


# Modelle der Verkehrsmittelwahl

## Regionale Wege in der Schweiz

**Journal Article****Author(s):**

Vrtic, Milenko; Axhausen, Kay W. 

**Publication date:**

2000

**Permanent link:**

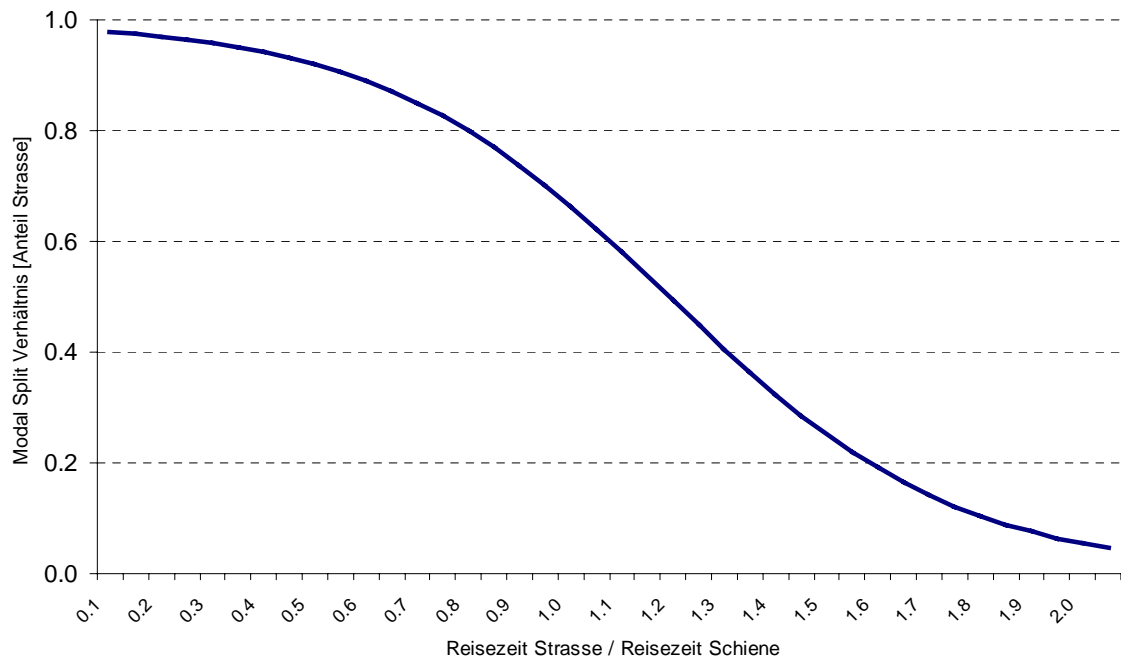
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004241613>

**Rights / license:**

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

**Originally published in:**

Stadt - Region - Land 69



## Modelle der Verkehrsmittelwahl: Regionale Wege in der Schweiz

Vortrag beim Aachener Kolloquium „Mobilität und Stadt“, Verkehrsmodelle in Forschung und Praxis

M Vrtic und K W Axhausen

Arbeitsbericht  
Verkehrs- und Raumplanung

38  
August 2000

**Title**

Working paper

Name of the authors

IVT

ETH Zürich

August 2000

**ABSTRACT****KEYWORDS**

# **Modelle der Verkehrsmittelwahl: Regionale Wege in der Schweiz**

Milenko Vrtic, Kay W. Axhausen

IVT  
ETH Zürich

August 2000

## **KURZFASSUNG**

Für die Quantifizierung von Veränderungen der Verkehrsmittelwahl infolge von Infrastruktur- und verkehrspolitischen Massnahmen ist die Kenntnis der Wirkungszusammenhänge zwischen der Verkehrsnachfrage und nachfrage-beeinflussenden Faktoren eine wesentliche Voraussetzung. Aus empirischen Datengrundlagen wurden für ein multinomiales Logitmodell die wichtigsten angebots- und nachfrageseitigen Parameter der Verkehrsmittelwahl (im Personenverkehr) geschätzt. In der Folge konnte gezeigt werden, dass durch eine Querschnittsanalyse aus der empirischen Datengrundlage nicht alle Parameter der Verkehrsmittelwahl plausibel ermittelt werden können. Hier werden vor allem wegen bestehender Korrelationen der unabhängigen Variablen (z.B. Zeit und Preis) und auch aufgrund der ungenügenden Qualität der Daten die Modellschätzungen beeinträchtigt. Um die empirische Datengrundlage zu ergänzen, wird empfohlen eine gezielte Befragung der Verkehrsteilnehmer über ihr Verkehrsverhalten durchzuführen (sowohl Revealed- als auch Stated Preference).

## **SCHLAGWORTE**

Personenverkehr, Verkehrsnachfrage, Verkehrsmittelwahl, Verkehrsprognose, Multinomiales Logitmodell, Modal Split-Funktion

## **1 EINLEITUNG**

Für die Quantifizierung der Auswirkungen von Infrastruktur- und verkehrspolitischen Massnahmen auf den Verkehr sind die Modelle der Verkehrsmittelwahl häufig die wichtigsten aber auch problematischsten Komponenten. Da die (räumliche) Übertragung der ermittelten Parameter der Verkehrsmittelwahl nur unter definierten Rahmenbedingungen mit vergleichbaren angebots- und nachfrageseitigen Charakteristika sinnvoll ist, führt die Anwendung von anderswo geschätzten Elastizitäten oder Modellkoeffizienten oft zu irreführenden oder gar unplausiblen Ergebnissen. Aus diesem Grund hat das IVT im Auftrag der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) und des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen (GVF) ein entsprechendes Verkehrsmittelwahlmodell für die regionalen Wege (mit einer Reiseweite über 10 km) in der Schweiz entwickelt (Vrtic, Axhausen, Koblo und Vödisch, 2000).

Ein weiterer Hintergrund für diese Untersuchung sind die konzeptionellen Angebotsplanungen im Rahmen der 2. Etappe der Bahn 2000. Dafür konnte mit vorherigen Arbeiten zur Entwicklung eines bimodalen Personenverkehrsmodells die Abbildung des aktuellen Verkehrszustands (mit der Weiterentwicklung des ÖV-Umlegungsalgorithmus) abgeschlossen werden (Vrtic, Koblo und Vödisch, 1999). Für ein prognose- und massnahmensensitives Verkehrsmodell ist es nötig, einerseits alle Input-Parameter (Wunschlinien, Netze...) und Einflussgrössen (Zeitwerte, Tarife, Fahrpläne...) im Verkehrsmodell richtig abzubilden und zu quantifizieren und andererseits auch richtige, d.h. realitätsnahe Modellalgorithmen zu erstellen. Neben einer realistischen Abbildung des Routenwahlmodells sind die Gesetzmässigkeiten der Verkehrsmittelwahl eine zweite wichtige Modellkomponente.

Die Aufgabe wurde in drei Teile unterteilt:

- Etablierung eines geeigneten Modal Split-Ansatz (MS) und dessen Implementierung im Verkehrsmodell
- Bestimmung der Parameter der Verkehrsmittelwahl für den MS-Ansatz aus den empirischen Datengrundlagen
- Plausibilisierung der ermittelten MS-Funktionen

Der Aufsatz folgt in seiner Darstellung dieser Reihenfolge.

## **2 ENTWICKLUNG EINES MS-ANSATZ UND SEINE IMPLEMENTIERUNG IM VERKEHRSMODELL**

Für die Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen den MS-Veränderungen und den nachfragebeeinflussenden Faktoren wurde ein Ansatz gewählt, mit welchem die auftretenden Effekte, sowie angebots- als auch nachfrageseitige Veränderungen in einem Schritt berechnet werden können. Bei der Berechnung der Veränderung der Verkehrsmittelwahl infolge von Angebotsänderungen wird vorausgesetzt, dass als Grundlage ein Ist-Zustand (mit Verkehrsangebot und Quell-/Ziel-Matrix nach Verkehrsmitteln: Null-Variante = Referenzfall) und ein Nachher-Zustand mit Verkehrsangebot im Sinne einer Plan-Variante gegeben sind.

Für die Bestimmung der Verkehrsmittelwahl wird ein multinomiales Logitmodell (MNL) verwendet. Da hier zwei einander nicht ähnliche Verkehrsmittel (Personenwagen und Zug) betrachtet werden, ist das MNL für diese Aufgabe ein angemessenes Modell. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Verkehrsmittel  $k$  für eine Quell-/Ziel-Beziehung gewählt wird, ist:

$$P_k = \frac{e^{V_{(k)}}}{\sum_{k=1}^n e^{V_{(k)}}} \quad (1)$$

$P_k$  = Wahrscheinlichkeit der Alternative  $k$

$n$  = Anzahl Alternativen

$V_{(k)}$  = Nutzenfunktion der Alternative  $k$

MNL-Modelle basieren auf der Annahme, dass die Verkehrsteilnehmer ihren privaten Nutzen maximieren, respektive ihre generalisierten Kosten minimieren (Ben-Akiva und Lerman, 1985). Der Nutzen  $V_k$  der einzelnen Verkehrsmittel wird aus dem Variablenwert (Zeit in min. oder Preis in Fr.,...) und den ermittelten Parametern (Koeffizienten  $\beta$ ) berechnet:

$$V_k = \beta_0 + \sum_i (\beta_i * Variable_i) \quad (2)$$

Durch die Parameter wird der Beitrag der einzelnen Variablen zum Nutzen abgebildet. Der stochastische Anteil (nicht systematischer, zufälliger, nicht beschreibbarer Anteil) des Nutzen ( $\varepsilon_k$ ) wird hier durch die Modellform berücksichtigt ( $U_k = V_k + \varepsilon_k$ ).

## 2.1 Berechnung der MS-Anteile infolge Angebotsveränderungen

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Verkehrsmittelwahl infolge von Angebotsveränderungen erfolgt in zwei Schritten:

- Berechnung des neuen Nutzens der einzelnen Verkehrsmittel mit verändertem Verkehrsangebot anhand der Modellparameter und der neuen Variablenwerte
- Berechnung der Wahrscheinlichkeitsveränderungen der Verkehrsmittelwahl und der daraus ermittelten Quell-/Ziel-Matrix für den Planfall. Dies erfolgt mit einem Pivot-point-Modellansatz (Ortuzar und Willumsen, 1995)

Hier werden die Veränderungen der MS-Anteile infolge Angebotsänderungen direkt durch die Berechnung der Nutzendifferenzen ermittelt:

$$P'_k = \frac{P_k^0 * e^{(V_k - V_k^0)}}{\sum_i P_i^0 * e^{(V_i - V_i^0)}} \quad (3)$$

wobei:

$(V_k - V_k^0)$  Nutzenänderung für Verkehrsmittel k

$P'_k$  MS-Anteile im Planfall für Verkehrsmittel k

$P_k^0$  MS-Anteile im Referenzfall für Verkehrsmittel k (aus Quell-/Ziel-Matrix<sup>1</sup>) gemäss:

$$P_k^0 = \frac{F_k(o,d)}{\sum_{i=1} F_i(o,d)} \quad (4)$$

$F_k$  = Anzahl Fahrten

k = betrachtete Verkehrsmittel

n = Anzahl berücksichtigte Verkehrsmittel

### 3 BESTIMMUNG DER PARAMETER DER VERKEHRSMITTELWAHL FÜR DEN MS-ANSATZ

---

<sup>1</sup> Die Matrizen lagen aus früheren Untersuchungen vor (Fusseis / Sigmaplan, 1998; SBB (1998a).

Die Ermittlung der Parameter der MS-Funktion bildet die zentrale Aufgabe des Verkehrsmittelwahlmodells. Durch die Bestimmung von  $\beta$ -Parameter im MS-Ansatz wird der Verlauf der MS-Funktion definiert, welche die Abhängigkeit des MS-Anteils eines Verkehrsmittels vom berechneten Nutzen (quantifizierte Verkehrsangebot) beschreibt.

Betrachtet wurde dabei der Schienenpersonenverkehr (ÖV) und der individuelle Strassenpersonenverkehr (PW).

### **3.1 Datengrundlage**

Zur Bestimmung der abhängigen Variablen (Wahl der Verkehrsmittel) wurden die Daten des Mikrozensus 1994 (MZ) verwendet (Bundesamt für Statistik und Dienst für Gesamtverkehrsfragen, 1995). Die unabhängigen Variablen (ausser Zu- und Abgangszeit) wurden aus dem aktuellen Strassen- und Schienennetzmodell übernommen. Der Mikrozensus Verkehrsverhalten wird alle fünf Jahre durchgeführt und stellt Informationen über das Verkehrsverhalten der Schweizer Bevölkerung zur Verfügung. Das Hauptziel der Befragung besteht in der Erfassung des Mobilitätsverhaltens, welches für einen Stichtag erhoben wird. Für die hier gestellte Aufgabe wird analysiert, wie zwischen verschiedenen Quell-/Ziel-Beziehungen in Abhängigkeit vom vorhandenen Verkehrsangebot und von sozio-demographischen Eigenschaften die Verkehrsmittel gewählt werden. Damit werden für jede MZ-Beobachtung neben der abhängigen Variablen mit den Angaben über die Verkehrsmittelwahl auch Einflussfaktoren als unabhängige Variablen definiert.

Bei der Bearbeitung der Mikrozensusdaten wurden nur die Beobachtungen mit einer Reiseweite über 10 km berücksichtigt. Ausgewählt wurden die Wege bei denen die Hauptverkehrsmittel Personenwagen oder Bahn waren. Von insgesamt 58'315 Wegen aus dem Mikrozensus wurden 10'728 Wege berücksichtigt. Davon wurden 82% der Wege mit dem PW (61% Selbstfahrer, 21% Mitfahrer) und 18% mit der Bahn zurückgelegt. Um die Repräsentativität der Stichprobe gegenüber der Grundgesamtheit zu erreichen, wurde jede Beobachtung mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert.

Als unabhängige Variablen wurden verwendet (siehe auch Tabelle 1):

- Generalisierten Kosten (gewichtete Summe der einzelnen Variablen; kalibriert für die Routenwahl)
- Reisezeit
- Preis
- Umsteigezahl
- Anzahl Halte
- Fahrzeit
- Umsteigezeit



- Intervall

Tabelle 1 Beschreibung der unabhängigen Variablen

Variable	Einheit	Minimum	Mittelwert	Median	Maximum	Std. Abweichung
<b>Individualverkehr</b>						
Generalisierte Kosten	[SFR]	0.44	10.64	7.31	116.54	10.88
Zu- und Abgangszeit	[h]	0.00	0.12	0.12	0.42	0.05
Reisezeit	[h]	0.02	0.49	0.35	5.07	0.48
Preis	[SFR]	0.13	3.21	2.03	42.69	3.67
<b>Öffentlicher Verkehr</b>						
Generalisierte Kosten	[SFR]	1.68	22.37	16.06	172.10	19.43
Zu- und Abgangszeit	[h]	0.00	0.51	0.53	2.40	0.19
Reisezeit	[h]	0.15	0.82	0.62	6.35	0.62
Preis	[SFR]	0.15	7.25	4.42	114.65	8.68
Fahrtzeit	[h]	0.02	0.42	0.28	5.10	0.43
Halte	(Zahl)	0.00	3.40	2.00	25.00	3.28
Umsteige	(Zahl)	0.00	0.48	0.00	5.00	0.68
Intervall	[h]	0.10	0.80	0.54	6.50	0.69
Umsteige Zeit	[h]	0.00	0.11	0.00	1.42	0.18

Die Reisezeiten im öffentlichen Verkehr sind als die Fahrtzeit inklusive die Umsteige- und Wartezeit auf dem Bahnhof (aus dem Intervall errechnet) zu verstehen. Die Reisezeit im Individualverkehr beinhaltet keine Fahrtzeit auf innerstädtischen Netzen.

Die Zu- und Abgangszeiten wurden im Individualverkehr als Fahrtzeit zum Fernstrassennetz und im ÖV als die Zeit von der Haustür zum nächsten Bahnhof definiert. Diese Zeiten konnten für den ÖV (Beobachtungen, bei denen die Bahn als Hauptverkehrsmittel gewählt wurde) direkt aus dem Mikrozensus übernommen werden. Für den Individualverkehr sowie den Öffentlichen Verkehr als nicht gewählte Alternative mussten Zu- und Abgangszeiten neu berechnet werden. Diese Zeiten wurden in zwei Schritten berechnet. Im ersten Schritt wurde für jede Beobachtung auf Grundlage der Postleitzahl der Wohnung und den gegebenen Koordinaten des Schwerpunkts des Postleitzahlbezirks

mit Hilfe eines GIS die Entfernung bzw. die Zugangsweite zum nächsten Bahnhof und zum Fernstrassennetz berechnet. Im zweiten Schritt wurde mittels Regression zwischen der Zugangsweite und der Zugangszeit die Zugangszeit für jede Beobachtung und beide betrachtete Alternativen geschätzt:

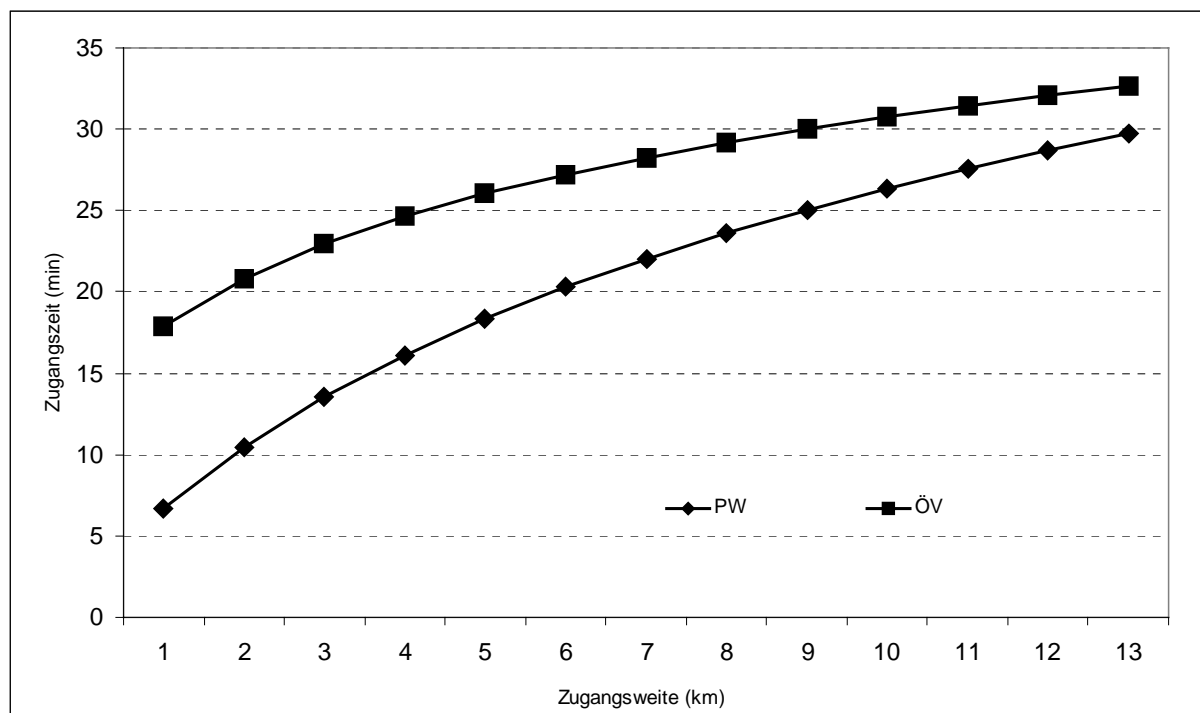
$$\text{IV: Zugangszeit [min]} = 2.5 + 7 * (\ln(x + 1))^{1.4},$$

$$\text{ÖV: Zugangszeit [min]} = 13.5 + 6.6 * (\ln(x + 1))^{1.1},$$

mit x - Zugangsweite in km.

Die IV-Funktion sowie die funktionale Form der ÖV-Funktion wurden von Krämer (1992) übernommen (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1 Funktionaler Zusammenhang zwischen Zugangsweite und Zugangszeit



Der Preis für ÖV-Nutzer wurde in Abhängigkeit von der Fahrausweisstruktur des ÖV berechnet (Generalabonnement = 6.5 Rp/Pkm, Halbtaxabonnement = 14.5 Rp/Pkm, Kein Abonnement = 27 Rp/Pkm, Pkw = 11 Rp/Pkm).

In diesem Datensatz bestehen starke Korrelationen zwischen den Preis- und Zeitvariablen, sowie zwischen der ÖV-Reisezeit, der Zahl der Umsteigevorgänge und der Umsteigezeit. Diese Korrelationen der unabhängigen Variablen (Zeit und Preis) sind nicht zu vermeiden, da die Reisezeit

von der Reisedistanz abhängt, aber auch die Reisekosten direkt von der Reisezeit abhängen. Da die Reisezeit auch die Umsteigezeit beinhaltet, wird die Umsteigezeit im Modell vorerst nicht betrachtet.

### **3.2 Berechnung der Modellparameter**

Die Schätzung der Parameter wurde mit Hilfe des Maximum-Likelihood-Verfahrens<sup>2</sup> durchgeführt. Es wurde die Standard-Software „LIMDEP“ Econometric Software (1998) verwendet.

Um die zuvor genannten Korrelationen zwischen den Preis- und Zeitvariablen, welche die Schätzungen beeinträchtigen, im Modell zu vermeiden, wurden jeweils zwei getrennte Modelle geschätzt: ein Zeitmodell und ein Preismodell. Dabei beinhaltet das Zeitmodell keine Preisvariablen und umgekehrt. Es wurden mehrere Variablenkombinationen analysiert und ausgewertet.

Bei der Ermittlung der Modell-Parameter wurden grundsätzlich zwei getrennte Variablenkombinationen unterschieden:

- Modelle mit ausschliesslicher Berücksichtigung der Angebotsvariablen
- Modelle mit Berücksichtigung der angebotsbezogenen und der sozio-demographischen Variablen

Zusätzlich wurden wegen der vorhandenen Korrelationen der unabhängigen Variablen (ÖV Reisezeit, Umsteigezeit und Umsteigezahl) folgende Modelle unterschieden:

- Modelle mit ÖV-Reisezeit (inkl. Umsteigezeit und Wartezeit) und ohne Umsteigezahl
- Modelle mit ÖV-Reisezeit (inkl. Umsteigezeit und Wartezeit) und mit Umsteigezahl
- Modelle mit reiner ÖV-Fahrzeit (ohne Umsteigezeit und Wartezeit) , Umsteigezeit und Umsteigezahl

Mit dieser Unterscheidung der Variablenkombination konnten die Veränderungen der Modellparameter analysiert werden. Zusätzlich können in Abhängigkeit der verfügbaren Datenbasis entsprechende Modellergebnisse auch für die praktische Anwendung verwendet werden.

#### **3.2.1 Modelle mit Angebotsvariablen**

---

<sup>2</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.

In einem erstem Schritt wurden die Modellparameter für das Zeitmodell ohne sozio-demographische Eigenschaften analysiert. Die Ergebnisse ( $\beta$ -Parameter für die Nutzenfunktion) sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Parameter für das Zeitmodell (ohne Fahrtzweckunterscheidung)

Zeitmodell (ohne Preisvariable)	Modellparameter ( $\beta$ -Werte)					
	CGEN	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
<b>PW</b>						
Konstante	1,644 *	1,581 *	1,530 *	0,805 *	0,913 *	0,902 *
Gen. Kosten	-0,077 *					
Reisezeit		-1,915 *	-1,785 *	-1,767 3	-1,363 *	-1,336 *
Zu- und Abgangszeit				-6,685 *	-6,731 *	-6,724 *
<b>ÖV</b>						
Gen. Kosten	-0,035 *					
Reisezeit		-1,181 *	-0,973 *	-0,898 *	-0,306 *	-0,262 *
Anzahl Halte						-0,008 *
Anzahl Umsteige					-0,511 *	-0,515 *
Intervall			-0,200 *	-0,164 *	-0,116 *	-0,119 *
Zu- und Abgangszeit				-3,294 *	-3,275 *	-3,274 *
N-Beobachtungen	10353	10353	10353	10353	10353	10353
Adj Pseudo Rsq( $\beta$ )	0,355	0,354	0,355	0,383	0,387	0,387
Log-likelihood function	-5591	-5597	-5589	-5346	-5313	-5313
Relative Verhältnisse der Parameter						
CGEN PW / ÖV	2,20					
Reisezeit PW / ÖV		1,62	1,83	1,97	4,45	5,11
Intervall ÖV / Reisezeit ÖV			0,21	0,18	0,38	0,45
Zu-Abgangszeit ÖV / Reisezeit ÖV				3,67	10,70	12,51
Zu-Abgangszeit IV / Reisezeit IV				3,78	4,94	5,03

(\*) Signifikanz über 95 %

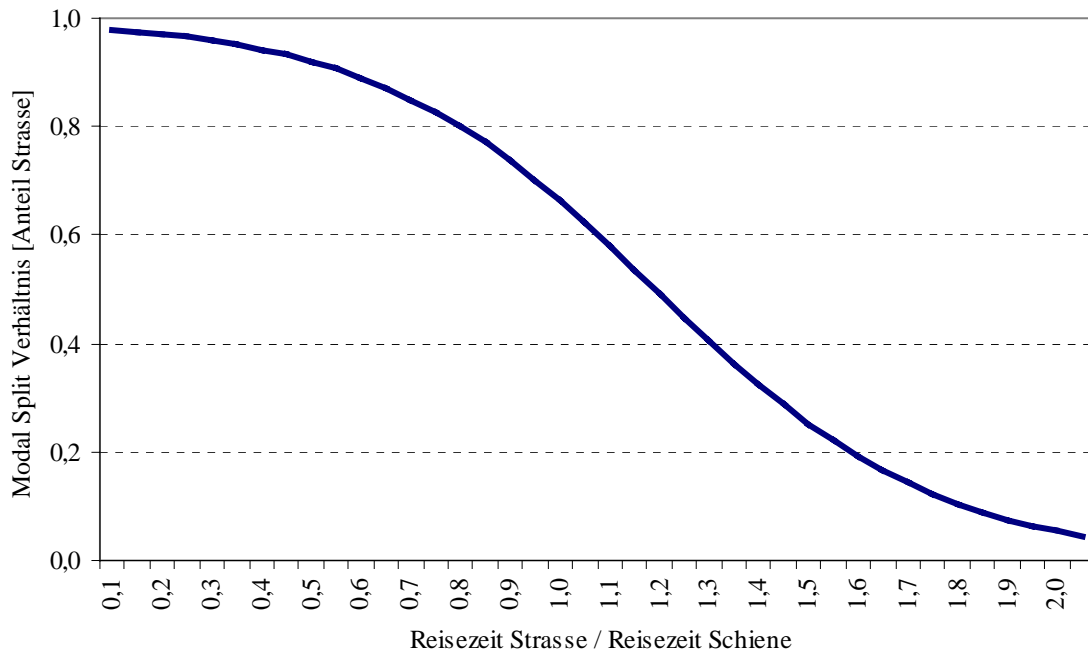
Hier muss man sich der Tatsache bewusst sein, dass bei Nichtberücksichtigung der Preisvariable die im Modell ermittelten Parameter auch die Bedeutung des Preises für die Verkehrsmittelwahl erfassen.

Damit wird der Preisparameter in den anderen ermittelten Parameter versteckt. Die fünf abgebildeten Varianten unterscheiden sich in der Anzahl der berücksichtigten Variablen. Je kleiner die Zahl der berücksichtigten Variablen ist, desto grösser sind die Modellparameter. Dies bestätigt die These, dass durch fehlende Berücksichtigung eines für die Verkehrsmittelwahl bedeutenden Einflussfaktors, die Modellparameter der berücksichtigten Variablen verzerrt werden, d.h. diese Parameter berücksichtigen die Bedeutung der nicht berücksichtigten Variablen. Bei den geschätzten Parameter ist festzustellen, dass für die Verkehrsmittelwahl die Zu- und Abgangszeiten die wichtigste Variablen sind. Fast unbedeutend für die Verkehrsmittelwahl ist dabei die Anzahl der Halte. Die relativ kleine Bedeutung des Intervalls könnte durch das schon dichte Fahrplanangebot erklärt werden. Dabei ist auch zu sehen, dass die Reisezeiten, sowie die Zu- und Abgangszeiten für die PW-Benutzer viel grössere Bedeutung haben als für die ÖV-Benutzer.

Die ermittelten Pseudo  $R^2$  ( $\beta$ ) zeigen, dass die Modelle eine gute Erklärungskraft haben. Die Pseudo  $R^2$  ( $\beta$ ) sind durchwegs kleiner als  $R^2$ ; ein Pseudo  $R^2$  ( $\beta$ ) von 0.4 stellt i.a. schon sehr gute Übereinstimmung dar.

Die ermittelten Reisezeitparameter im ÖV beziehen sich auf die gesamte Zeitdauer von Bahnhof zu Bahnhof, inklusive Umsteige- und Wartezeit am Bahnhof. Die Bedeutung des Umsteigens bei der Verkehrsmittelwahl wird durch die Umsteigezeit und Umsteigehäufigkeit dargestellt. Da die Umsteigezeit schon in der Reisezeit berücksichtigt wurde und zwischen der Reisezeit und der Umsteigehäufigkeit eine relativ hohe Korrelation (0.69) besteht, ist die Plausibilität der ermittelten Parameter für die Umsteigezahl allerdings fraglich. Eine starke Veränderung zeigte sich bei diesen beiden Variablen vor allem bei dem Zeitparametern im ÖV (von  $-0.898$  auf  $-0.306$ ), wobei die Parameter für andere Variablen relativ unverändert bleiben. Zusätzlich ist festzustellen, dass die deutlichste Signifikanzerhöhung im Modell beim Übergang von Variante 2 auf Variante 3 erreicht wurde, so dass weitere Variablen (Anzahl Umsteigevorgänge und Anzahl Halte) in Varianten 4 und 5 keine deutliche Modellverbesserung gebracht haben. Da die Umsteigevariable vor allem wegen der Korrelation mit einigen Unsicherheiten verbunden ist, ist die Variante 3 die plausibelste.

Ein Beispiel des Verlaufs der MS-Kurve bei der Anwendung dieser Parameter (Variante 3, mit Reisezeitveränderungen) ist in Abbildung 2 dargestellt.



Für die Ermittlung der Modellparameter ( $\beta$ -Parameter) mit Fahrtzweckunterscheidung wurden die Mikrozensus Beobachtungen in Pendlerwege (Arbeit und Ausbildung) und andere Wege unterteilt. Die ermittelten Modellparameter sind in der Tabelle 3 dargestellt. Dabei wurde nur Variante 3 (aus Tabelle 2) geschätzt.

Im Vergleich mit dem Zeitmodell ohne Fahrtzweckunterscheidung sind die für Pendler ermittelten Modellparameter sowohl für den PW als auch für die Bahn deutlich höher (Tabelle 3). Daraus ist festzustellen, dass die Zeitwerte ebenso wie die Verlässlichkeit (Intervall) für diese Verkehrsteilnehmer im Durchschnitt eine höhere Bedeutung haben als bei allen anderen Verkehrsteilnehmern. Bei den anderen Fahrtzwecken ist eine niedrigere Bedeutung der Zeit und der Intervalle gegenüber den Pendlerwegen (bzw. ohne Fahrtzweckunterscheidung) festzustellen. Für diese Fahrtzwecke zeigte sich das Intervall fast unbedeutend, was darauf zurück zu führen ist, dass es keine regelmässigen Fahrten sind und die Frequenz vor allem für die Pendlerfahrten eine stärkere Bedeutung hat.

Tabelle 3 Modell-Parameter für das Zeitmodell (mit Fahrtzweckunterscheidung)

Zeitmodell (ohne Preisvariable)	Modellparameter ( $\beta$ -Wert)
---------------------------------	----------------------------------

	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Andere Fahrtzwecke
<b>PW</b>			
Konstante	0,805 *	-0,175 *	1,658 *
Reisezeit	-1,767 *	-2,120 *	-1,609 *
Zu- und Abgangszeit	-6,685 *	-6,928 *	-5,187 *
<b>ÖV</b>			
Reisezeit	-0,898 *	-1,124 *	-0,633 *
Intervall	-0,164 *	-0,368 *	-0,050 *
Zu- und Abgangszeit	-3,294 *	-3,887 *	-2,495 *
N-Beobachtungen	10353	3427	6926
Adj Pseudo Rsq( $\beta$ )	0,383	0,244	0,493
Log-likelihood function	-5346	-2160	-2944
<b>Relative Verhältnisse der Parameter</b>			
Reisezeit PW / ÖV	1,97	1,89	2,54
Intervall ÖV / Reisezeit ÖV	0,18	0,33	0,08
Zu-Abgangszeit ÖV / Reisezeit ÖV	3,67	3,46	3,94
Zu-Abgangszeit IV / Reisezeit IV	3,78	3,27	3,22

(\*) Signifikanz über 95 %

### ***Berechnete Modell-Elastizitäten***

Für alle berechneten Modellparameter wurden auch die Elastizitäten berechnet (Tabelle 4). Diese Werte sind als die Elastizität für den Mittelwert der Beobachtungen zu verstehen. Gegenüber den Modal Split-Parametern wird bei der Elastizitätenanwendung als relative Parameter der absolute Wert der Variablen und die Grösse der Variablenveränderung nicht berücksichtigt. Entsprechend der Anzahl der Beobachtungen mit Verkehrsmittelwahl PW oder Bahn im Datensatz ist auch das Verhältnis der Nachfrageveränderungen zwischen PW und Bahn unterschiedlich (ca. 3.5 bis 5 mal höhere relative Veränderungen der Bahnnachfrage gegenüber PW-Nachfrage). Aus der Analyse der hier berechneten Elastizitäten ist zu sehen, dass die Zu- und Abgangszeiten für ÖV die wichtigsten Einflussfaktoren sind. Die relativ kleinere Elastizität für das Intervall ist sehr stark von den vorhandenen Verkehrsangebot abhängig. Da der vorhandene Fahrplan schon sehr dicht ist (1/2 bis 1 Stunden Takt), würde mit einer weiteren Verdichtung keine bedeutendere Veränderung der Verkehrsnachfrage erreicht.

Tabelle 4 Berechnete Modell-Elastizitäten (Direkte- und Kreuzelastizitäten)

Elastizitäten		Zeitmodell		
Variablenveränderung	Nachfrage	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Andere Fahrtzwecke
Reisezeit-PW	PW	-0,204	-0,292	-0,168
	ÖV	0,67	0,592	0,689
Zugangs- und Abgangszeit PW	PW	-0,145	-0,239	-0,08
	ÖV	0,67	0,608	-0,552
Reisezeit ÖV	PW	0,141	0,213	0,089
	ÖV	-0,594	-0,562	-0,469
Zugangs- und Abgangszeit ÖV	PW	0,261	0,463	0,149
	ÖV	-1,44	-1,488	-1,158
Intervall	PW	0,021	0,061	0,006
	ÖV	-0,111	-0,204	-0,037

Die aus dem Preismodell ermittelten Parameter und Elastizitäten waren im Vergleich zu bekannten Elastizitäten wenig plausibel. Verursacht wird das vor allem durch die geringen Variationen der Preisvariablen. Da bei ca. 82% der Beobachtungen die Preisvariable aus einem festem Preis in Fr./Pkm und Reisedistanz berechnet wird, sind die Voraussetzungen für die Bestimmung von plausiblen Modellparametern auf die Preisveränderungen ungenügend. Der Preiskoeffizient ist stark distanzabhängig.

Zusätzlich wird durch die Nicht-Berücksichtigung der Zeitvariablen der Preiskoeffizient deutlich überbewertet. Erfahrungsgemäss ist die Zeitelastizität wesentlich höher als der Preiselastizität. Die für die anderen Variablen ermittelten Modellparameter (Intervall und Zu- und Abgangszeit) unterscheiden sich nur geringfügig von denjenigen im Zeitmodell.

### 3.2.2 Modelle mit Angebotsvariablen und sozio-demographischen Eigenschaften

Im folgenden Schritt wurde dann die Bedeutung der wichtigsten sozio-demographischen Merkmale analysiert. Berücksichtigt werden dabei:



- im IV:
  - Autoverfügbarkeit
  - PW – Jahresfahrleistung
  - Parkplatz am Arbeitsplatz
- im ÖV:
  - Erwerbstätigkeit
  - Landesteile (nach der Landessprache)
  - Räumliche Kategorien
  - Beruf
  - Fahrausweisstruktur

Da die Parameter der Verkehrsmittelwahl oft nur aus Angebotsvariablen ermittelt werden, wurde durch diese Analyse, neben der Quantifizierung der Bedeutung der sozio-demographischen Merkmale für die Verkehrsmittelwahl, auch die dadurch verursachten Veränderungen der Parameter der Angebotsvariablen deutlich.

Hier ist festzustellen (Tabelle 5), dass sich die Plausibilität der ermittelten Modellparameter unter Berücksichtigung der sozio-demographischen Merkmale deutlich erhöht hat. Die ermittelten Pseudo  $R_{sq}$  ( $\beta$ ) und die Log-likelihood-Funktion zeigen wesentliche Verbesserungen. Damit hat sich die Erklärungsgüte der Verkehrsmittelwahl deutlich erhöht. Dies bestätigt die These, dass die Verkehrsmittelwahl nicht nur durch angebots- sondern auch durch nachfrageseitige Faktoren bestimmt wird.

Allgemein haben die sozio-demographischen Eigenschaften für die Pendlerfahrten einen höheren Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl als bei übrigen Fahrzwecken. Das führte dazu, dass mit Berücksichtigung der Soziodemographie die Parameter für die Angebotsvariable bei diesem Fahrtzweck stärker verändert wurden als bei den anderen Fahrzwecken. Aus diesem Grund ist der ermittelte Reisezeitparameter bei Pendlerfahrten niedriger als bei den anderen Fahrzwecken. Entscheidende Variablen sind dabei die Auto- und Parkplatzverfügbarkeit im IV und der Abonnementbesitz im ÖV.

Tabelle 5 Modell-Parameter unter Berücksichtigung der sozio-demographischen Merkmale

Zeitmodell (ohne Preisvariable)	Modellparameter ( $\beta$ -Wert)		
	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Andere Fahrtzwecke

PW

Konstante	1,010 *	-0,552 *	1,532 *
Reisezeit	-2,010 *	-1,658 *	-2,040 *
Zu- und Abgangszeit	-3,836 *	-1,731 *	-2,800 *
Autoverfügbarkeit	1,612 *	2,268 *	1,591 *
PW Jahresfahrleistung	0,027 *	0,021 *	0,041 *
Parking am Arbeitsplatz	0,808 *	1,491 *	0,321 *

ÖV

Reisezeit	-1,016 *	-0,780 *	-0,866 *
Zu- und Abgangszeit	-2,181 *	-2,167 *	-1,690 *
Intervall	-0,176 *	-0,356 *	-0,095
Erwerbstätig	0,443 *	0,322	-0,095
Deutschsprachig	0,588 *	0,361 *	0,892 *
Grösse Städte	-0,491 *	-0,091	-0,357 *
Selbständig	-0,404 *	-0,393	-0,187
GA Besitz	2,215 *	3,281 *	1,623 *
HTA Besitz	1,660 *	2,755 *	0,921 *

N-Beobachtungen	10353	3427	6926
Adj Pseudo Rsq( $\beta$ )	0,569	0,647	0,607
Log-likelihood function	-3726	-1009	-2281

Relative Verhältnisse der Parameter

Reisezeit PW / ÖV	1,979	2,125	2,355
Zu-Abgangszeit IV / Zu-Abgangszeit ÖV	1,759	0,799	1,657
Intervall ÖV / Reisezeit ÖV	0,173	0,456	0,109
Zu-Abgangszeit ÖV / Reisezeit ÖV	2,147	2,778	1,950
Zu-Abgangszeit IV / Reisezeit IV	1,908	1,044	1,373

---

(\*) Signifikanz über 95 %

Die Reisezeitparameter sowohl im IV als auch im ÖV bleiben relativ stabil, wobei im IV die Parameter für Zu- und Abgangszeiten durch die Berücksichtigung der sozio-demographischen Merkmale stark reduziert werden. Unverändert bleiben auch die Parameter für das Intervall. Für den Individualverkehr sind die Autoverfügbarkeit und der verfügbare Parkplatz bei der Arbeit die wichtigsten Einflussparameter. Der Parameter deutschsprachiger Raum und eine erhöhte

Erwerbstätigkeit wirken sich positiv auf den ÖV aus. Dem gegenüber sind grössere Städte und Selbständige IV-freundlicher. Erwartungsgemäss sind das General Abonnement (Jahresnetzkarte) und des Halbtax Abonnement (Bahncard) für den ÖV die wichtigsten Einflussfaktoren.

Beide Abonnements werden vor allem für Pendlerfahrten angeschafft. Wie erwartet hat bei Pendlerfahrten die Autoverfügbarkeit eine höhere Bedeutung in der Verkehrsmittelwahl als bei anderen Fahrzwecken. Gleichzeitig wird mit der Berücksichtigung sozio-demographischer Merkmale die Bedeutung der Zu- und Abgangszeit bei Pendlerfahrten (Signifikanz unter 95%) stärker reduziert als bei anderen Fahrzwecken. Daraus ist zu schliessen, dass Autoverfügbarkeit und Parkplatz am Arbeitsplatz (neben der Reisezeit) entscheidende Einflussfaktoren für die Verkehrsmittelwahl sind. Im ÖV liegen die grössten Potentiale vor allem in der Veränderung des Zu- und Abgangszeit. Im weiteren zeigt sich, dass erhöhte Erwerbstätigkeit bei Nicht-Pendlerfahrten keinen positiven Einfluss auf den ÖV hat, was vor allem mit dem veränderten Zeitbudget und eventuell mit der Autoverfügbarkeit zusammenhängt.

Im nachfolgenden Schritt wurde die gleiche Analyse unter Berücksichtigung der Variable Umsteigezahl durchgeführt. Das Ziel war die Veränderung der Modellparameter unter zusätzlicher Berücksichtigung dieser Variable (trotz Korrelation mit Reisezeit 0.69) zu analysieren. Hier ist festzustellen (Tabelle 6), dass mit Berücksichtigung der Variable der Anzahl Umsteigevorgänge im Modell eine starke Veränderung der Reisezeit-Parameter vorhanden ist. Die Modellparameter für alle andere Variablen bleiben dabei fast unverändert. Der ermittelte Parameter für die Umsteigezahl (Signifikanz unter 95%) für den Fahrzweck Pendler ist deutlich niedriger als bei der anderen Fahrzwecken.

Tabelle 6 Vergleich der Modellparameter mit und ohne Berücksichtigung der Umsteigevariablen

Zeitmodell (ohne Preisvariable)	Modellparameter ( $\beta$ -Werte)		
	Alle Fahrzwecke	Pendler	Andere Fahrzwecke

	Mit Umsteigen	Ohne Umsteigen	Mit Umsteigen	Ohne Umsteigen	Mit Umsteigen	Ohne Umsteigen
<b>PW</b>						
Konstante	1,07 *	1,01 *	-0,53 *	-0,55 *	1,57 *	1,53 *
Reisezeit	-1,70 *	-2,01 *	-1,58 *	-1,66 *	-1,72 *	-2,04 *
Zu- und Abgangszeit	-3,96 *	-3,84 *	-1,76 *	-1,73 *	-2,99 *	-2,80 *
Autoverfügbarkeit	1,61 *	1,61 *	2,27 *	2,27 *	1,59 *	1,59 *
PW Jahresfahrleistung	0,03 *	0,03 *	0,02 *	0,02 *	0,04 *	0,04 *
Parking am Arbeitsplatz	0,82 *	0,81 *	1,49 *	1,49 *	0,34 *	0,32 *
<b>ÖV</b>						
Reisezeit	-0,54 *	-1,02 *	-0,65 *	-0,78 *	-0,39 *	-0,87 *
Zu- und Abgangszeit	-2,17 *	-2,18 *	-2,17 *	-2,17 *	-1,69 *	-1,69 *
Intervall	-0,14 *	-0,18 *	-0,34 *	-0,36 *	-0,06	-0,10
Umsteigezahl	-0,42 *		-0,12		-0,43 *	
Erwerbstätig	0,45 *	0,44 *	0,32	0,32	-0,10	-0,10
Deutschsprachig	0,57 *	0,59 *	0,36 *	0,36 *	0,87 *	0,89 *
Grösse Städte	-0,54 *	-0,49 *	-0,10	-0,09	-0,41 *	-0,36 *
Selbständig	-0,40 *	-0,40 *	-0,39	-0,39	-0,18	-0,19
GA Besitz	2,20 *	2,21 *	3,27 *	3,28 *	1,61 *	1,62 *
HTA Besitz	1,64 *	1,66 *	2,75 *	2,76 *	0,92 *	0,93 *
N-Beobachtungen	10353	10353	3427	3427	6926	6926
Adj Pseudo Rsq( $\beta$ )	0,57	0,57	0,65	0,65	0,61	0,61
Log-likelihood function	-3710	-3726	-1009	-1009	-2269	-2281
<b>Relative Verhältnisse der Parameter</b>						
Reisezeit PW / ÖV	3,31	1,98	2,42	2,13	4,46	2,35
Zu-Abgangszeit IV / Zu-Abgangszeit ÖV	1,82	1,76	0,81	0,08	1,77	1,66
Intervall ÖV / Reisezeit ÖV	0,26	0,17	0,52	0,46	0,16	0,11
Zu-Abgangszeit ÖV / Reisezeit ÖV	3,99	2,15	3,33	2,78	4,38	1,95
Zu-Abgangszeit IV / Reisezeit IV	2,32	1,91	1,12	1,04	1,74	1,37

(\*) Signifikanz über 95 %

Offensichtlich ist die Bedeutung der Umsteigehäufigkeit bei Nicht-Berücksichtigung dieser Variablen vollständig im Parameter der Reisezeit beinhaltet. Es ist festzustellen, dass sich die Reisezeit mit und ohne Berücksichtigung der Umsteigehäufigkeit um die Höhe des Parameters für die Umsteigezahl verändert bzw. werden durch die Nicht-Berücksichtigung der Umsteigezahl die Reisezeitparameter entsprechend dem Parameter für die Umsteigezahl erhöht. Dabei ist wegen der vorhandenen Korrelation dieser beiden Variablen die Höhe und die Plausibilität der ermittelten Parameter fraglich. Dies bedeutet, dass durch Nicht-Berücksichtigung der Umsteigezahl im Modell diese Variable im Reisezeitparameter beinhaltet ist. Deshalb ist wegen der vorhandenen Korrelation dieser beiden Variablen zu empfehlen, bei der Ermittlung der Modellparameter die Umsteigezahl nicht gleichzeitig zu berücksichtigen, und bei der Anwendung die Variante ohne die explizite Berücksichtigung den Umsteigezahl zu verwenden.

In nachfolgendem Schritt wurde die Reisezeit im ÖV als reine ÖV-Fahrzeit und Umsteigezeit getrennt betrachtet. Durch diese Trennung ist nun die Korrelation zwischen der Reisezeit und Umsteigezeit/Umsteigezahl nicht mehr vorhanden. Dabei ist aber eine Korrelation zwischen der Umsteigezeit und Umsteigezahl (0.8) vorhanden. Aus diesem Grund wurden die Analyse mit und ohne

Berücksichtigung der Umsteigezahl im Modell durchgeführt. Die ermittelten Modell-Parameter sind in der folgenden Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7 Berechnete Modellparameter mit getrennten Variablen Fahrzeit, Umsteigezeit und Umsteigezahl

Zeitmodell (ohne Preisvariable)	Modellparameter ( $\beta$ -Werte)					
	Alle Fahrtzwecke		Pendler		Andere Fahrtzwecke	
	Mit Umsteigen	Ohne Umsteigen	Mit Umsteigen	Ohne Umsteigen	Mit Umsteigen	Ohne Umsteigen
<b>PW</b>						
Konstante	1,125 *	1,108 *	-0,556 *	-0,572 *	1,619 *	1,612
Reisezeit	-1,460 *	-1,574 *	-1,128 *	-1,155 *	-1,543 *	-1,646
Zu- und Abgangszeit	-4,024 *	-3,948 *	-1,687 *	-1,628	-3,064 *	-3,030
Autoverfügbarkeit	1,610 *	1,600 *	2,260 *	2,259 *	1,580 *	1,580
PW Jahresfahrleistung	0,027 *	0,027 *	0,022 *	0,022 *	0,041 *	0,041
Parking am Arbeitsplatz	0,823 *	0,816 *	1,486 *	1,486 *	0,349 *	0,341
<b>ÖV</b>						
Reisezeit	-0,277 *	-0,501 *	-0,116 *	-0,170	-0,197	-0,409
Zu- und Abgangszeit	-2,189 *	-2,210 *	-2,177 *	-2,179 *	-1,704 *	-1,726
Intervall	-0,204 *	-0,263 *	-0,443 *	-0,467 *	-0,099	-0,152
Umsteigezeit	-0,454 *	-1,738 *	-0,983	-1,260 *	-0,230	-1,540
Umsteigezahl	-0,485 *		-0,116		-0,496 *	
Erwerbstätig	0,454 *	0,453 *	0,308	0,304	-0,090	-0,084
Deutschsprachig	0,544 *	0,520 *	0,292	0,287	0,845 *	0,816
Grösse Städte	-0,530 *	-0,490 *	-0,096	-0,090	-0,411 *	-0,366
Selbständig	-0,394 *	-0,396 *	-0,398	-0,398	-0,182	-0,183
GA Besitz	2,200 *	2,200 *	3,260 *	3,268 *	1,609 *	1,612
HTA Besitz	1,644 *	1,650 *	2,744 *	2,750 *	0,920 *	0,923
N-Beobachtungen	10353	10353	3427	3427	6926	6926
Adj Pseudo Rsq( $\beta$ )	0,570	0,57	0,650	0,65	0,609	0,607
Log-likelihood function	-3716	-3731	-1010	-1010	-2271	-2282
Relative Verhältnisse der Parameter						
Reisezeit PW / Fahrzeit ÖV	5,3	3,1	9,7	6,8	7,9	4,0
Zu-Abgangszeit IV / Zu-Abgangszeit ÖV	1,8	1,8	0,8	0,7	1,8	1,8
Intervall ÖV / Fahrzeit ÖV	0,7	0,5	3,8	2,7	0,5	0,4
Zu-Abgangszeit ÖV / Fahrzeit ÖV	7,9	4,4	18,8	12,8	8,7	4,2
Zu-Abgangszeit IV / Reisezeit IV	2,8	2,5	1,5	1,4	2,0	1,8

(\*) Signifikanz über 95 %

Hier ist festzustellen, dass sich die ermittelten Modellparameter ausser ÖV-Fahrzeit, Umsteigezeit und Umsteigezahl gegenüber den vorher ermittelten Parametern (mit ÖV-Reisezeiten) nicht bedeutend verändert haben. Deutlich zu sehen ist, dass die Umsteigezeit im ÖV eine sehr wichtige Variable ist. Diese Variable hat dreimal (alle Fahrtzwecke) bis sechsmal (Pendler) höhere Parameterwerte als die Fahrzeitvariable. Wie oben schon gesagt wurde, sind wegen der vorhandenen Korrelation zwischen der Umsteigezeit und der Umsteigezahl die ermittelten Modellparameter in der Variante mit Umsteigezahl mit Vorsicht zu interpretieren. Hier wird im Vergleich mit anderen Fahrtzwecken die Umsteigehäufigkeit beim Pendler wesentlich niedriger bewertet als die Umsteigezeit. Dies bedeutet,

dass für Pendlerfahrten die längeren Umsteigezeiten weniger akzeptabel sind und bei den übrigen Fahrzwecken wird der Verlust an Fahrtkomfort (z. B. durch Umsteigen) dem gegenüber höher bewertet. Dies entspricht auch den Ergebnissen aus bisherigen Untersuchungen zu diesem Thema. Durch die Trennung der Reisezeit Variable auf die Fahr- und Umsteigezeit hat sich die Signifikanz (Pseudo  $R^2(\beta)$ , Log-likelihood Funktion) der ermittelten Parameter nicht erhöht. Aufgrund der deutlich höheren Parameter bei den sozio-demographischen Variablen sind auch hier die Zeitparameter für die Pendler niedriger als bei anderen Fahrzwecken.

### **3.3 Bedeutung der Fahrausweisstruktur**

Neben den Unterscheidungen des Fahrtzwecks wurde auch die Schätzung der Modell-Parameter in Abhängigkeit vom Abonnementbesitz durchgeführt. Das Ziel dieser Betrachtung war eine Unterscheidung der Bedeutung einzelner Abonnementkategorien. Die berechneten Modell-Parameter für diese drei Kategorien sind in der Tabelle 8 dargestellt.

Die hier ermittelten Ergebnisse zeigen eine durch den Abonnementbesitz schon prädestinierte Verkehrsmittelwahl. So ist z. B. der Anteil der Beobachtungen ohne Abonnementbesitz mit der Verkehrsmittelwahl Bahn sowie im GA-Modell (GA: Generalabonnement, HTA - Halbtaxabonnement) mit der Verkehrsmittelwahl PW relativ klein. Die Signifikanz der Variablen ist stark von der Anzahl der Beobachtungen im Modell abhängig. Für die Benutzer des GA sind offensichtlich die Reisezeiten und Intervalle die wichtigsten Variablen, was darauf hin deutet, dass es sich hier vor allem um Berufs- und Geschäftsverkehr handelt. Viel weniger bedeutend für diese Gruppe sind die Zu- und Abgangszeiten. Eine Erklärung könnte auch sein, dass die GA Benutzer vor allem kleinere Zu- und Abgangszeiten haben bzw. dass gute Zu- und Abgangsverbindungen (kurze Zeiten) eine Voraussetzung für den Kauf des GA sind. Für die Halbtax-Benutzer erhöht sich die Bedeutung der Zu- und Abgangszeit auf ähnliches Niveau wie in den vorherigen Modellen (ohne Abonnementunterscheidung). Für die GA Benutzer ist bei den IV-Variablen vor allem der verfügbare Parkplatz am Arbeitsplatz wichtig und weniger die Autoverfügbarkeit. Dies ist noch eine Bestätigung, dass es sich hier um Berufsverkehr handelt. Bei den Benutzern des HTA und ohne Abonnement ist wieder die Autoverfügbarkeit entscheidende soziodemographische Variable. Erhöhte Erwerbstätigkeit wirkt sich in allen drei Kategorien positiv auf den ÖV aus.

Tabelle 8 Modell-Parameter in Abhängigkeit von Fahrausweistruktur

Zeitmodell (ohne Preisvariable)	Modellparameter ( $\beta$ -Werte)		
	GA	HTA	Kein Abonnement
<b>PW</b>			
Konstante	-0,859 *	-1,017 *	1,064 *
Reisezeit	-3,946 *	-2,810 *	-1,693 *
Zu- und Abgangszeit	-1,517	-7,748 *	-2,200 *
Autoverfügbarkeit	0,578 *	1,125 *	2,144 *
PW Jahresfahrleistung	0,032 *	0,028 *	0,025 *
Parking am Arbeitsplatz	1,139 *	0,613 *	0,848 *
<b>ÖV</b>			
Reisezeit	-1,962 *	-1,800 *	-0,720 *
Zu- und Abgangszeit	-0,411	-3,393 *	-1,940 *
Intervall	-0,163	-0,083	-0,140 *
Erwerbstätig	0,457 *	0,227 *	0,614 *
Deutschsprachig	-0,061	0,403 *	0,667 *
Grösse Städte	-1,088 *	-0,702 *	-0,200 *
Selbständig	-0,070	0,199	-0,650 *
N-Beobachtungen	598	1668	8087
Adj Pseudo Rsq( $\beta$ )	0,255	0,184	0,685
Log-likelihood function	-370	-1095	-2152
<b>Relative Verhältnisse der Parameter</b>			
Reisezeit PW / ÖV	2,011	1,561	2,351
Zu-Abgangszeit IV / Zu-Abgangszeit ÖV	3,691	2,353	1,134
Intervall ÖV / Reisezeit ÖV	0,083	0,046	0,195
Zu-Abgangszeit ÖV / Reisezeit ÖV	0,210	1,830	2,694
Zu-Abgangszeit IV / Reisezeit IV	0,384	2,757	1,300

(\*) Signifikanz über 95 %

GA: Generalabonnement

HTA: Halbtaxabonnement

#### 4 PLAUSIBILISIERUNG DER MODAL SPLIT FUNKTIONEN

Die Plausibilität der hier ermittelten Parameter für die MS-Funktion wurde an konkreten und hypothetischen Fallbeispielen getestet. Dafür wurden für die Frequenzanalyse (Intervall) die

Daten aus den Vorher-/Nachher-Erhebungen verwendet (SBB „Impuls 97“ Programm, SBB, 1998b). Bei der Zeit- und Preisanalyse mussten hypothetische Fallbeispiele verwendet werden.

Tabelle 9 Anwendungsbeispiel: Streckenanalyse mit Frequenzveränderung

Netzumlegung- Frequenzveränderung	Veränderungen (Impuls Programm 1997)			Veränderungen (Zeitmodell)		
	Zug-km	Nachfrage	Elastizität	Zug-km	Nachfrage	Elastizität
Zürich – Bern	45.3 %	12.1 %	0.27 %	33.3 %	4.0 %	0.12 %
Zürich – St. Gallen	20.7 %	4.0 %	0.19 %	17.4 %	3.6 %	0.21 %
Lausanne - Brig	12.0 %	6.9 %	0.58 %	9.3 %	0.8 %	0.09 %

Aus den verfügbaren Statistiken ist nicht bekannt, ob die in den Vorher-/Nachher-Erhebungen ermittelten Nachfrageveränderungen auch Routenwahlverlagerungen beinhalten oder nicht. Erfahrungsgemäss ist die für die Strecke Lausanne-Brig aus der Vorher-/Nachher-Erhebung berechnete Elastizität als zu hoch zu beurteilen. Dieser Wert konnte mit den ermittelten Modal Split-Parametern nicht bestätigt werden. Die beiden anderen Beispiele wurden angemessen reproduziert. Die Nachfrageauswirkungen auf Zeitänderungen konnten mit realen Fallbeispielen nicht überprüft werden. Dafür wurden hypothetische Fallbeispiele im Modell getestet. Die berechneten Modal-Split Veränderungen und die daraus ermittelten Nachfrageelastizitäten (-0.49 bis -0.52) für die Zeitveränderungen liegen in der Spannbreite schon bekannter Zeitelastizitäten und erscheinen deshalb plausibel (Vrtic, Meyer-Rühle, Rommerskirchen, Cerwenka, Stobbe, 2000).



## 5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit dieser Untersuchung wurde die Grundlage für die Ermittlung der Veränderungen der Verkehrsmittelwahl infolge verkehrsmittelwahlbeeinflussender Massnahmen in der Schweiz gelegt. Aus den empirischen Datengrundlagen wurden für ein multinomiales Logitmodell die Parameter der Verkehrsmittelwahl für die wichtigsten angebots- und nachfrageseitigen Faktoren geschätzt. Die für diese Untersuchung vorhandene Datengrundlage wurde mit geeigneten Modellansätzen für die Bestimmung der Modal-Split Funktionen mit verschiedenen Methoden analysiert und ausgewertet. Der angewendete Logit-Ansatz bietet die Möglichkeit, die Auswirkungen von Veränderungen aller quantifizierbaren Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittelwahl zu ermitteln. Voraussetzung dafür ist, dass die ermittelten Modellparameter mit denen die Veränderungen der Verkehrsmittelwahl durch veränderten Nutzen (generalisierte Kosten) definiert werden, korrekt geschätzt werden.

Mit den hier ermittelten Modellparametern lassen sich die Veränderungen der Verkehrsmittelwahl bei Veränderungen der Reisezeit, Intervall und Zu- und Abgangszeiten analysieren. Aus den vorher genannten Gründen sind bei den Preisvariablen die Unsicherheiten durch die ungeeignete Datengrundlage so gross, dass die für diese Variablen ermittelten Parameter nicht als plausibel bezeichnet werden können. Wegen der vorhandenen Korrelation mit der Reisezeit sind auch die Modellparameter, welche für die Umsteigezeit und Umsteigezahl ermittelt wurden, mit Unsicherheiten verbunden. Ihre Plausibilität konnte nicht überprüft werden.

Aus den ermittelten Modellparametern ist zu schliessen, dass neben der Reisezeit die Zu- und Abgangszeiten sehr wichtige Einflussfaktoren der Verkehrsmittelwahl sind. Es zeigte sich, dass das Intervall vor allem für die Pendlerfahrten bedeutend ist. Bei den sozio-demographischen Eigenschaften wird der Individualverkehr vor allem durch die Auto- und Parkplatzverfügbarkeit und bei dem öffentlichen Verkehr durch den Abonnementbesitz prädestiniert. Im weiteren wirkt sich die erhöhte Erwerbstätigkeit auf den öffentlichen Verkehr positiv aus.

Mit dieser Untersuchung wurde nochmals bestätigt, dass für die Bestimmung der Gesetzmässigkeiten der Verkehrsmittelwahl die zur Verfügung stehenden empirischen Daten nicht optimal geeignet sind. Der wesentliche Grund dafür sind die vorhandenen Korrelationen zwischen den Preis- und Zeitvariablen, die beide distanzabhängig sind, wie auch zwischen einigen anderen Variablen. Damit ist auch eine genaue Trennung der Bedeutung dieser zwei Variablen nicht möglich. Zusätzliche Unsicherheiten bringen darüber hinaus die mit dem Netzmodell ermittelten unabhängigen Variablen. Diese Variablen sind teilweise sehr grob und

zeigen für das Modal Split-Modell zu wenig Variation. Ein Beispiel dafür war in dieser Untersuchung die Preisvariable.

Damit liefert die vorhandene empirische Datengrundlage auf Basis einer Querschnittsanalyse nicht die Voraussetzungen, um alle Gesetzmässigkeiten der Verkehrsmittelwahl bestimmen zu können. Dazu wäre es notwendig zu wissen, wie die Verkehrsteilnehmer auf die Veränderungen eines oder mehrere Einflussfaktoren reagieren. Dafür sollten in der Datenbasis genügend Veränderungen der unabhängigen Variablen vorhanden sein. Diese Grundlage kann ohne geeignete und gezielte Erhebungen über einen längeren Zeitraum nicht geschaffen werden.

Um die vorher genannten Begrenzungen der vorhandenen Datenbasis zu vermeiden, wäre zu empfehlen, eine gezielte Befragung der Verkehrsteilnehmer über ihr realisiertes Verkehrsverhalten (Revealed Preference) sowie möglichen Veränderungen dieses Verhaltens bei veränderten angebots- und nachfrageseitigen Faktoren (Stated Preference) durchzuführen. Aus solchen Befragungen lässt sich die Datengrundlage für die Ermittlung der Parameter der Verkehrsmittelwahl ohne die oben genannten Begrenzungen (Korrelation, Variablenvariationen, qualitative Einflussfaktoren...) durchführen. Hier wäre es vor allem wichtig, wegen der Korrelation mit der Zeitvariable die Bedeutung des Preises bei der Verkehrsmittelwahl für verschiedene Nutzergruppen genau bestimmen zu können. Weitere Komponenten sind auch Komfort, Zuverlässigkeit, Umsteigen und andere Qualitätsmerkmale.

Weiter ist zu beachten, dass für die Ermittlung der Veränderungen der Verkehrsmittelwahl infolge von Angebotsänderungen neben den zu bestimmenden Gesetzmässigkeiten der Verkehrsmittelwahl auch das Quantifizieren des vorhandenen Verkehrspotentials (Quell-/Ziel-Matrizen) der alternativen Verkehrsmittel eine wichtige Aufgabe ist. Zusätzlich ist auch die realitätsnahe Abbildung des Verkehrsangebots für die genaue Berechnung der Variablen ein wichtiges Modellelement.

## **6 LITERATUR**

- Axhausen, K.W., H. Köll und Bader M. (1998): An Analysis of Mode Choice Behaviour in Innsbruck, Bericht an die Stadt Innsbruck und die Innsbrucker Verkehrsbetriebe, Innsbruck und Ampass
- Ben-Akiva, M.E. und S.R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis*, MIT Press, Cambridge.
- Bundesamt für Statistik / Dienst für Gesamtverkehrsfragen (1995), Mikrozensus Verkehrsverhalten 1994, Bundesamt für Statistik, Bern.

Econometric Software (1998) LIMDEP 7.0, Econometric Software, Sydney.

Fusseis / Sigmaplan (1998), Grundlagenuntersuchung zu Bahn 2000, Bericht an die SBB und den Dienst GVF, Bern.

Krämer, T. (1992), Der Modal-Split im Personenverkehr, Dissertation RWTH Aachen, Aachen

MicroGIS ltd (2000), Communal limits: OFS GEOSTAT / S + T, MicroGIS ltd, Baar.

Ortuzar, J. de D. und L.G. Willumsen (1995) *Modelling Transport*, Zweite Ausgabe, Wiley and Sons, New York, S. 357.

Schweizerischen Bundesbahnen (1998a), Nachfrage Schienenpersonenverkehr 1997/1998; Erzeugung einer optimierten O/D-Matrix basierend auf den FQ-Erhebungen, Bern.

Schweizerischen Bundesbahnen (1998b), Erfolgskontrolle „IMPULS 97“, Bern.

Vrtic, M., R. Koblo, und M. Vödich (1999), Entwicklung bimodales Personen-verkehrsmodell als Grundlage für Bahn2000, 2. Etappe, Auftrag 1, Bericht an die SBB und den Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Prognos AG, Basel.

Vrtic, M., O. Meyer-Rühle, S. Rommerskirchen, P. Cervenka und W. Stobbe (2000), Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr, Bericht an die Vereinigung der Schweizerische Verkehrsingenieure, Prognos AG, Basel.

Vrtic, M., K.W. Axhausen, R. Koblo und M. Vödich (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 .



Die *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung* The *Working Papers Traffic and Spatial Planning* dienen der schnellen Verbreitung der Ergebnisse der Arbeit der Mitarbeitenden und Gäste des Instituts. Die Verantwortung für Inhalt und Gestaltung liegt alleine bei den Autor/innen. are intended for the quick dissemination of the results of the members and guests of the Institut. Their content is the sole responsibility of the authors.

Eine vollständige Liste der Berichte kann vom Institut angefordert werden: A complete catalog of the papers can be obtained from:

IVT

ETH Hönggerberg

CH - 8093 Zürich

Telephon: +41 1 633 31 05

Telefax: +41 1 633 10 57

E-Mail: hotz@ivt.baug.ethz.ch

WWW: www.ivt.baug.ethz.ch

Der Katalog kann auch abgerufen werden unter: The catalog can also be obtained from:

[http://www.ivt.baug.ethz.ch/veroeffent\\_arbeitsbericht.html](http://www.ivt.baug.ethz.ch/veroeffent_arbeitsbericht.html)