz nicht berücksichtigt werden. Die wesentlichen Unterschiede in den Modellparametern sind bei den Variablen Zugangszeit und Intervall festzustellen. Der ermittelte Parameter für das Intervall liegt zwischen den Parameterwerten aus den getrennten RP- und SP-Schätzungen. Der aus der gemeinsamen Schätzung ermittelte Parameter für die Zugangszeit ist erfahrungsgemäss als nicht plausibel zu bezeichnen. Die Gründe dafür liegen vor allem in der sehr unterschiedlichen Verteilung der absoluten Werten der Variablen bei den SP- und RP-Daten (siehe Tabelle 4).

Tabelle 10 Relative Bewertung der Einflussgrössen aus der gemeinsamen SP/RP Schätzung und Modellvergleiche

	SP Daten	RP Daten	RP / SP
Zeitwert MIV-Fahrzeit [CHF/h]	27.7		26.8
Zeitwert ÖV-Fahrzeit [CHF/h]	18.5		13.2
Zeitwert Intervall [CHF/h]	8.3		10.8
Umsteigewert [CHF/Umsteige]	7.6		5.4
Verlässlichkeit MIV* [CHF/Wahrsch.%]	0.1		
Verlässlichkeit ÖV* [CHF/Wahrsch.%]	0.1		
Komfort IR-Doppelstock [CHF]**	2.9		2.6
Komfort IC/EC [CHF]**	6.3		8.4
Komfort ICN [CHF]**	4.9		4.8
<i>Relative Verhältnisse der Parameter</i>			
Fahrzeit PKW / ÖV	1.5	2.1	2.0
Verlässlichkeit PKW / ÖV	1.2		
Umsteigezahl / Fahrzeit ÖV [min./Umsteige]	24.6	30.1	24.6
Intervall / Fahrzeit ÖV	0.4	1.2	0.8
Zugangszeit ÖV / Fahrzeit ÖV	2.7	3.7	1.3

(\*) Wahrscheinlichkeit für eine Verspätung von min. 10 min.

(\*\*) Im Vergleich mit dem Regionalzug (Nahverkehrszug)

Die relativen Verhältnisse der Variablen bei der gemeinsamen Schätzung haben sich nicht bedeutend verändert gegenüber der SP-Schätzung. Die Zeitwerte für die Fahrzeit und das Intervall sowie der Umsteigewert sind relativ stabil geblieben. Verändert hat sich hingegen vor allem das relative Verhältnis zwischen der Zugangszeit und der Fahrzeit.

Detaillierte Modellschätzungen sind in Vrtic, Axhausen, Maggi und Rossera (2001) zu finden.

## 4 Ausblick

Mit dieser Untersuchung wurden in der Schweiz zum ersten Mal die Modelle der Verkehrsmittelwahl aus einer SP Datengrundlage geschätzt. Damit konnte gezeigt werden, wie unterschiedlich die Modellergebnisse aufgrund einer SP und RP Datengrundlage sind. Weiter wurde nochmals auf die Probleme und die für die Modellschätzung geeignete Datengrundlage hingewiesen. Hier sind vor allem die beschränkten Möglichkeiten der RP Daten zu erwähnen. Die gemeinsamen Modellschätzungen aus den RP und SP Daten sind methodisch dann sinnvoll, wenn sich die Struktur dieser zwei Datensätze nicht stark unterscheidet. Die geschätzten Modellparameter, die Zeitwerte und die relativen Bewertungen

der Einflussgrößen haben die Bedeutung der einzelnen Variablen für die Verkehrsmittelwahl aufgezeigt. Von den Angebotsvariablen sind Zugangszeit und Fahrzeit die zwei für die Verkehrsmittelwahl wichtigsten Variablen. Von den soziodemographischen Variablen wird durch die PKW-Verfügbarkeit und den Abonnementbesitz die Verkehrsmittelwahl stark prädestiniert.

Die aus den SP Daten ermittelten Parameter zeigen aufgrund bisheriger Analysen eine höhere Plausibilität und Akzeptanz. Bei RP Schätzungen konnten wegen vorhandener Korrelationen unabhängiger Variablen nicht alle Parameter geschätzt werden. Dies bezieht sich vor allem auf die starke Korrelation zwischen der Zeit- und Preis-Variable, so dass Preisparameter nur aus SP Daten geschätzt wurden.

## 5 Danksagung

Die Autoren möchten sich bei Thomas Schmid und Philippe Müller, Schweizerische Bundesbahnen AG, und Michael Arendt und Walter Züst, Bundesamt für Raumentwicklung, für die vielfältigen, wertvollen Anregungen und die Unterstützung bei den Datenerhebungen bedanken. Darüber hinaus bedanken wir uns für die Mitarbeit der PTV AG, Karlsruhe, und des LINK Institut, Luzern, bei der SP-Erhebungen.

## 7 Literatur

- Abay, G. and K.W. Axhausen (2001) Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Vorstudie, *SVI Forschungsberichte*, **42/00**, Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), Zürich.
- Axhausen K.W. (1999) Nachfragemodelle für den ÖPNV auf der Grundlage von RP und SP-Daten, *Heureka '99*, 59-71, FGSV, Köln.
- Axhausen, K.W. and G. Sammer (2001) stated responses: Überblick, Grenzen, Möglichkeiten, *Internationales Verkehrswesen*, **53** (6) 274-278.
- Axhausen, KW., T. Haupt, B. Fell and U. Heidl (2001) How much of a rail bonus is there ? *Urban Transport International*, **34** (3-4) 14-16.
- Ben-Akiva, M.E. und S.R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis*, MIT Press, Cambridge.
- Ben-Akiva, M.E. und T. Morikawa (1990) Estimation of switching models from revealed preferences and stated intentions, *Transportation Research*, **24A** (6) 485-495.
- Econometric Software (1998) LIMDEP 7.0, Econometric Software, Sydney.
- Carrasco, J.A. und J.D. Ortuzar (2001) A review and assessment of the Nested Logit Model, *80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2001.
- FGSV (1995) Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preferences, FGSV, Köln
- Maier G. und P. Weiss (1989) *Modelle diskreter Entscheidungen*, Springer-Verlag, Wien
- McFadden, D. (1978) Modeling the Choice of Residential Location, in *Spatial Interaction Theory and Residential Location*, 75-272, A. Karlqvist et al. (Hrsg), North Holland, Amsterdam.
- Schweizerischen Bundesbahnen (2001) Kontinuierliche Erhebung Personenverkehr (KEP), SBB, Bern.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, R.Maggi und F. Rossera (in Arbeit) Verifizierung von Prognosemethoden am Beispiel "Einführung ICN", Im Auftrag der SBB und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), IVT, ETH Zürich und IRE ,USI Lugano, Zürich und Lugano.
- Vrtic, M. and K.W. Axhausen (2000) Modelle der Verkehrsmittelwahl: Regionale Wege in der Schweiz, *Stadt Region Land*, **69**, 193-204, Institut für Stadtbauwesen, RWTH Aachen.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, R. Koblo und M. Vödisch (2000) Entwicklung eines bimodalen Personenverkehrsmodells als Grundlage für Bahn 2000, 2.Etappe, Auftrag 2 - Herleitung einer Modal-Split

Funktion, Bericht an die SBB und den Dienst für Gesamtverkehrsfragen, IVT, ETH Zürich und Prognos AG, Zürich und Basel.

Williams, H.C.W.L. (1977) On the formation of travel demand models and economic evaluation measure of user benefit, *Environment and Planning A*, **9**, 285-344

