

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie  
und Kommunikation / Bundesamt für Strassen

*Forschungspaket Mobility Pricing: Projekt B1*

**Einbezug von Reisekosten bei der  
Modellierung des Mobilitätsverhaltens**

**Intégration des frais de déplacements dans  
la modélisation du comportement de  
mobilité**

**Including travelling costs in the modelling of  
mobility behaviour**

Forschungsauftrag Nr. 2005/004 auf Antrag der Vereinigung  
Schweizerischer Verkehrsingenieure

Juni 2007

## Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens

Intégration des frais de déplacements dans la modélisation du  
comportement de mobilité

Including travelling costs in the modelling of mobility behaviour

Forschungsauftrag: Nr. 2005/004 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer  
Verkehringenieure

Forschungsstelle: Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT),  
ETH Zürich  
TRANSP-OR, EPF Lausanne  
IRE, USI Lugano

Bearbeitung:

IVT, ETH Zürich Dr.-Ing. Milenko Vrtic  
(Kapitel 1-10) Dipl.-Wi.-Ing. Nadine Schüssler  
Dipl.-Ing. Alexander Erath  
Dipl.-Ing. Michaela Bürgle  
Prof. Kay W. Axhausen

TRANSP-OR, EPF Lausanne

(Kapitel 11) Dipl.-Ing. Emma Frejinger  
Dipl. -Ing Jelena Stojanovic  
Prof. Michel Bierlaire

IRE, USI Lugano

(Kapitel 12) Dr. Roman Rudel  
Lic.oec. Stefano Scagnolari  
Prof. Rico Maggi

Begleitende Kommission:

- Paul Widmer
- Dr. Matthias Rapp
- Michael Arendt
- Amira Ayoubi
- Dr. Georg Abay
- Dr. Casimir de Rham
- Martin Howald
- Roland Koch
- Michael Löchl
- Daniel Mühlemann
- Guido Rindsfuser

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>13</b>
<b>Summary</b> .....	<b>25</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>36</b>
<b>Synthesebericht</b> .....	<b>47</b>
<b>1 Hintergründe</b> .....	<b>79</b>
<b>2 Problembeschreibung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>80</b>
<b>3 Erläuterung des Arbeitprogramms</b> .....	<b>83</b>
<b>4 Literaturanalyse: Road Pricing Modellen im Ausland (Nachfrageeffekte)</b> .....	<b>88</b>
<b>4.1 Gebietslizenzen</b> .....	<b>88</b>
4.1.1 Singapur .....	88
4.1.2 London .....	92
4.1.3 Stockholm .....	94
4.1.4 Norwegen .....	96
<b>4.2 Bemaunung einzelner Strassenabschnitte</b> .....	<b>98</b>
4.2.1 New York .....	98
4.2.2 Spanien .....	99
4.2.3 Weitere Studien .....	99
<b>4.3 Bemaunung einzelner Spuren</b> .....	<b>100</b>
4.3.1 SR 91 Orange County .....	101
4.3.2 I-15, „FasTrak“ Express Lanes, San Diego .....	102
4.3.3 I-10W Katy Freeway QuickRide Programm, Houston .....	103
<b>5 Befragungskonzept und Erhebung der RP-Daten</b> .....	<b>104</b>
<b>6 Stated-Preference Befragungen: Taktische Entscheidungen</b> .....	<b>107</b>
<b>6.1 Auswahl des berichteten Weges zur Konstruktion der SP-Experimente</b> .....	<b>107</b>
<b>6.2 Fragebogendesign und Versuchspläne der SP-Experimente</b> .....	<b>108</b>
<b>6.3 Fragebogen zur Person und zum Haushalt</b> .....	<b>119</b>
<b>6.4 Durchführung der Befragung und Rücklauf</b> .....	<b>120</b>
<b>6.5 Soziodemographie der Befragten</b> .....	<b>124</b>
6.5.1 Soziodemographie .....	124
6.5.2 Räumliche Verteilung .....	129

6.6	Charakteristika der SP-Wege .....	131
6.7	Trader und Non-Trader .....	133
7	<b>Stated Preference Befragungen: Strategische Entscheidungen .....</b>	<b>135</b>
7.1	<b>Aufbau der Befragung .....</b>	<b>135</b>
7.1.1	Fragen zum Haushalt und aktuellem Mobilitätswerkzeugbesitz .....	135
7.1.2	SP Experimente zu Mobilitätswerkzeugbesitz, -nutzung und Wohnstandortwahl.....	138
7.2	<b>Durchführung der Befragung und Antwortbereitschaft.....</b>	<b>145</b>
7.2.1	Organisation und Rücklaufquote .....	145
7.2.2	Soziodemographie.....	147
8	<b>Modellergebnisse: SP über die Präferenz für ein Mobility Pricing System.....</b>	<b>154</b>
8.1	Deskriptive Analyse .....	154
8.2	Modellergebnisse.....	162
9	<b>Modellergebnisse: Taktische Entscheidungen.....</b>	<b>166</b>
9.1	Das kombinierte Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell .....	166
9.2	Nichtlineare Modelle.....	170
9.3	Zahlungsbereitschaft .....	176
9.4	Elastizitäten .....	181
9.5	Fahrtweckspezifische Modelle .....	187
9.6	Anwendungsbeispiele.....	190
10	<b>Modellergebnisse: Strategische Entscheidungen.....</b>	<b>198</b>
10.1	<b>Deskriptive Analyse des Mobilitätswerkzeugbesitz der berücksichtigten Haushalte</b>	<b>198</b>
10.2	<b>Mobilitätswerkzeugbesitz in Abhängigkeit von Wohnlage, Verkehrsangebot und</b>	
	<b>Kosten 203</b>	
10.2.1	Personenwagenbesitz .....	203
10.2.2	GA-Besitz .....	208
10.2.3	Abonnement Regionaler Verbund .....	211
10.2.4	Halbtax.....	213
10.3	<b>Modellergebnisse SP6: Änderung der Jahresfahrleistung .....</b>	<b>214</b>
10.3.1	Veränderung der Jahresfahrleistung: Autobahnen .....	216
10.3.2	Veränderung der Jahresfahrleistung: ‚Überlandstrassen‘ .....	218
10.3.3	Veränderung der Jahresfahrleistung: ‚Ortsstrassen‘ .....	219
10.3.4	Veränderung der Jahresfahrleistung: ÖV .....	220
10.3.5	Zusammenfassung Modellergebnisse SP6: Änderung der Jahresfahrleistung .....	221

<b>10.4</b>	<b>Modellerggebnisse Wohnstandortwahl.....</b>	<b>221</b>
<b>11</b>	<b><i>Modèles de choix de route basés sur des données RP dans le cadre du transport privé</i></b>	<b>226</b>
<b>11.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>226</b>
<b>11.2</b>	<b>Les données.....</b>	<b>227</b>
11.2.1	Description des données.....	227
11.2.2	Vérification des données.....	229
11.2.3	Statistiques sur les observations finalisées.....	232
<b>11.3</b>	<b>Modélisation pour les données RP.....</b>	<b>236</b>
11.3.1	Description des attributs.....	241
<b>11.4</b>	<b>Résultats.....</b>	<b>241</b>
<b>11.5</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>249</b>
<b>12</b>	<b><i>Schätzung der Elastizitäten der Gesamtnachfrage (RP)</i></b>	<b>251</b>
<b>12.1</b>	<b>Ausgangslage und Ziel.....</b>	<b>251</b>
<b>12.2</b>	<b>Elastizitäten aus ausländischen Studien.....</b>	<b>252</b>
<b>12.3</b>	<b>Entwicklung der Gesamtnachfrage.....</b>	<b>257</b>
<b>12.4</b>	<b>Elastizitäten der Gesamtnachfrage (Makroebene).....</b>	<b>261</b>
<b>12.5</b>	<b>Individuelle Nachfrageelastizitäten (Mikroebene).....</b>	<b>265</b>
<b>12.6</b>	<b>Einige Schlussfolgerungen.....</b>	<b>276</b>
<b>13</b>	<b><i>Literatur</i></b>	<b>279</b>
<b>14</b>	<b><i>Anhänge</i></b>	<b>285</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Nutzenfunktionen für das kombinierte Routen- Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahlmodell.....	53
Tabelle 2	Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl ..	56
Tabelle 3	Beispielszenario: Direkte Elastizitäten für den mittleren KEP Weg .....	65
Tabelle 4	Nachfrage und Gebühren für Gebietslizenzen in Singapur .....	90
Tabelle 5	Modellschätzungen Zeitserie Singapur (Werte in Klammern: t-Statistik) ...	91
Tabelle 6	Modellschätzungen Zeitserie Singapur .....	92
Tabelle 7	Zeitabhängige Gebühren in Stockholm .....	95
Tabelle 8	Überblick Nachfrageelastizitäten einzelner Strassenabschnitte in der Literatur .....	100
Tabelle 9	Verkehrszusammensetzung FasTrak Einführung .....	103
Tabelle 10	Ausprägungen SP1: Präferenz für ein Mobility Pricing System .....	112
Tabelle 11	Ausprägungen SP2: Wahl der Abfahrtszeit und Routenwahl.....	115
Tabelle 12	Ausprägungen SP3: Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl.....	117
Tabelle 13	Ausprägungen SP4: Routen- und Verkehrsmittelwahl.....	119
Tabelle 14	Rücklaufquote der einzelnen SP-Experimente .....	123
Tabelle 15	Allgemeine soziodemographische Charakteristika der Befragten .....	126
Tabelle 16	Erwerbstätigkeit der Befragten .....	127
Tabelle 17	Ausstattung der Befragten mit Mobilitätswerkzeugen .....	128

Tabelle 18 Haushaltseinkommen der Befragten aus der SP Befragung.....	129
Tabelle 19 Gemeindetyp des Wohnorts der Befragten .....	131
Tabelle 20 Fahrtzweckanteile der SP-Wege .....	132
Tabelle 21 Non-Trader in den SP-Experimenten .....	133
Tabelle 22 Haushaltsbeschreibende Variablen und deren Ausprägungen .....	136
Tabelle 23 Angaben zu täglichen Wege und Mobilitätswerkzeugbesitz und -nutzung.	137
Tabelle 24 Ausprägungen SP5: Wahl des Mobilitätswerkzeugs bei veränderten Kosten 139	
Tabelle 25 Basiskosten (ÖV monatlich) Mobilitätswerkzeuge .....	140
Tabelle 26 Ausprägungen SP6: Mobilitätswerkzeugbesitz – und Nutzung bei veränderten Kosten.....	142
Tabelle 27 SP7a: Mobilitätswerkzeugbesitz bei veränderter Wohnlage: Ausprägungen nach Situation (1) .....	143
Tabelle 28 Ausprägungen SP6: Mobilitätswerkzeugbesitz – und Nutzung bei veränderten Kosten.....	144
Tabelle 29 Antwortbereitschaft .....	146
Tabelle 30 Allgemeine soziodemographische Charakteristika der Befragten: Teilnehmer strategische SP .....	148
Tabelle 31 Erwerbstätigkeit der Befragten: Teilnehmer strategische SP .....	150
Tabelle 32 Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen: Teilnehmer strategische SP .....	151
Tabelle 33 Gemeindetyp des Wohnorts der Befragten, schriftliche SP .....	153
Tabelle 34 Befürwortung und Ablehnung der vorgestellten Mobility Pricing Systemen 154	



Tabelle 35 Nutzenfunktionen politisches SP .....	163
Tabelle 36 Modellergebnisse politisches SP .....	164
Tabelle 37 lineares Modell: SP 2, 3 und 4 Routen- Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl .....	169
Tabelle 38 Nutzenfunktionen für das kombinierte Routen- Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahlmodell.....	171
Tabelle 39 Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl	173
Tabelle 40 Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl - Gesamtkosten .....	175
Table 41 Statistiken der Variablen der Alternativen.....	176
Tabelle 42 Indikatoren der Zahlungsbereitschaft .....	177
Tabelle 43 Beispielszenario: Direkten Elastizitäten für KEP Wege.....	186
Tabelle 44 Fahrtzweckspezifische Modelle der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl .....	188
Tabelle 45 Mobilitätswerkzeugbesitz: prozentuale Anteile nach Klassen .....	200
Tabelle 46 Mobilitätswerkzeugbesitz: prozentuale Anteile nach Klassen .....	201
Tabelle 47 Kreuztabelle: Anteile PW-Besitz heute gegenüber Befragung .....	202
Tabelle 48 Kreuztabelle: Anteile ÖV-Kartenbesitz .....	202
Tabelle 49 Nutzenfunktionen des Modells Personenwagenbesitz, allein benutzt.....	204
Tabelle 50 Modell Personenwagen, allein benutzt.....	205
Tabelle 51 Nutzenfunktionen des Modells Personenwagenbesitz, gemeinsam benutzt	

Tabelle 52	Modell Personenwagen, gemeinsam benutzt.....	207
Tabelle 53	Nutzenfunktionen GA .....	209
Tabelle 54	Modellergebnisse GA .....	210
Tabelle 55	Nutzenfunktionen Abonnement regionaler Tarifverbund .....	211
Tabelle 56	Modellergebnisse Abonnement regionaler Verkehrsverbund.....	212
Tabelle 57	Nutzenfunktionen Halbtax .....	213
Tabelle 58	Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl	214
Tabelle 59	Multipl. Regressionsmodell: Jahresfahrleistung Autobahn .....	217
Tabelle 60	Multipl. Regressionsmodell: Jahresfahrleistung Überlandstrassen .....	218
Tabelle 61	Multipl. Regressionsmodell: Jahresfahrleistung Ortsstrassen .....	220
Tabelle 62	Multipl. Regressionsmodell: Jahresfahrleistung ÖV .....	221
Tabelle 63	Nutzenfunktion Wohnstandortwahl.....	223
Tabelle 64	Wohnstandortwahl.....	224
Table 65	Statistiques sur les observations .....	232
Table 66	Statistiques sur quelques attributs de la modélisation .....	235
Table 67	Résultats pour l'estimation des modèles .....	247
Table 68	Statistiques sur les observations pour l'approximation linéaire par morceaux.....	249
Tabelle 69	Auswirkungen verschiedener Ansätze zur Mobilitätsbepreisung .....	253

Tabelle 70 Kurzfristige (SR) und langfristige (LF) Preis – und Einkommenselastizitäten in den OECD – Staaten (Quelle: Sterner et a. 1992) .....	254
Tabelle 71 Eckwerte der verwendeten Variablen aus dem Mikrozensus 2000 .....	269
Tabelle 72 Anteil der Variablen Kosten nach Hubraumkategorien in % .....	270
Tabelle 73 Kostenaufteilung nach Hubraumkategorien für die gewählte Stichprobe aus dem Mikrozensus 2000 .....	272
Tabelle 74 Elastizitäten der Mobilitätsnachfrage nach Hubraumkategorien .....	273
Tabelle 75 Zusammenhang zwischen dem Einkommen, dem Kaufpreis und den jährlichen Mobilitätskosten .....	275
Tabelle 76 Elastizitäten der Mobilitätsnachfrage nach Fahrtzwecken .....	275
Tabelle 77 Modellergebnisse SP2: Routen- und Abfahrtszeitwahl .....	311
Tabelle 78 Modellergebnisse SP3 und 4: Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl .....	312

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Abhängigkeit des Zeitwertes von den Kosten .....	58
Abbildung 2	Zeitwerte in Abhängigkeit von Kosten und Zeit bzw. Einkommen und Zeit.....	60
Abbildung 3	Direkte Reisezeitelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit .....	63
Abbildung 4	Direkte Kostenelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit .....	64
Abbildung 5	Anwendungsbeispiel: Veränderung der Tagesganglinie durch die unterschiedlichen Verkehrsangebote und Reisekosten der einzelnen Zeitintervalle .....	66
Abbildung 6	Anwendungsbeispiel: Veränderung der Verkehrsmittelwahl-Anteile durch Einführung von Road Pricing.....	68
Abbildung 7	Routenwahlveränderungen: Differenzen der Netzbelastungen durch die Einführung des Mobility Pricings auf dem Autobahnnetz (0.1 Fr./Km) .....	70
Abbildung 8	Routenwahlveränderungen: Differenzen der Netzbelastungen durch die Einführung des Mobility Pricings auf dem Autobahnnetz (0.1 Fr./Km) .....	71
Abbildung 9	Berichteter Weg - Beispiel.....	108
Abbildung 10	SP1: Präferenz für ein Mobility Pricing System – Beispielfragebogen 110	
Abbildung 11	SP2: Wahl der Abfahrtszeit und Routenwahl – Beispiel .....	114
Abbildung 12	SP3: Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl – Beispiel .....	116
Abbildung 13	SP4: Routen- und Verkehrsmittelwahl – Beispiel.....	118
Abbildung 14	Rücklaufquote nach Kalenderwoche der Rekrutierung.....	121

Abbildung 15	Rücklauf der Fragebögen im zeitlichen Verlauf .....	122
Abbildung 16	Rücklaufquote und Antwortgeschwindigkeit.....	123
Abbildung 17	Räumliche Verteilung des Befragungsrücklaufs .....	130
Abbildung 18	Fahrtweitenverteilung der SP-Wege .....	132
Abbildung 19	Screenshot der Befragungssoftware, Befragungsteil SP5 .....	138
Abbildung 20	Screenshot der Befragungssoftware, Befragungsteil SP7 .....	141
Abbildung 21	Screenshot der Befragungssoftware, Befragungsteil SP7 .....	145
Abbildung 22	Räumliche Verteilung der Teilnehmerwohnorte strategisches SP .....	152
Abbildung 23	Befürworter und Gegner des Mobility Pricings nach Art des Mobility Pricing.....	155
Abbildung 24	Befürworter des Mobility Pricings nach Art des Mobility Pricing und Initiator.....	156
Abbildung 25	Befürworter des Mobility Pricings nach Art des Mobility Pricing und Wohnort.....	157
Abbildung 26	Befürworter und Gegner des Mobility Pricings nach Verwendungszweck.....	159
Abbildung 27	Befürworter des Mobility Pricings nach Verwendungszweck und Initiator.....	160
Abbildung 28	Befürworter des Mobility Pricings nach Verwendungszweck und Wohnort.....	161
Abbildung 29	Abhängigkeit des Zeitwertes von den Kosten .....	179
Abbildung 30	Zeitwerte in Abhängigkeit von Kosten und Zeit bzw. Einkommen und Zeit 180	

Abbildung 31	Direkte Reisezeitelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit .....	184
Abbildung 32	Direkte Kostenelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit .....	185
Abbildung 33	Anwendungsbeispiel: Veränderung der Tagesganglinie durch die unterschiedlichen Verkehrsangebote und Reisekosten der einzelnen Zeitintervalle .....	192
Abbildung 34	Anwendungsbeispiel: Veränderung der Verkehrsmittelwahl-Anteile durch die Einführung von Road Pricing .....	194
Abbildung 35	Routenwahlveränderungen: Differenzen der Netzbelastungen durch die Einführung des Mobility Pricings auf dem Autobahnnetz (0.1 Fr./Km)	196
Abbildung 36	Routenwahlveränderungen: Differenzen der Netzbelastungen durch die Einführung des Mobility Pricings auf dem Autobahnnetz (0.1 Fr./Km)	197
Figure 37:	Exemple d'une observation .....	229
Figure 38	Fréquence du temps de parcours sans congestion.....	234
Figure 39	Proportion sur l'autoroute .....	236
Figure 40	Proportion sur route cantonale.....	236
Figure 41	Proportion sur route principale.....	236
Figure 42	Proportion sur route secondaire .....	236
Figure 43	Réseau national suisse simplifié (réf. <i>Swiss national model</i> ) .....	239
Figure 44	Lausanne et ses environs (réf. <i>Tele Atlas</i> ).....	239
Figure 45	Lausanne et ses environs (réf. <i>Swiss national model</i> ) .....	240
Figure 46	Zones postales de Suisse .....	240
Figure 47	Approximations linéaires par morceaux de la variable temps de trajet sans congestion .....	248

Abbildung 48	Entwicklung der Verkehrsleistungen im Personenverkehr auf der Strasse und Schiene (in Mio. Personenkilometern) .....	257
Abbildung 49	Entwicklung des monatlichen Treibstoffabsatzes in der Schweiz anhand des gleitenden Mittelwertes (Quelle: Schweizerische Erdölvereinigung, Carbura) .....	258
Abbildung 50	Jährliche Veränderung des Personenwagenbestandes (Quelle: BfS, Neuchâtel, 2006) .....	260
Abbildung 51	Koeffizienten aus der Korrelation zwischen dem Benzinabsatz und dem Benzinpreis für unterschiedlich lange Zeitperioden (Anzahl Monate) 262	
Abbildung 52	Elastizitäten des Treibstoffabsatzes für unterschiedlich lange Zeitperioden (in Anzahl Monate) .....	263
Abbildung 53	Preiselastizitäten für den Zeitraum nach dem Trendbruch im Benzinabsatz für verschieden lange Zeiträume (Anzahl Monate). Fett gedruckte Punkte sind statistisch signifikant. ....	264
Abbildung 54	Wirkungsschema der nachfragebestimmenden Faktoren.....	268
Abbildung 55	Aufteilung der variablen Kosten für die Gesamtstichprobe in % .....	271
Abbildung 56	Treibstoffkostenelastizität nach Gesamtstichprobe und Hubraumkategorien .....	274

## Kurzfassung

Das Projekt B1 *Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens* hatte als Ziel, die möglichen Auswirkungen von Mobility Pricing auf das Verkehrsverhalten zu klären. Es stellt damit die Grundlage für die Abschätzung möglicher Verkehrsnachfrageveränderungen dar. Dabei stehen die Zahlungsbereitschaft und wesentliche Veränderungen des Verkehrsverhaltens durch die Einführung von Mobility Pricing im Vordergrund.

Den ersten Schwerpunkt des Projekts bilden die Verhaltensänderungen bei der Verkehrsmittel- und Routenwahl und bei der Wahl der Abfahrtszeit (taktische Entscheidungen). Für strategische Entscheidungen wird der zweite Schwerpunkt auf die Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen (Ausstattung mit PW und ÖV-Abonnementen) sowie die Wohnortwahl gelegt. Die aus den Stated Preference Daten (SP) geschätzten Modellparameter wurden darüber hinaus durch Schätzung von Revealed Preference (RP) Modellen, welche auf tatsächlich beobachtetem Verhalten basieren, überprüft. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden mit den geschätzten Modellparametern die Auswirkungen des Mobility Pricings auf die Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Wahl der Abfahrtszeit an einem vereinfachten Anwendungsbeispiel getestet.

### *Taktische Verhaltensänderungen und politische Einstellung*

Um eine verlässliche Grundlage für Verkehrsprognosen und die Schätzung der Nachfrageveränderungen bei der Einführung von Mobility Pricing zu schaffen, wurden mit Hilfe von Stated Preference (SP) Befragungen die Modelle für die Verhaltensänderungen geschätzt. Mit Modellen und ihren Parametern wird die Bedeutung des Mobility Pricings und anderer Einflussfaktoren wie Reisezeit, Treibstoffkosten, Umsteigehäufigkeit usw. für Verkehrsentscheidungen (Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Wahl der Abfahrtszeit) quantifiziert. Aus den Modellschätzungen werden neben den Parametern auch Nachfrageelastizitäten, respektive Zahlungsbereitschaften abgeleitet.

Es wurden vier verschiedene schriftliche SP Experimente durchgeführt. Neben der Erhebung der Verhaltensänderungen in der Routen-, Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl wurden in einem ersten Experiment die politischen Präferenzen der Befragten bezüglich der Gestaltung von Mobility Pricing untersucht. Dadurch wurde versucht, die politische Einstellung der



Befragten im ersten Experiment explizit abzufragen, so dass diese nicht mehr in den anschliessenden Experimenten zum Ausdruck gebracht werden musste.

Die Ergebnisse dieses Experiments zeigen, dass etwa die Hälfte der Befragten das jeweils vorgestellte Mobility Pricing System unter gegebenen Rahmenbedingungen befürwortet und dass der wichtigste Faktor für die Akzeptanz das gewählte Kostenniveau ist. Dabei muss beachtet werden, dass die unterschiedlichen Befragungskonzepte und Stichprobengrundgesamtheiten, hier und im Projekt A1 (Akzeptanz von Mobility Pricing), auch zu unterschiedlichen absoluten Werten führen können. Wie zu erwarten war, sinkt die Akzeptanz eines Systems mit steigenden Kosten. Weiterhin ist zu sehen, dass Mobility Pricing Modelle mit Autobahngebühren oder kilometerabhängigen Abgaben im Durchschnitt bevorzugt werden, während Gebietslizenzen und tageszeitabhängige Gebühren eher abgelehnt werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der die Akzeptanz verschiedener Arten von Mobility Pricing beeinflusst, ist der Wohnort der Befragten, respektive dessen Gemeindetyp. Die Bewohner der Grossstädte zeigen insgesamt eine relativ hohe Akzeptanz für die verschiedenen Arten des Pricings mit Ausnahme der Gebietslizenzen, die sie direkt und unausweichlich betreffen. Weiter zeigte sich, dass der Einfluss der Verwendungszwecke der Einnahmen auf die Akzeptanz des Mobility Pricing nicht sehr gross ist.

### ***Modellergebnisse Taktische Entscheidungen***

Für die Schätzung der Zahlungsbereitschaft und Verhaltensveränderungen wurden drei weitere SP Experimente durchgeführt:

- Wahl der Abfahrtszeit und Routenwahl im Strassenverkehr für MIV- Nutzer (SP2)
- Wahl der Abfahrtszeit und des Verkehrsmittels (SP3)
- Verkehrsmittel- und Routenwahl (SP4)

Die auf Basis dieser Daten geschätzten Modelle bilden die Grundlage für die Schätzung taktischer Verhaltensänderungen in der Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Wahl der Abfahrtszeit.

Zunächst wurden jeweils für die Routenwahl im MIV (anhand der Befragungsergebnisse aus dem SP2-Experiment) und für die Verkehrsmittelwahl (anhand der Befragungsergebnisse aus den Experimenten SP3 und SP4) einzelne Modelle mit linearer Nutzenfunktion bestimmt. Diese beiden Modelle wurden zu einem kombinierten Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell zusammengefasst, um robustere Ergebnisse zu erhalten. Anschliessend wurde eine Vielzahl von nichtlinearen Modellen sowohl für das Routenwahlmodell und das

Verkehrsmittelwahlmodell als auch für das kombinierte Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell getestet. Alle geschätzten Modellparameter zeigen plausible Vorzeichen und sind in ihren Verhältnissen mit vorherigen Studien in der Schweiz vergleichbar.

Wie zu erwarten, ist für alle betrachteten Entscheidungen die Reisezeit die wichtigste Einflussvariable. Weiter zeigte sich, dass eine verspätete Abfahrtszeit sowohl bei der Routenwahl als auch bei der Verkehrsmittelwahl negativ bewertet wird, ebenso eine verfrühte Abfahrtszeit bei der Verkehrsmittelwahl. Anders ist es hingegen bei der Routenwahl. Hier wird eine frühere Ankunft und ein Vermeiden von Wartezeiten auf der Strasse bevorzugt. Dies deutet auf eine generell starke Abneigung gegenüber Verspätungen hin. Diese Interpretation wird durch die Tatsache bestärkt, dass die Bestrafung für eine verspätete Abfahrtszeit doppelt so hoch ist wie für eine zu frühe Abfahrtszeit. Dazu passt auch die Bewertung der Verlässlichkeit im MIV und im ÖV. Je unzuverlässiger die Route ohne Mobility Pricing in der Routewahl ist, umso häufiger wird die Route mit Mobility Pricing gewählt. Ebenso wird bei zunehmender Unzuverlässigkeit des ÖV die MIV-Route stärker bevorzugt.

Die geschätzten Kostenparameter zeigen, dass jede zusätzliche Kostenkomponente und jede Erhöhung der Reisekosten negativer bewertet wird als die vorhergehende. Die Treibstoffkosten werden ähnlich bewertet wie in früheren Studien. Maut und Parkgebühren hingegen werden als weitere Kostenkomponente mehr als doppelt so negativ bewertet wie Treibstoffkosten. Damit ist für die Verkehrsverhaltensentscheidungen jede zusätzliche Mautausgabe ca. 2-mal relevanter als schon „verkraftete“ und „bekannte“ Treibstoffkosten. Diese Bewertung basiert auf der Voraussetzung, dass die Treibstoffkosten als erste Kostenkomponente betrachtet werden. Dabei muss beachtet werden, dass diese Verhältnisse auch von der absoluten Höhe der Treibstoff- und Mautkosten abhängig sind.

Bezüglich der nicht-linearen Formulierung der Kosten- und Zeitparameter bestätigen die Modellergebnisse wiederum die Abhängigkeit der Bewertung dieser Grössen vom Einkommen und der Reisezeit respektive den Kosten. Mit steigendem Einkommen sowie steigender Reisezeit werden zusätzliche Kosten weniger negativ beurteilt. Das gleiche gilt für zusätzliche Reisezeit bei steigenden Kosten. Der Effekt, dass Maut und Parkkosten wesentlich negativer bewertet werden, da sie im Vergleich zu Treibstoffkosten eher vermeidbare Kosten sind, bestätigt sich jedoch auch hier. Die nicht-linearen Kosten- und Zeitparameter haben darüber hinaus entscheidenden Einfluss auf die Zeitwerte und Elastizitäten.

### **Zahlungsbereitschaft**

Die unterschiedliche Bewertung der einzelnen Kostenkomponenten sowie die Abhängigkeit von der Kostenhöhe führen dazu, dass sich durch die Einführung von zusätzlichen Kostenkomponenten, wie beispielsweise das Mobility Pricing, auch die Zahlungsbereitschaft verändert. Für die hier betrachteten Kostenkomponenten wurde folgende Zahlungsbereitschaft ermittelt:

- Treibstoffkosten: 27.8 CHF/h
- Maut: 13.6 CHF/h
- Parkgebühr: 10.8 CHF/h
- ÖV - Kosten: 19.5 CHF/h

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Zahlungsbereitschaft der MIV-Verkehrsteilnehmer für eine Stunde eingesparte Reisezeit in Bezug auf die Treibstoffkosten als einzelne Kostenkomponente 27.8 CHF beträgt. Dabei muss beachtet werden, dass hier die Treibstoffkosten ohne Mineralölsteuer betrachtet wurden. Die heutige Mineralölsteuer wurde in die Mautkosten miteinbezogen. Die Zahlungsbereitschaft für ÖV-Kosten ist vor allem wegen der Nutzbarkeit der Zeit im ÖV (und unterschiedlicher soziodemographischer Charakteristika, Fahrzweckanteilen und Situation der Verkehrsteilnehmer) tiefer und beträgt 19.5 CHF/h. Weiter muss berücksichtigt werden, dass die hier betrachteten ÖV Kosten höher sind als die Treibstoffkosten, was zusätzlich die Zahlungsbereitschaft im ÖV reduziert. Wenn eine Maut eingeführt würde (die mittlere Mauthöhe der betrachteten Stichprobe liegt bei 5.3 Fr pro Fahrt), reduziert sich die zusätzliche Zahlungsbereitschaft auf 13.6 CHF/h. Die zusätzliche Einführung von Parkgebühren neben Treibstoff- und Mautkosten (im Mittel 2 CHF/Fahrt) ergibt nur eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft von 10.8 CHF/h.

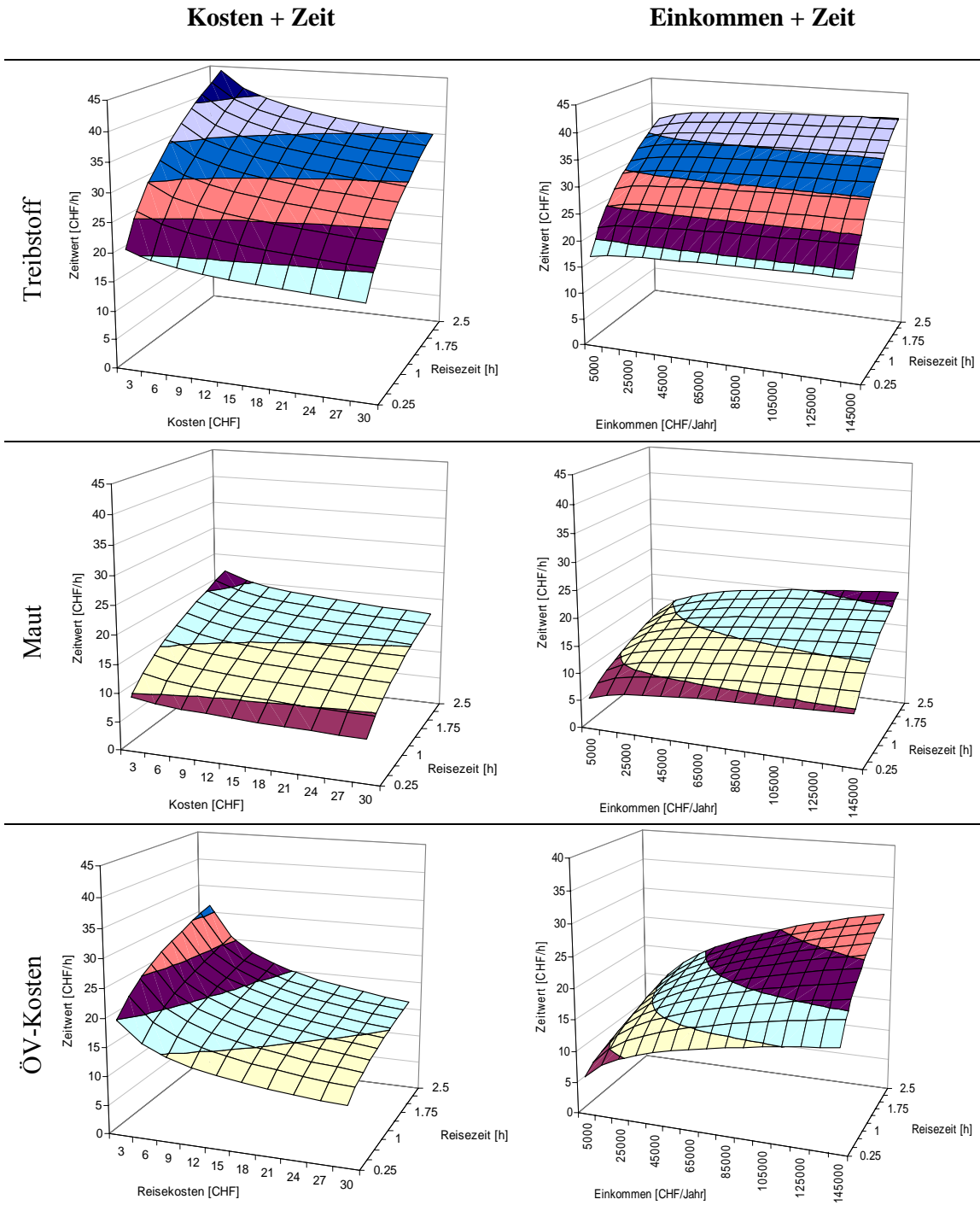
Die Zahlungsbereitschaften für eingesparte Reisezeit verändern sich jedoch nicht nur in Abhängigkeit von der Kostenart. Vielmehr haben auch das Einkommen der Befragten und die Reisezeit der beurteilten Fahrt sowie das Kostenniveau einen entscheidenden Einfluss. Aus diesem Grund sind in Abbildung 1 die Zahlungsbereitschaften für Treibstoff, Maut und ÖV-Kosten einmal in Abhängigkeit von den entstehenden Kosten und der Reisezeit sowie einmal in Relation zu Einkommen und Reisezeit dargestellt. Natürlich sind die Zeitwerte immer von allen drei Grössen abhängig, eine vierdimensionale Darstellung ist aber nicht möglich.

Wie in Abbildung I zu sehen ist, fallen die Zeitwerte mit steigenden Kosten. Dieser Effekt lässt sich vor allem mit der übergeordneten Budgetbeschränkung (der Ausgaben für Verkehr) erklären, die ein Reisender hat. Je näher der Betroffene an seine Budgetbeschränkung herankommt, umso mehr Reisezeitersparnisse erwartet er für das gleiche Geld. Damit sinkt

seine Zahlungsbereitschaft. Steigt jedoch die Reisezeit, so steigt mit ihr auch der Zeitwert. Längere Reisen sind in der Regel auch mit höheren Budgets verbunden und zusätzliche Ausgaben werden nicht mehr so hart bestraft wie bei kürzeren Reisen, insbesondere da sie prozentual einen kleineren Teil am Gesamtpreis der Reise ausmachen. Diese Effekte sind darüber hinaus auch mit der Fahrthäufigkeit verbunden. Ähnliches kann beobachtet werden, wenn die Zeitwerte in Abhängigkeit vom Einkommen und der Reisezeit aufgetragen werden. Wie schon in vorherigen Studien gezeigt wurde, führt ein höheres Einkommen zu einer höheren Zahlungsbereitschaft.

Werden die Zeitwerte der verschiedenen Kostenarten miteinander verglichen, so zeigt sich, dass das Verhalten bezüglich Kosten, Reisedistanz und Einkommen ähnlich, das Niveau hingegen unterschiedlich ist. Die Zeitwerte für die Maut sind erheblich niedriger als diejenigen für die Treibstoffkosten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Verkehrsteilnehmer bei kurzfristigen, taktischen Entscheidungen weniger stark auf Kosten reagieren, die ihnen unausweichlich erscheinen als auf vermeidbare Kosten wie Maut oder Parkkosten, welche durch Umwege oder andere Parkplatzwahl verhindert werden können. Weiterhin werden die Mautkosten und Parkplatzgebühren als zusätzliche Kostenkomponente betrachtet und führen damit zu einer Erhöhung der gesamten Reisekosten. In diese Erklärung passt auch das Phänomen, dass der Anstieg der Zeitwerte in Bezug zum Einkommen für die Treibstoffkosten weniger steil verläuft als für die Kosten, die durch Maut verursacht werden.

Abbildung I Zeitwerte in Abhängigkeit von Kosten und Zeit bzw. Einkommen und Zeit



### **Elastizitäten**

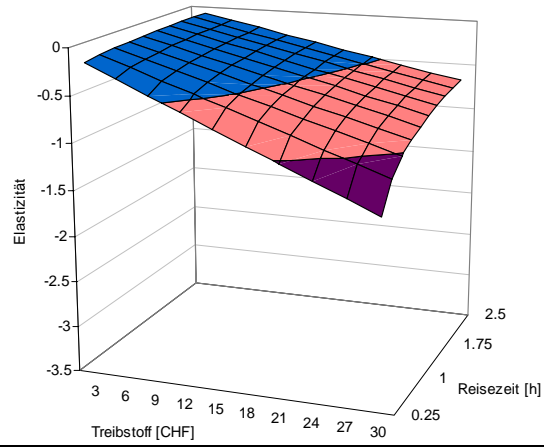
Eine weitere wichtige Auswertung der Modellergebnisse stellt die Berechnung der Reisezeit- und Kostenelastizitäten dar. Eine Elastizität gibt ganz allgemein an, wie sich die Veränderung einer unabhängigen Variablen, z.B. Reisekosten oder Reisezeit, auf eine abhängige Variable, z.B. die Verkehrsnachfrage, auswirkt. Eine direkte Mautelastizität von -0.29 würde dabei bedeuten, dass eine Erhöhung der Maut um 10% zu einer Reduzierung der MIV-Fahrten um 2.9% führt. Aufgrund der nichtlinearen Funktionsformen der Kosten- und Reisezeitparameter, müssen diese Nichtlinearitäten auch bei der Berechnung der Elastizitäten berücksichtigt werden.

Abbildung II zeigt den Verlauf der direkten Kostenelastizitäten. Die Abhängigkeit der Kostenelastizitäten vom Einkommen wurde dabei nicht dargestellt. Die Elastizitäten wurden für das mittlere Einkommen der Stichprobe berechnet und haben alle ein negatives Vorzeichen. Das heisst, eine Erhöhung der Reisezeiten oder der Kosten für eine Alternative führt immer zu einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit, dass diese ausgewählt wird. Darüber hinaus ist deutlich zu sehen, dass sowohl die Reisezeit- als auch die Kostenelastizitäten mit steigenden Kosten betragsmässig zunehmen, mit steigender Reisezeit hingegen betragsmässig abnehmen.

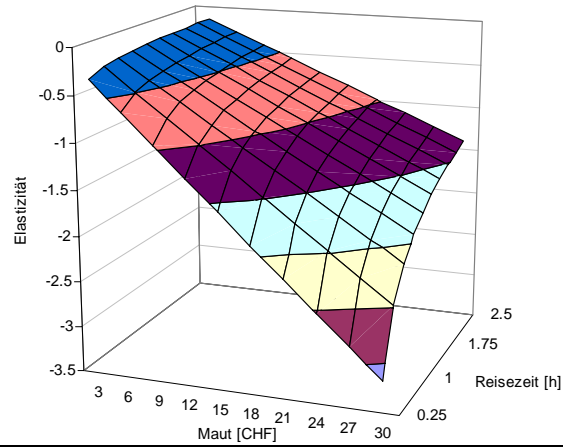
Bezüglich der unterschiedlichen Kostenkomponenten ist wiederum deutlich zu sehen, dass die Befragten auf Kosten, die durch Maut verursacht werden, viel stärker reagieren als auf Kosten für Treibstoff. Hierbei muss beachtet werden, dass eine Maut als eine zweite, zusätzlich zu den Treibstoffkosten anfallende Kostenkomponente betrachtet wird. Dadurch ist der Verlauf der Elastizitätsfunktion für den Treibstoff wesentlich flacher.

Abbildung II Direkte Kostenelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit

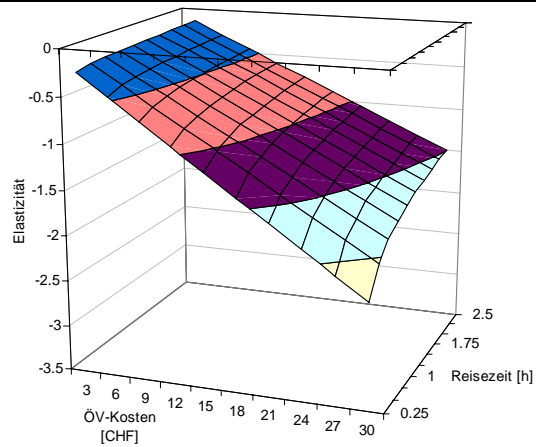
Treibstoff



Maut



ÖV-Kosten



### *Modellergebnisse Strategische Entscheidungen*

Ziel des zweiten Teils der Stated Preference Befragung ist es, den Einfluss von Mobility Pricing Massnahmen auf den Besitz von Mobilitätswerkzeugen und die Wohnstandortwahl herauszuarbeiten. Die Befragung wurde in mündlichen, persönlichen Interviews durchgeführt. Die Fragebögen wurden datenbankbasiert für jede befragte Person individuell erstellt und direkt unter Mithilfe des Interviewers am Laptop ausgefüllt.

Die geschätzten Modellparameter zeigen, dass der Besitz von Personenwagen vor allem durch soziodemographische-, siedlungsstrukturelle- und Verkehrsangebotsmerkmale determiniert ist. Dabei ist die Bedeutung der Kostenvariable eher untergeordnet. Es wurden zwei getrennte Modelle geschätzt: eines für allein benutzte PW und eines für gemeinsam benutzte PW. Die geschätzten Parameter zeigen, dass mit einer Kostenerhöhung die Attraktivität der gemeinsamen Benutzung eines PWs erhöht wird. Dabei muss aber beachtet werden, dass der Anteil der von mehreren Personen gemeinsam benutzten PW sehr klein ist (ca. 10% der Stichprobe) und damit die Ergebnisse aus dem Modell für die alleinige Nutzung eines PWs für die Verkehrsprognosen dominierend sind. Aus den geschätzten Modellparametern wurde für die Variable PW-Kosten im Bezug auf den PW-Besitz eine mittlere Elastizität von -0.157 ermittelt. Wenn also beispielsweise die variablen PW-Kosten um 10% ansteigen, dann sinkt der PW Besitz um -1.57%. Dahingegen ist der Einfluss der ÖV-Kosten auf den PW-Besitz nicht signifikant.

Mit den geschätzten Modellen konnte kein signifikanter Einfluss der variablen PW-Kosten auf den Besitz von ÖV-Abonnements festgestellt werden. Die nicht signifikanten Parameter für die Kostenvariablen weisen darauf hin, dass die Kosten im vorliegenden Bereich keinen Einfluss auf die Besitzverhältnisse der ÖV-Abonnemente haben. Die geschätzten Parameter zeigen aber deutlich, dass das GA (Generalabonnement) zum PW als Substitutionsgut auftritt.

Im letzten Teil der Befragung wurde der Einfluss der Reisekosten auf die Wohnstandortwahl analysiert. Auch hier zeigte sich, dass die PW-Kosten als eine Verkehrsangebotskomponente für die Wohnstandortwahl signifikant sind, eine Veränderung dieser Kosten alleine aber eher untergeordnete Bedeutung hat. Damit kann als Schlussfolgerung angenommen werden, dass die Einführung von Mobility Pricing keinen bedeutenden Einfluss auf die Wohnstandortwahl hat.



### *Schätzung von Revealed Preference (RP) Modellen*

Die aus den Stated Preference Daten (SP) geschätzten Modellparameter für die taktischen Entscheidungen wurden darüber hinaus durch Schätzung von Revealed Preference (RP) Modellen, welche auf tatsächlich beobachtetem Verhalten basieren, überprüft. Hier wurden sowohl einzelne Revealed Preference Modelle als auch gemeinsame SP/RP Modelle geschätzt. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die RP-Ergebnisse von den SP-Ergebnissen nicht wesentlich unterscheiden.

Für Umlegungsmodelle und die Berechnung von Routenwahlveränderungen ist die Ermittlung des Routensets bzw. der von den Verkehrsteilnehmern bei der Routenwahl berücksichtigten Routen ein wichtiger Modellierungsschritt. Für die Ermittlung des Routensets wurden hier mit RP und SP-Daten entsprechende Modelle geschätzt. Es hat sich gezeigt, dass neben den üblichen Variablen wie Reisezeit und Reisekosten auch Strassentypen eine relevante Rolle beim Routenwahlverhalten spielen. Durch ein solches Attribut werden vor allem der Komfort sowie das Strassenumfeld bewertet. Weiterhin wurde gezeigt, dass die Reisezeitveränderung auf unterschiedlichen Strassentypen und bei unterschiedlicher Reisezeitdauer unterschiedlich bewertet wird.

### *Elastizitäten der Gesamtnachfrage*

Das Ziel des dritten Teils der Studie war es, die Auswirkungen von Preisänderungen auf die individuelle Mobilitätsnachfrage in den letzten 45 Jahren anhand von statistischen Datengrundlagen zu analysieren. Auf aggregierter Ebene wurden Zeitreihen zur Verkehrsnachfrage, zum Treibstoffabsatz und zur Benzinpreisentwicklung regressionsanalytisch untersucht. Auf disaggregierter Ebene wurden die Daten des Mikrozensus 2000 verwendet, um die Wirkung einzelner Kostenkomponenten (Fixkosten, variable Kosten und Zeitwerte) auf die Mobilitätsnachfrage zu bestimmen. Die Resultate auf aggregierter Ebene zeigen deutlich, dass Elastizitäten stark von der Wahl des Erhebungszeitraumes abhängen und dass ihre Werte nur im Zusammenhang mit den gewählten Grössen und Randbedingungen interpretiert werden können.

### *Empfehlungen für die Anwendung*

Die hier ermittelten Projektergebnisse erfassen mögliche Verhaltensreaktionen der Verkehrsteilnehmer bei der Einführung von Mobility Pricing. Mit diesen Grundlagen können die verkehrlichen Auswirkungen und die Verhaltensänderungen bei solchen Angebotsveränderungen quantifiziert werden. Daraus kann abgeleitet werden, ob und welche verkehrspolitischen Ziele durch die Einführung von Mobility Pricing erreicht werden können.

Der Vergleich der ermittelten Ergebnisse mit den Erfahrungen aus dem Ausland zur Einführung von Road Pricing zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Die aus Modellparametern abgeleiteten Nachfrageelastizitäten und die durch Anwendungs-beispiele berechneten Nachfrageveränderungen bewegen sich in einem ähnlichen Rahmen wie die in der Literaturanalyse ermittelten Erfahrungen im Ausland. Die geschätzte Zahlungsbereitschaft liegt zwar über der Zahlungsbereitschaft der anderen Länder, dies ist aber vor allem auf die Unterschiede in der Soziodemographie und der Einkommensstruktur sowie der heutigen Ausgaben für Verkehr zurückzuführen.

Wie hier gezeigt wurde, sind die Verhaltensreaktionen der Verkehrsteilnehmer stark von soziodemografischen-, Weg- und Angebotscharakteristiken abhängig. Damit können die Auswirkungen von Massnahmen nur durch eine plausible Beschreibung des Verkehrsangebots und der Verkehrsnachfrage des betrachteten Untersuchungsgebiets geschätzt werden. Dies bedeutet, dass die Berechnung der Auswirkungen von Mobility Pricing neben den hier geschätzten Modellparametern auch eine verlässliche Beschreibung des Verkehrsgeschehens durch die verwendeten Verkehrsmodelle verlangt. Zusätzlich zu einer vollständigen Angebotsbeschreibung muss der Fokus vor allem auf realitätsentsprechende bzw. validierte Quell-Ziel-Matrizen gelegt werden. Nur durch eine verlässliche Quell-Ziel-Matrix können die Nutzen bzw. Kosten der Wege eines Untersuchungsgebiets und damit auch mögliche Nachfragereaktionen plausibel berechnet werden. Weiterhin müssen bei der Planung von Mobility Pricing Massnahmen alle Angebotskomponenten berücksichtigt und der gesamte Nutzen bzw. die gesamten Kosten eines Weges berechnet werden. Beispielsweise hat die Einführung eines Mobility Pricings von 5 CHF/Fahrt auf einen Weg von 10 Minuten eine andere Wirkung als auf einen Weg von 60 Minuten. Daher ist ein verlässliches und validiertes Netzmodell unerlässlich.

Für die Berechnung von Verkehrsmittelwahl- und Abfahrtszeiteffekten können die Logit-Modelle als Pivot-Point-Ansätze verwendet werden. Weiterhin ist für die Schätzung von Abfahrtszeitveränderungen die Berücksichtigung der Nachfragedynamik eine wichtige Komponente. Für die Schätzung der Zielwahlveränderungen können die im Rahmen der

Erstellung des Nationalen Personenverkehrsmodells geschätzten Zielwahlparameter benutzt werden. Es ist zu empfehlen, diese Parameter zusammen mit den hier geschätzten Verkehrsmittelwahlparametern als kombiniertes Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell zu verwenden.

## Summary

The aim of the project *Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhalten* (Project B1) was to clarify the possible effects of mobility pricing on transport behavior. The project results provide a basis for estimating the possible transportation demand changes caused by various mobility pricing strategies. The research highlights the travel consumer's willingness to pay and the substantial changes in travel behaviour created by the introduction of mobility pricing.

The first main part of the project considered the impact of mobility pricing on tactical decisions (i.e. behavior changes with respect to mode choice, route choice and the choice of the departure time). The parameters estimated from Stated Preference data (SP) were verified using models based on observed behavior. In addition, the influence of mobility pricing on route choice, mode choice and departure time choice was tested in a simplified example. Another main element of the project considered mobility pricing's impact on strategic decisions (i.e. influence on automobile ownership, public transport subscriptions and residential location choice).

### *Tactical Behavior Changes and Political Opinion*

In order to create a reliable basis for transport forecasting and estimating demand changes due to mobility pricing, model parameters for behavior change were estimated using a stated preference (SP) survey. These parameters can be used to quantify the meaning of mobility pricing and other influence factors (such as travel time, fuel costs, transfer frequency etc.) on tactical transport decisions (route choice, mode choice and choice of departure time). Furthermore, the model estimation was used to derive the demand elasticities and the willingness to pay.

Four different written SP surveys were completed. In the first survey (SP1) people were asked about their political opinions for the design of mobility pricing programs. Explicitly asking about political opinions was done with the hope to reduce this influence in the following surveys about route, mode and departure time choice.

The results of this survey showed that half of those asked overall endorsed the mobility pricing measures tested and that cost level is the most important factor for the acceptance of mobility pricing measures. As expected, the acceptance of a mobility pricing measure falls as

the cost increases. Also, people generally prefer motorway tolls and kilometer-dependent fees, and dislike area licenses and time of day-dependent fees. Another important factor that affects the acceptance of mobility pricing measures is residential location; residents of large cities show a relatively high level of acceptance for all types of mobility pricing measures except area licenses. Probably this is because area licenses are most likely to be used in cities and therefore concern their residents directly and unavoidably. Finally, the influence of the usage of the revenues on the acceptance of mobility pricing was found to be small.

### ***Model Results: Tactical Decisions***

In order to estimate people's willingness to pay and the behavior changes that might be achieved through mobility pricing, three further SP surveys were completed:

- Choice of departure time and route for automobile drivers (SP2)
- Choice of departure time and mode (SP3)
- Choice of mode and route (SP4)

The models estimated on basis of these data form the basis for estimating tactical changes of behavior in the traveler's route choice, mode choice and choice of departure time caused by mobility pricing measures.

In the first step, the route choice data for automobile drivers (based on the SP2 survey) was combined with mode choice data (from the SP3 and SP4 surveys) to develop single models with linear utility functions. Next, these two models were combined into a combined route and mode choice model to obtain more robust results. Subsequently, many different nonlinear models were tested for all three models (route choice, mode choice and the combined route/mode choice model). All the estimated model parameters of the final model show plausible signs and are comparable with previous studies in Switzerland.

As expected, travel time is the most influential variable for all examined decisions. The models also showed that a late departure time is evaluated negatively both with the route choice and with the mode choice models, likewise an early departure time was evaluated negatively in the mode choice model. However, in the route choice model, an earlier arrival was preferred if it reduced traveler delay from roadway congestion. This indicates a generally strong dislike of delays. This interpretation is supported by the fact that the penalty for a late departure time is twice as high as for an early departure time. It also is supported by the value placed by travelers on travel time reliability for both road and public transport trips. In the

route choice model, the share of automobile drivers who choose the route with mobility pricing increases as the travel time on the route without mobility prices becomes more unreliable. The mode choice model shows the same result, as public transport travel time becomes less reliable, the share of public transport use decreases.

The estimated cost parameters show that each additional cost component and each increase in travel cost is evaluated more negatively than the preceding. The parameter for fuel costs is similar to those evaluated in earlier studies. However, tolls and parking fees were, as “additional” cost components, valued more than double the rate of fuel costs. Thus, toll increases have twice the influence on transport decision-making as “existing” and “well known” fuel costs. This evaluation is based on the assumption that fuel costs are regarded as the first cost component. It should also be noted that these conditions also depend on the absolute value of the fuel and toll costs.

Regarding the nonlinear formulation of the cost and time parameters the model results confirm the dependence on income levels and the travel time. Additional cost is judged less negatively as income or travel time increase. The same applies to additional travel time with rising costs. Tolls and parking fees are evaluated substantially more negatively, since they are considered to be avoidable costs rather than unavoidable like fuel costs. The nonlinear cost and time parameters also have a crucial influence on the value of time and elasticities.

### ***Willingness to Pay***

The different valuing of the individual cost components as well as the dependence on absolute cost means that introducing additional cost components, as for example through mobility pricing, also changes the traveler’s willingness to pay. The traveler’s willingness to pay was determined for the following cost components:

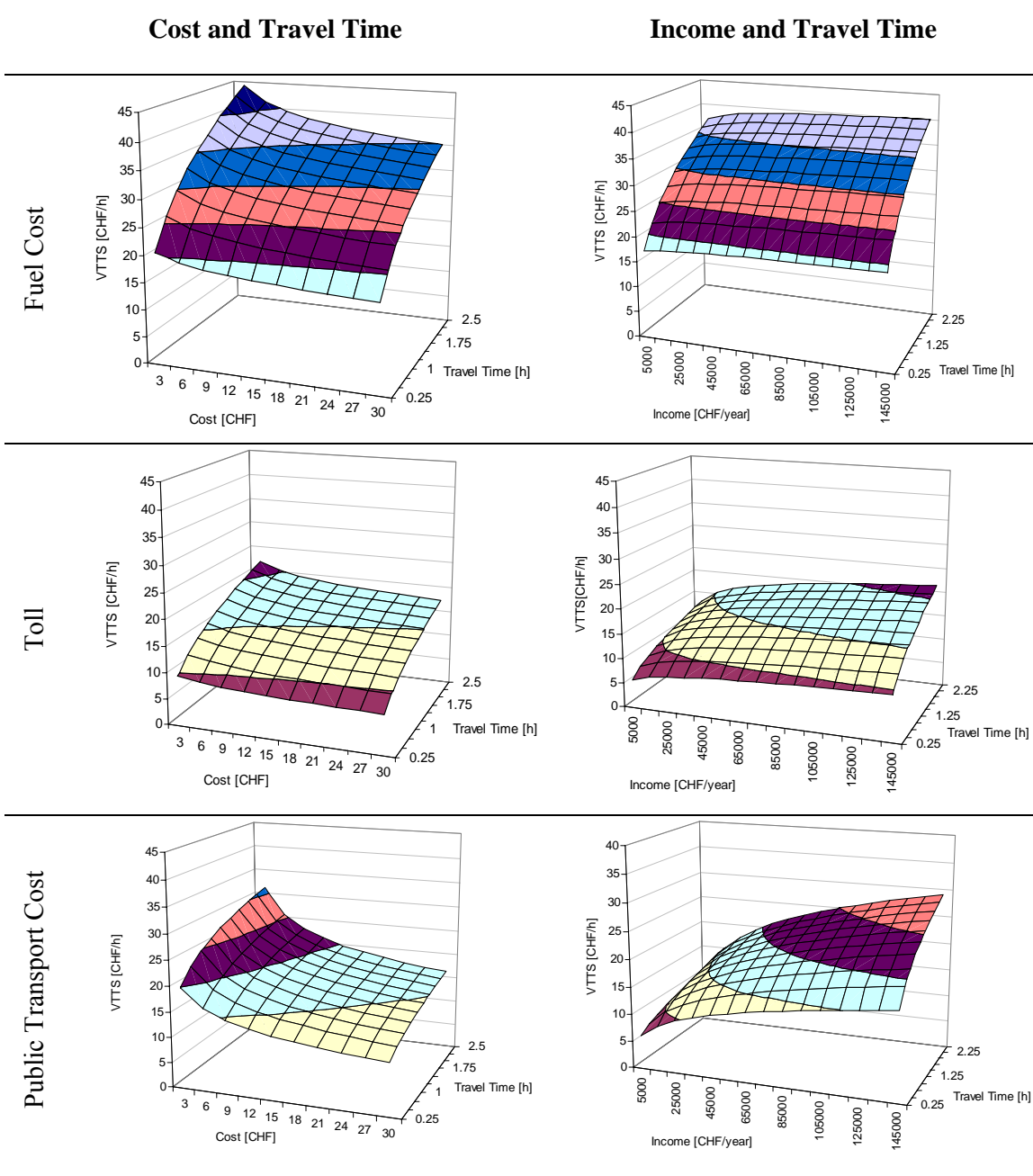
- Fuel costs: 27.8 CHF/hour
- Tolls: 13.6CHF/hour
- Parking fees: 10.8 CHF/hour
- Public transport costs: 19.5 CHF/hour

These results show the amounts road users are willing to pay to save one hour of travel time (e.g. they are willing to pay 27.8 CHF in fuel costs to save one hour travel time, but only willing to pay 10.8 CHF in parking fees). It must be noted that this analysis is based on fuel

costs without fuel tax; the current fuel tax was included in the toll costs. The willingness to pay for public transport costs is deeper because travel time can be used productively in public transport (and because of different demographic characteristics, driving purpose and situation of the users). It amounts to 19.5 CHF/hour. Additionally, it should be noted that the public transport costs considered here are higher than the fuel costs, which further reduces the willingness to pay for public transport. Introducing a toll (the median toll rate in the observed sample was 5.3 CHF per trip) reduces the additional willingness to pay to 13.6 CHF/hour. The introduction of parking fees (on the average 2 CHF/trip) in addition to fuel and toll results in an additional willingness to pay for travel time savings of only 10.8 CHF/hour.

The research also found that the income, travel time and travel cost level all influence traveler's willingness to pay. Figure I illustrates the willingness to pay for fuel, tolls and public transport costs as a function of cost and travel time (left set of figures) and as a function of income and travel time (right set of figures). Naturally the value of time always depends on all three variables, but a four-dimensional representation is not possible.

Figure I Willingness to Pay with Respect to Cost, Travel Time and Income



As shown in Figure I, the value of time falls with rising costs. This effect can be explained by the traveler's overall budget restriction for transport related expenditures. The closer a traveler comes to her budget restriction, the more travel time savings she expects for the same price and therefore her willingness to pay falls. However when the travel time rises, the value of



time also rises. Longer journeys usually are associated with higher travel budgets and are therefore not penalized as harshly as shorter journeys, since these costs constitute a proportionally smaller share of the total journey cost. These effects are also connected with travel frequency. Something similar can be observed, when the value of time is plotted as a function of income and travel time. Consistent with previous studies, this research shows that travelers with higher incomes have a higher willingness to pay for travel time savings.

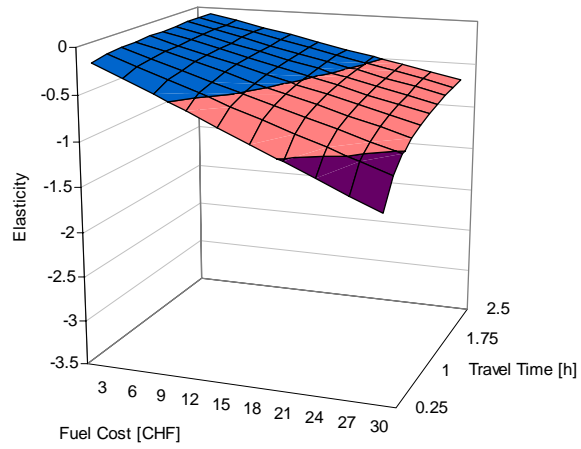
The comparison of the values of travel time savings of the different mobility pricing with one another makes it clear that behavior is similar concerning costs, travel distance and income. However, the level of the value of time is different. The value of time for tolls is substantially lower than that for fuel costs. This is because road users are more likely to accept expenses that appear inevitable to them (e.g. fuel costs) than costs they view as avoidable (e.g. tolls or parking fees) since drivers can make short term tactical changes such as detours or other parking lot choice to avoid these costs. Furthermore, tolls and parking fees are regarded as additional cost components and lead thereby to an increase in total travel expenses. This also explains why the increase in the value of time in relation to income for fuel costs is less steep than for tolls and parking fees.

### *Elasticities*

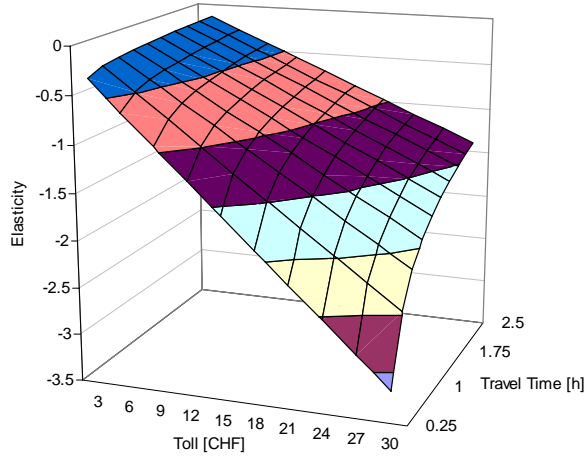
Another important use of the model results is computation of travel time and cost elasticities. An elasticity generally indicates how a change in one variable (e.g. travel expenses or travel time), affects a dependent variable (e.g. transport demand). A direct toll elasticity of -0.29 would mean that an toll increase of about 10% would lead to a reduction in private transport trips of about 2.9%. The nonlinear form of the cost and travel time parameter functions must be considered in the computation of elasticities.

Figure II Direct Cost Elasticities Depending on Cost and travel time

Fuel Cost



Toll



Public Transport Cost

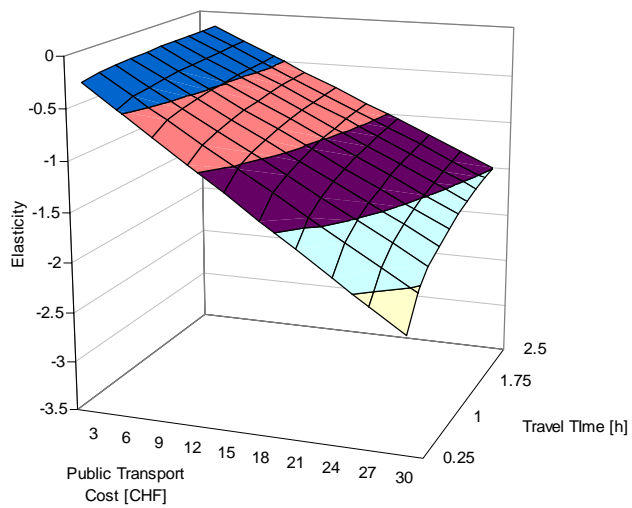


Figure II illustrates the direct cost elasticities of fuel costs, tolls and public transport costs. The dependence of the cost elasticities on the income is not represented in these figures; instead, the elasticities are computed for the middle income of the sample and are all negative values. That is, an increase in an alternative's travel time or cost always leads to a decrease in the probability that the alternative will be selected. Additionally it can be clearly seen that the magnitude of both the travel time and the cost elasticities increases significantly with rising costs, while it decreases with increasing travel time.

With respect to the different cost components it can be seen clearly that those surveyed reacted more strongly to tolls than fuel costs. However, it must be noted that a toll is regarded as a second, additional cost component to the fuel costs. Thus, the elasticity function for fuel costs is substantially flatter.

#### *Model Results: Strategic Decisions*

The goal of the second part of the stated preference questioning was to determine the influence of mobility pricing on the possession of mobility tools and housing location choice. The survey data was collected orally in personal interviews. The questionnaires were individually prepared for each person surveyed and filled out directly on a laptop computer with interviewer assistance.

The estimated model parameters show that possession of automobiles is determined for the most part by socio-demographic characteristics, settlement structure and transport availability and the importance of cost is subordinated to these factors. Two separate models were estimated from the data: the first for single occupant automobiles and the second for multiple occupant automobiles. The estimated parameters show that as cost increases, the attractiveness of the multiple occupant automobile use increases. However, it must be noted that the share of multiple occupant automobiles in the sample was very small (approximately 10%) and therefore the model results for exclusive use of private automobiles dominate. Based on the estimated model parameters for the automobile costs variable related to the automobile possession, an average elasticity of -0.157 was determined. Therefore, for example, if automobile costs rise about 10%, then automobile ownership falls about 1.57%. In contrast, the influence of public transport costs on automobile ownership is not significant.

The estimated models found that the automobile costs variable had no significant influence on the possession of public transport subscriptions. These not significant parameters for cost variables show that costs (within the tested range) do not influence ownership of public

transport subscriptions. The estimated parameters do clearly show however that the GA (Swiss annual national public transport subscription) is viewed as a substitute good for an automobile.

The final part of the questioning analyzed the influence of travel expenses on housing location choice. Results showed that while automobile costs are significant as a component of the housing location choice, a change in these costs does not have a large influence. Thus it can be concluded that the introduction of mobility pricing will not have an important influence on housing location choice.

#### *Estimation of Revealed Preference (RP) Models*

In order to test the reliability of the model parameters estimated from the stated preference data (SP) for tactical decisions related to mobility pricing measures, a second set of parameters estimated using revealed preference (RP) data (based on actual observed behavior) were developed as part of the research project. In this task both the individual revealed preference models and the common SP/RP models were estimated. Using these models it could be shown that the RP-results do not differ substantially from the SP results.

For assignment models and the assessment of route choice changes the determination of the set of possible routes (the choice set) is an important modeling step. Therefore appropriate models were estimated with RP and SP data. Results of this analysis showed that in addition to the usual variables (e.g. travel time and cost), the road type influences route choice behavior. More specifically, attributes such as comfort and road surroundings are considered in the decision. The analysis also showed that travel time changes were evaluated differently on different road types and with different travel durations.

#### *Aggregate Demand Elasticities*

The goal of the third part of the study was to analyze the effects of price adjustments on the individual mobility demand over the last 45 years using statistical data. On an aggregated level, time series data were used in a regression analysis of fuel costs and gasoline price on transport demand. Disaggregated level data from the 2000 Swiss Micro-census to determine the effect of individual cost components (fixed costs, variable costs and the value of time) on the mobility demand. The results on the aggregated level show clearly that elasticities depend

strongly on the choice of the taxation period and that their values can be interpreted only in connection with the selected magnitudes and boundary conditions.

### *Implementation Recommendations*

The results of this project describe the behavior of road users to the introduction of mobility pricing. Using the models developed as part of this project, the transportation impacts and behavior changes brought about through mobility pricing measures can be quantified. The information derived from these models can be used to help determine whether it is possible to achieve specified transport goals through the implementation of particular mobility pricing measures.

The research results compare well with research on the introduction of road pricing measures in other countries. The demand elasticity derived from model parameters and the demand changes computed by example applications of these parameters move within a similar framework as those reported in the literature analysis of foreign experience. The willingness to pay determined in this study is slightly higher than that found in other countries, however this can be explained by differences in the socio-demographic characteristics and income structure as well as current transport expenditure levels.

The research found that people's travel behavior depends strongly on socio-demographic, route and service characteristics. Thus the effects of mobility pricing measures can be estimated only by a plausible description of the transport service and the regional transport demand. This means that estimating the effects of mobility pricing (apart from the general model parameters estimated in this research) requires a reliable description of the transport service from regional transport models. These models must include a complete description of the transport service and a realistic and validated origin-destination travel matrix. Only by using reliable origin-destination data can the potential demand changes and/or trip costs in an investigation area be determined and the potential demand reaction be plausibly estimated. Furthermore, when evaluating mobility pricing measures, all service components must be considered and the total use and/or total trip costs must be calculated. This is important because, for example, introduction of a mobility pricing measure of 5 CHF/trip has a very different impact on trips of 10 minutes than on trips of 60 minutes. Therefore a reliable and validated network is essential to fully understand the impacts of mobility pricing measures.

A Logit model can be used in a pivot-point analysis to compute the mode choice and departure time impacts of mobility pricing measures. Furthermore, the consideration of the

demand dynamics is an important component for the estimation of departure time changes. For the estimation of destination choice changes, the destination choice parameters estimated from the national person transport model can be used. It is recommended that these parameters are used with the mode choice parameters estimated in this research in a combined destination and mode choice model.

## Résumé

Le but du projet « Inclusion des frais de voyage lors de la modélisation du comportement de la mobilité » (projet B1) est de clarifier les effets possibles du mobility pricing dans les comportements des déplacements. Les résultats du projet fournissent une base pour l'estimation des changements possibles dans la demande de transport causés par les différentes stratégies du mobility pricing. Cette étude souligne la volonté du voyageur à payer (willingness-to-pay) et les changements considérables dans le comportement des déplacements créés par l'introduction du mobility pricing.

Le premier point principal du projet considère l'impact du mobility pricing sur les décisions tactiques (i.e. les changements de comportement dans le choix du mode de transport, dans le choix de route et dans le choix de l'heure de départ). Les paramètres estimés par des données de préférences déclarées (Stated Preferences - SP) ont été vérifiés en utilisant des modèles basés sur un comportement observé. De plus, l'influence du mobility pricing sur le choix de route, le choix du mode de transport et le choix de l'heure du départ a été testée dans un exemple simplifié. Un autre élément important du projet considère l'impact du mobility pricing sur les décisions stratégiques (i.e. l'influence sur la possession d'automobiles et d'abonnements des transports publics et sur le choix du lieu de résidence).

### *Changements tactiques de comportement et opinion politique*

Afin de créer une base fiable pour des prédictions dans le transport et estimer les changements de demande dus au mobility pricing, des paramètres pour le changement de comportement ont été estimés à l'aide de modèles utilisant une enquête SP. Ces paramètres peuvent être utilisés pour quantifier l'acceptation du mobility pricing ainsi que d'autres facteurs influençant (tels que la durée du voyage, le coût du carburant, la fréquence des transferts, etc.) sur des décisions tactiques des transports (choix de route, choix du mode de transport et choix de l'heure de départ). De plus, l'estimation du modèle a été employée pour déterminer les élasticités de la demande et willingness-to-pay.

Quatre questionnaires SP différents ont été réalisés. Dans le premier sondage (SP1) les personnes ont été questionnées sur leurs opinions politiques pour le design des programmes du mobility pricing. L'interrogation explicite des personnes sur leurs opinions politiques a été

faite dans le but de réduire son influence dans les questionnaires suivants à propos du trajet, du mode de transport et du choix de l'heure de départ.

Les résultats de ce sondage ont montré que la moitié des personnes interrogées approuve les mesures de mobility pricing testés et que le niveau des coûts est le facteur le plus important pour l'acceptation des mesures du mobility pricing. Comme prévu, l'acceptation des mesures du mobility pricing diminue lorsque les coûts augmentent. En général, les personnes préfèrent les taxes sur les autoroutes et les frais relatifs aux kilomètres et ont une aversion pour les autorisations par secteur et les frais dépendant de la période dans la journée. Un autre facteur important qui affecte l'acceptation des mesures du mobility pricing est le lieu de résidence ; les résidents de grandes villes montrent un degré d'acceptation relativement élevé pour tous types de mesures du mobility pricing excepté pour les autorisations par secteur. Ceci est dû probablement parce que les autorisations par secteur sont le plus souvent utilisées en ville et de ce fait concernent inévitablement directement leurs habitants. Finalement, l'influence des revenus sur l'acceptation du mobility pricing s'est avérée faible.

### ***Résultats des modèles : décisions tactiques***

Afin d'estimer willingness-to-pay des personnes et les changements de comportement qui peuvent arriver avec le mobility pricing, trois questionnaires SP supplémentaires ont été réalisés :

- Choix de l'heure de départ et du trajet pour les automobilistes (SP2)
- Choix de l'heure de départ et du mode de transport (SP3)
- Choix du mode de transport et du trajet (SP4)

Les modèles estimés sur ces données forment la base pour l'estimation des changements tactiques, provoqués par les mesures du mobility pricing, dans le comportement des voyageurs dans leur choix de route, du mode de transport et de l'heure de départ.

Dans un premier temps, les données concernant le choix de route pour les conducteurs (basées sur le sondage SP2) ont été combinées avec les données concernant le choix du mode de transport (des sondages SP3 et SP4) afin de développer des modèles uniques avec des fonctions d'utilité linéaires. Ensuite, ces deux modèles ont été combinés dans un modèle de choix de route et de mode de transport afin d'obtenir des résultats plus robustes. Par la suite, de nombreux modèles non-linéaires différents ont été testés pour les trois modèles (choix de route, choix du mode de transport et le modèle combiné de choix de route/mode de transport).



Tous les paramètres estimés du modèle final ont des signes plausibles et sont comparables avec des études précédemment réalisées en Suisse.

Comme prévu, la durée du voyage est la variable la plus influente pour les décisions examinées. Les modèles montrent également qu'une heure de départ tardive est perçue négativement, tant avec le choix de route qu'avec le choix du mode de transport, de même qu'une heure de départ avancée a été perçue négativement dans le modèle de choix du mode de transport. Cependant, dans le modèle de choix de route, une arrivée avancée fut préférée si elle évitait au voyageur les périodes de grande affluence routière. Cela indique de manière générale une forte aversion pour les retards. Cette interprétation est renforcée par le fait que la pénalité d'un départ tardif est deux fois plus grande par rapport à un départ avancé. Elle est également renforcée par la valeur que donnent les voyageurs sur la fiabilité de la durée du voyage pour les trajets par route et par transports publics. Dans le modèle de choix de route, la proportion des conducteurs qui choisissent l'itinéraire avec le mobility pricing augmente avec la diminution de la fiabilité du temps de trajet sur l'itinéraire sans mobility pricing. Le modèle de choix de mode de transport montre le même résultat, plus le temps de voyage avec les transports publics est incertain, plus la part des usagers des transports publics diminue.

Les paramètres estimés par rapport aux coûts montrent que chaque composante de coût supplémentaire et chaque augmentation dans le coût du voyage est perçue plus négativement que la précédente. Le paramètre des coûts du carburant est pareil à ceux évalués dans des études précédentes. Cependant, les péages et les frais de stationnement, comme composants supplémentaires des coûts, valent plus du double du taux des coûts du carburant. Ainsi, les augmentations de péage ont une influence double sur la prise de décision que les coûts de carburant "existants" et "bien connus". Cette évaluation est fondée sur l'hypothèse que les coûts de carburants sont considérés comme le premier composant du coût. Il faut noter que ces conditions dépendent également de la valeur absolue des coûts de carburant et de péage.

Considérant la formulation non-linéaire des paramètres des coûts et du temps, les résultats du modèle confirment la dépendance des niveaux de revenus et le temps de voyage. Le coût supplémentaire est jugé moins négativement lorsque le revenu ou le temps de voyage augmente. La même chose s'applique au temps de voyage supplémentaire avec l'augmentation des coûts. Les péages et les frais de parking sont perçus plus négativement de manière considérable, car ils sont considérés comme des coûts évitables, plutôt qu'inévitables comme les coûts du carburant. Les paramètres non-linéaires de coût et de temps ont également une influence cruciale sur la valeur du temps et des élasticités.

**Willingness-to-pay**

Les différentes estimations des composants individuels des coûts aussi bien que la dépendance à un coût absolu, impliquent qu'introduire des éléments de coûts supplémentaires, comme par exemple par le mobility pricing, change willingness-to-pay du voyageur.

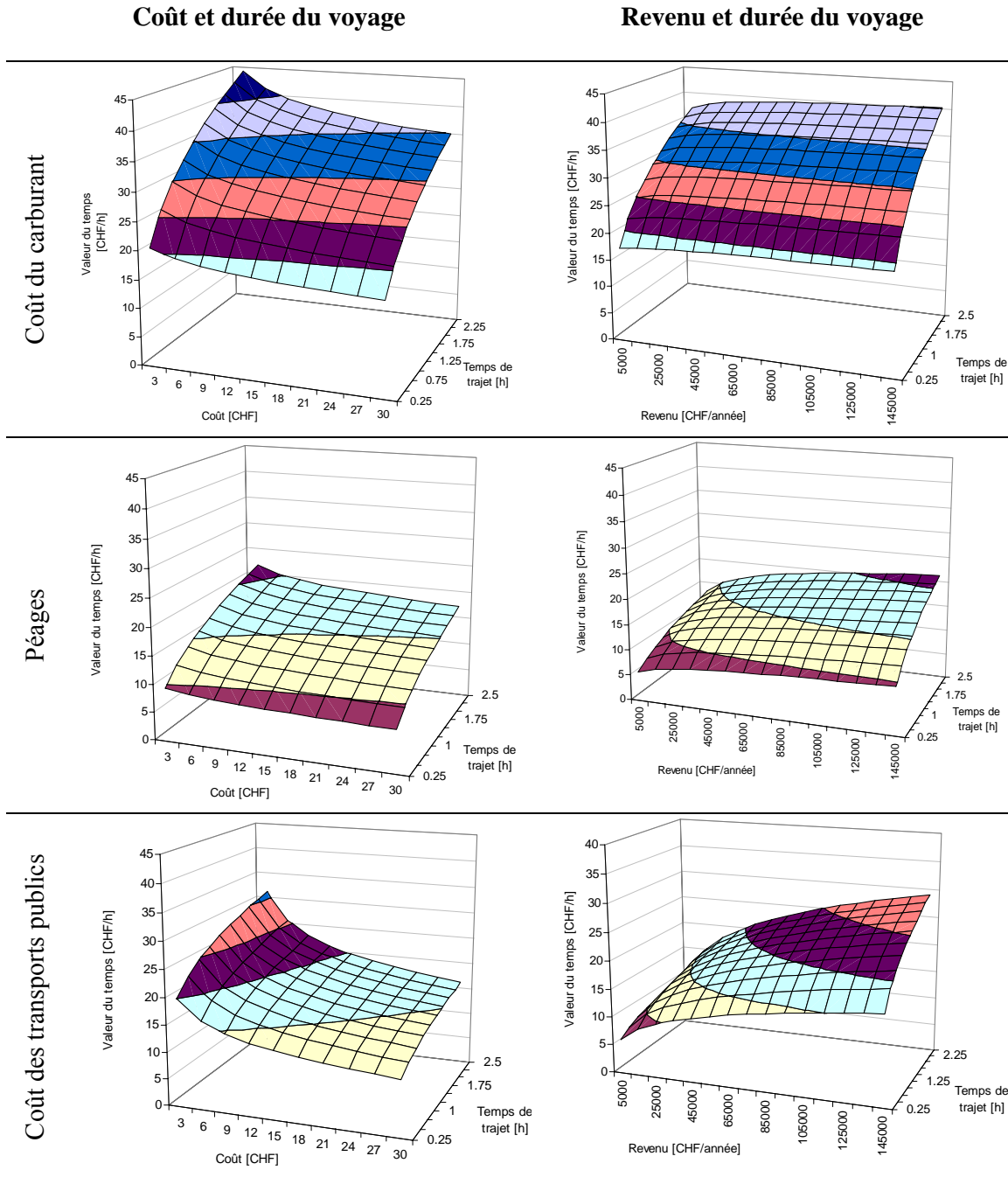
Willingness-to-pay du voyageur a été déterminée pour les composantes du coût suivantes :

- Coûts de carburant : 27.8 CHF/heure
- Péages : 13.6 CHF/heure
- Frais de parking : 10.8 CHF/heure
- Frais des transports publics : 19.5 CHF/heure

Ces résultats montrent ce que les utilisateurs de la route sont disposés à payer pour économiser une heure de voyage (p.ex. ils sont disposés à payer 27.8 CHF dans les coûts de carburant pour économiser une heure de temps de voyage, mais ne sont disposés à payer que 10.8 CHF en frais de parking). Il doit être noté que cette analyse s'applique aux coûts de carburant sans les taxes sur le carburant ; les taxes courantes sur le carburant étaient incluse dans les péages. Willingness-to-pay pour les coûts des transports publics (19.5 CHF/heure) est plus basse car le temps de trajet peut être utilisé de manière productive dans les transports publics (et aussi à cause des différentes caractéristiques démographiques, du but du trajet et de la situation des usagers). En plus, il devrait être noté que les coûts des transports publics pris en compte ici sont supérieurs aux coûts du carburant, ce qui plus tard réduit willingness-to-pay pour les transports publics. Dans l'introduction de péages (le montant médian du tarif de péage dans le cas observé était de 5.3 CHF par voyage) réduit willingness-to-pay à 13.6 CHF/heure. L'introduction de taxes de parking (une moyenne de 2 CHF/voyage) en plus des coûts du carburant et des péages résulte en willingness-to-pay pour une économie de temps à seulement 10.8 CHF/heure.

La recherche a également montré que les niveaux du revenu, de la durée du voyage et du coût du voyage influencent willingness-to-pay du voyageur. La figure I illustre willingness-to-pay pour le carburant, les péages et les frais des transports publics comme une fonction des coûts et du temps de trajet (série de figures de gauche) et comme une fonction du revenu et du temps de trajet (série de figures de droite). Naturellement, la valeur du temps dépend des trois variables, mais une représentation à 4-dimensions n'est pas possible.

Figure I Willingness-to-pay en fonction du coût, du temps de trajet et du revenu



Comme il est montré dans la figure I, la valeur du temps diminue avec l'augmentation des coûts. Cet effet peut être expliqué par la restriction du budget global du voyageur pour les

dépenses relatives aux transports. Plus un voyageur s'approche du maximum de son budget, plus il espère un gain du temps de voyage pour le même prix et de ce fait willingness-to-pay diminue. Cependant quand le temps de trajet augmente, la valeur du temps augmente également. De plus longs voyages sont habituellement associés à des budgets de voyage plus conséquents et de ce fait ne sont pas pénalisés aussi désagréablement que des voyages courts, puisque ces coûts constituent une part proportionnellement plus petite des coûts totaux du voyage. Ces effets sont aussi dépendants de la fréquence des voyages. Un résultat semblable peut être observé quand la valeur du temps est tracée comme fonction de revenu et de temps de trajet. Conformément aux études précédentes, cette recherche démontre que les voyageurs avec des hauts revenus ont willingness-to-pay pour des économies durée de voyage plus élevée.

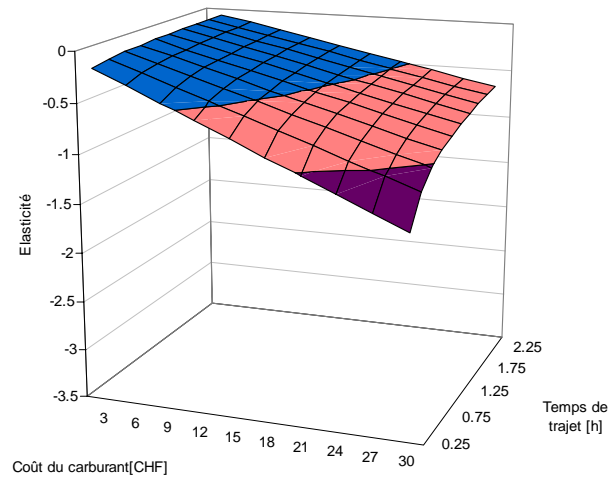
La comparaison entre les valeurs d'économies sur le temps de trajet des différentes mesures de mobility pricing montre clairement que le comportement est similaire en ce qui concerne les coûts, la longueur du trajet et le revenu. Cependant, le niveau de la valeur du temps est différent. La valeur du temps pour les péages est considérablement plus basse que pour les frais de carburant. Ceci est dû au fait que les usagers des routes acceptent probablement plus les dépenses qui leur paraissent inévitables (p. ex. les coûts du carburant) que les frais qu'ils considèrent comme évitables (p. ex. péages ou taxes de parking), car les conducteurs peuvent faire de rapides changements de tactique tels que des détours ou le choix d'un autre parking pour éviter ces coûts. De plus, les péages et les frais de parking sont considérés comme des composantes du coût supplémentaires et mènent de ce fait à une augmentation des frais totaux de voyage. Ceci explique également pourquoi l'augmentation de la valeur du temps par rapport au revenu pour les coûts de carburant est moins forte que pour les péages et les frais de parking.

### ***Elasticités***

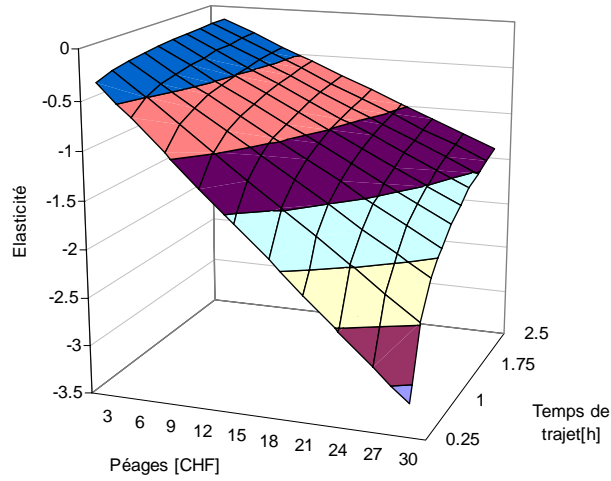
Une autre utilisation importante des résultats du modèle est le calcul des élasticités pour le temps de trajet et pour les coûts. Une élasticité indique généralement comment un changement dans une variable (p. ex. frais de voyage ou durée du voyage), affecte une variable dépendante (p. ex. la demande en transport). Une élasticité de péage direct de -0.29 signifierait qu'une augmentation du péage d'environ 10% amènerait à une diminution dans les trajets en transport privé d'environ 2.9%. La forme non-linéaire des fonctions de paramètre de coût et de temps de trajet doit être prise en compte dans le calcul des élasticités.

Figure II Elasticités des coûts directs dépendant du coût et du temps de trajet

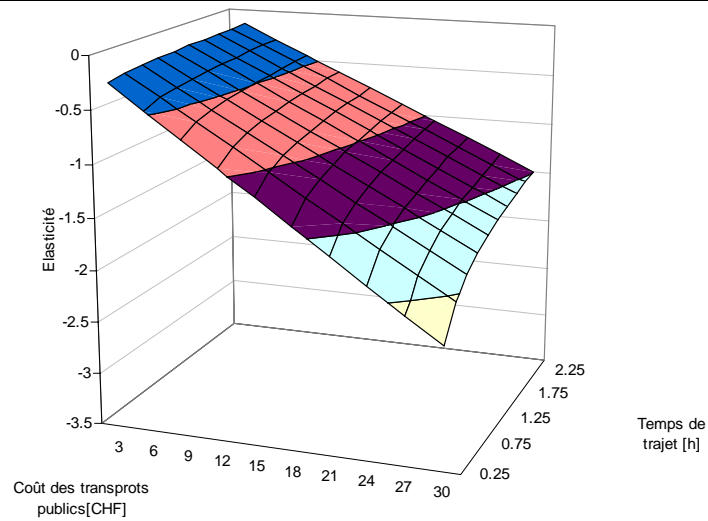
Coût du carburant



Péages



Coût des transports publics



La figure II illustre les élasticités des coûts directs de carburant, de péage et des transports publics. La dépendance des élasticités des coûts sur le revenu n'est pas représentée dans ces figures ; à la place, les élasticités sont calculées pour le revenu moyen de l'échantillon et ont toutes des valeurs négatives. C'est-à-dire qu'une augmentation dans le temps de trajet ou dans le coût d'un trajet alternatif mène toujours à une diminution de la probabilité que ce trajet alternatif soit choisi. De plus, on remarque clairement que la magnitude de la durée du voyage et des élasticités de coût augmente significativement avec l'augmentation des coûts, alors qu'elle décroît lors d'une augmentation de la durée du voyage.

En ce qui concerne les différentes composantes du coût, on constate clairement que les personnes sondées ont réagi plus fortement aux péages qu'aux coûts de carburant. Cependant il est à noter qu'un péage est considéré comme un élément de coût additionnel secondaire aux coûts de carburant. Ainsi, la fonction d'élasticité pour les coûts de carburant est considérablement plus plate.

#### *Résultats des modèles : décisions stratégiques*

Le but de la deuxième partie du questionnaire sur les SP était de déterminer l'influence des différentes politiques de mobility pricing sur la possession de modes de transport et sur le choix du lieu de résidence. Les résultats des sondages ont été récoltés oralement lors d'entretiens personnels. Les questionnaires ont été préparés individuellement pour chaque personne sondée et remplis directement sur un ordinateur portable avec l'assistance d'un enquêteur.

Les paramètres du modèle estimé montrent que pour la grande majorité la possession d'automobiles est déterminée par les caractéristiques socio-démographiques, structure urbaine et la disponibilité des transports et que l'importance des coûts est subordonnée à ces facteurs. Deux modèles séparés ont été estimés sur les données : le premier modèle concerne les voitures avec un seul occupant et le deuxième modèle concerne les voitures avec plusieurs occupants. Les paramètres estimés montrent que lorsque le coût augmente, l'attrait pour l'usage des voitures à plusieurs occupants augmente aussi. Cependant, il faut noter que le pourcentage des voitures avec plusieurs occupants était très faible dans l'échantillon (environ 10 %) et donc que les résultats du modèle qui dominant sont ceux pour un usage privé et exclusif de la voiture. Basé sur les paramètres estimés, une élasticité moyenne de -0.157 a été déterminée pour la variable des coûts de la voiture relativement à la possession de la voiture. De ce fait, par exemple, si les coûts de la voiture augmentent de 10 % alors le taux de

possession d'une automobile diminue de 1.57 %. Au contraire, l'influence des coûts des transports publics sur le nombre de propriétaires d'automobile n'est pas significative.

Les modèles estimés montrent que la variable coût de l'automobile n'a pas d'influence significative sur la possession d'abonnements pour les transports publics. Ces paramètres non-significatifs pour la variable coût montrent que les coûts (dans l'intervalle testé) n'influencent pas la possession d'abonnements pour les transports publics. Cependant, les paramètres estimés montrent clairement que l'AG (l'abonnement général suisse pour les transports publics) est considéré comme un bien de substitut à l'automobile.

La partie finale du questionnaire analyse l'influence des coûts de transport sur le choix du lieu de résidence. Les résultats montrent que bien que les coûts de l'automobile sont un élément significatif dans le choix du lieu de résidence, un changement dans ces coûts n'a pas une grande influence. De ce fait on peut conclure que l'introduction du mobility pricing n'aura pas une influence importante dans le choix du lieu de résidence.

#### *Estimation des modèles pour les préférences révélées*

Afin de tester le degré de fiabilité des paramètres estimés dans les modèles SP pour des décisions tactiques relatives aux différentes politiques de mobility pricing, un second ensemble de modèles dans le cadre de ce projet et a été estimé cette fois-ci sur des données de préférences révélées (RP), c'est-à-dire basées sur des choix réellement observés. Pour juger cette fiabilité, un modèle basé uniquement sur les données RP a été estimé ainsi qu'un modèle commun aux données SP et RP. En utilisant ces modèles, on peut observer que les résultats du modèle RP ne diffèrent pas considérablement des résultats du modèle SP.

Pour les modèles d'affectation (assignment models) et pour l'évaluation des changements dans le choix de route, la détermination d'un ensemble de routes possibles (l'ensemble de choix) est une étape importante dans la modélisation. De ce fait, des modèles appropriés ont été estimés avec les données RP ainsi qu'avec les données SP. Les résultats de cette analyse montrent qu'en plus des variables habituelles (p.ex. le temps et le coût du trajet), le type de la route influence le comportement du choix de route. Plus spécialement, des attributs tels que le confort et l'environnement autour des routes sont considérés pour la décision. L'analyse montre aussi que les changements dans les temps de trajets sont perçus différemment sur les différents types de routes et dans les intervalles de temps de trajets différents.

### *Elasticités de la demande agrégée*

Le but de la troisième partie de l'étude est d'analyser, à l'aide de données statistiques, les effets des ajustements dans les prix pour la demande individuelle de la mobilité durant les 45 dernières années. Pour un niveau agrégé, les données des séries temporelles ont été utilisées pour une analyse de régression des coûts du carburant et du prix de l'essence sur la demande du transport. Des données sur un niveau désagrégé qui proviennent du Microcensus Suisse 2000 ont été utilisées pour déterminer les effets des composants individuels des coûts (coûts fixes, coûts variables et la valeur du temps) sur la demande de la mobilité. Les résultats pour le niveau agrégé montrent clairement que les élasticités dépendent fortement du choix de la période de taxation et que leurs valeurs ne peuvent être interprétées qu'en connexion avec les ordres de grandeur choisis et sur des conditions aux limites.

### *Recommandations pour l'introduction du mobility pricing*

Les résultats de ce projet décrivent le comportement des usagers de la route vis-à-vis de l'introduction du mobility pricing. L'impact sur le transport et sur les changements du comportement de mobilité provoqués par les mesures du mobility pricing peuvent être quantifiés en utilisant les modèles développés dans le cadre de ce projet. L'information provenant de ces modèles peut être utilisée pour aider à déterminer s'il est possible d'atteindre certains buts spécifiques dans le domaine des transports par l'introduction de certaines mesures particulières de mobility pricing.

Les résultats de cette recherche sont comparables avec ceux des études effectuées dans d'autres pays sur l'introduction de mesures de road pricing. L'élasticité de la demande déterminée par les paramètres des modèles et les changements dans la demande obtenus par des exemples d'applications de ces paramètres se trouvent dans un intervalle similaire que ceux publiés dans les rapports d'études étrangères. Willingness-to-pay déterminée dans cette étude est légèrement plus élevée que celle obtenue dans les pays étrangers ; ceci peut cependant être expliqué par les différences dans les caractéristiques socio-démographiques et dans la structure du revenu aussi bien que par les niveaux actuels des dépenses pour les transports.

La recherche a montré que le comportement des voyageurs dépend fortement des caractéristiques socio-démographiques, des routes et des services. De ce fait, les effets des mesures du mobility pricing ne peuvent être estimés que par une description réelle des services dans les transports et de la demande régionale du transport. C'est-à-dire que



l'estimation des effets du mobility pricing (sauf pour les paramètres du modèle général estimé dans cette recherche) requiert une description fiable des services de transport des modèles de transports régionaux. Ces modèles doivent inclure une description complète des services de transport et une matrice origine-destination réelle et validée. Les changements potentiels de demande et/ou les coûts de trajet dans un secteur d'investigation ainsi que la réaction potentielle de la demande ne peuvent être déterminés et correctement estimés que par l'utilisation de données origine-destination fiables. De plus, lors de l'évaluation des mesures de mobility pricing, toutes les composantes des services doivent être considérés et l'usage total et/ou les coûts totaux du trajet doivent être calculés. Ceci est important car, par exemple, l'introduction d'une mesure de mobility pricing de 5 CHF/trajet a un impact très différent sur des trajets de 10 minutes que sur des trajets de 60 minutes. De ce fait, un réseau fiable et validé est essentiel pour comprendre complètement les impacts des mesures de mobility pricing.

Un modèle Logit peut être utilisé pour une analyse pivot-point pour calculer les impacts des mesures du mobility pricing sur les choix du mode de transport et de l'heure de départ. De plus, la considération des dynamiques de demande est importante pour l'estimation des changements dans l'heure de départ. Pour l'estimation des changements dans le choix de la destination, il est possible d'utiliser les paramètres du choix de la destination estimés dans le modèle national personnel du transport. Il est recommandé d'utiliser ces paramètres avec les paramètres du choix de mode de transport estimés dans cette recherche dans un modèle combinant le choix du mode de transport et le choix de la destination.

## Synthesebericht

Das Wachstum der Verkehrsnachfrage im motorisierten Personenverkehr und immer kleinere Infrastrukturreserven haben dazu geführt, dass neue Beeinflussungsinstrumente und Massnahmen für eine gezielte Nachfragesteuerung gefunden werden müssen. Beispiele im Ausland haben gezeigt, dass Mobility Pricing ein mögliches Instrument für die Beeinflussung des Verkehrsverhaltens ist. Diese Erfahrungen sowie das Ziel, eine effizientere Nutzung der Verkehrsinfrastruktur zu erreichen und entsprechende Möglichkeiten der Beeinflussung des Verkehrsverhaltens zu schaffen, haben das Interesse an Mobility Pricing in der Schweiz verstärkt. Das Forschungspaket Mobility Pricing soll die für die Schweiz relevanten Wissenslücken bezüglich Auswirkungen und Anwendbarkeit von Preisinstrumenten zur Verfügung stellen und damit sachliche Grundlagen für die politische Diskussion liefern.

Die bisherigen Erfahrungen mit Strassenbenutzergebühren – insbesondere bei privat finanzierten Infrastrukturprojekten – haben gezeigt, dass Routenwahl-, Verkehrsmittelwahl- und Abfahrtszeitveränderungen die dominierende Effekte sind. Die langfristigen, strategischen Effekte, wie veränderte Zielwahl (z.B. veränderte Einkaufs- oder Freizeit-Zielorte), veränderte Ausstattung mit PW und ÖV-Abonnementen (Mobilitätswerkzeugen) oder der Wechsel von Wohn- und Arbeitsplatz, sind kaum untersucht und somit weitgehend unbekannt. Da die Verhaltensreaktionen auf Angebotsveränderungen sehr stark von politischen-, räumlichen-, soziodemographischen und Verkehrsangebotscharakteristiken abhängig sind, ist eine direkte Übertragung ausländischer Erfahrungen schwierig.

Das Projekt *Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhalten* (Projekt B1) hatte als Ziel, die möglichen Auswirkungen von Mobility Pricing auf das Verkehrsverhalten zu klären. Es stellt damit die Grundlage für die Abschätzung möglicher Verkehrsnachfrageveränderungen dar. Dabei stehen die Zahlungsbereitschaft und wesentliche Veränderungen des Verkehrsverhaltens bei Mobility Pricing im Vordergrund.

Den ersten Schwerpunkt des Projekts bilden die Verhaltensänderungen bei der Verkehrsmittel- und Routenwahl und der Wahl der Abfahrtszeit. Für strategische Entscheidungen wird der zweite Schwerpunkt auf die Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen (Ausstattung mit PW und ÖV-Abonnementen) sowie mögliche Auswirkungen auf die Wohnortwahl gelegt. Darüber hinaus werden die Ergebnisse der taktischen Modellierung mit

RP-Routenwahlmodellen verglichen und die Gesamtelastizität der Verkehrsnachfrage aus Zeitreihenanalysen abgeleitet.

Der vorliegende Synthesebericht folgt dem Aufbau des Gesamtberichtes. Nach einer Literaturanalyse werden die durchgeführten SP Experimente erläutert und die wichtigsten Ergebnisse präsentiert. Zuerst werden die Ergebnisse zum taktischen Verhalten und zur politischen Einstellung dargestellt, dann die Erkenntnisse aus den Experimenten zum strategischen Verhalten. Abschliessend werden die Ergebnisse der anderen beiden Projektteile, Modellierung des Routenwahlverhaltens aus RP Daten und Ermittlung der Gesamtelastizität, kurz vorgestellt.

### *Literaturanalyse*

Die Literaturanalyse zeigte, dass die beobachteten Nachfrageauswirkungen insbesondere von der Art des Road Pricing Systems (Gebietslizenz mit oder ohne zeitabhängige Gebühren, Bemaung einzelner Strassen oder einzelner Spuren, fahrleistungsabhängige Gebühren usw.) sowie von der Mauthöhe abhängen. Weiterhin variiert die Nachfrageelastizität sehr stark in Abhängigkeit von Angebots- und soziodemographischen Bedingungen, Fahrtzweck, Tageszeit sowie dem Anteil verkehrlicher Ausgaben am monatlichen Einkommen. Es zeigte sich weiter, dass in der Literatur über Nachfrageauswirkungen von Strassengebühren Elastizitäten nicht einheitlich berechnet werden. Dabei ist es äusserst wichtig, bei der Verwendung solcher Auswertungen zwischen Elastizitäten der generalisierten Kosten und Elastizitäten der einzelnen Kostenkomponenten zu unterscheiden.

Die Gebietslizenz in Singapur zeigt, wie vielfältig die Nachfragereaktionen auf Strassengebühren sein können. Direkt nach der Einführung der Gebietsgebühren wurde eine Kostenelastizität von -0.578 gemessen. Eine spätere Gebührenerhöhung wies nur noch eine Kostenelastizität von -0.237 auf und eine Gebührensenkung eine Kostenelastizität von -0.194. In diesem Beispiel ist die Abhängigkeit der Nachfragereaktion von der Gebührenhöhe und der Art der Kostenveränderung klar zu erkennen. Darüber hinaus zeigte die Analyse der Verteilung der Nachfrageelastizitäten über den Tag und die Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft von den einzelnen Fahrzwecken Differenzen. Bei der Einführung der Abendgebühr von 3\$ (vorher gebührenfrei) wurde eine Kostenelastizität von -0.387 und bei der Einführung der Mittagsgebühr von 2\$ ein Kostenelastizität von -0.131 festgestellt. Am wenigsten elastisch zeigte sich die Verkehrsnachfrage am Morgen mit einer Elastizität von -0.106.

Die in London im Jahr 2003 eingeführte Gebietslizenz von 5£ verringerte die MIV-Nachfrage im betrachteten innerstädtischen Raum um 15%. Unter Berücksichtigung der generalisierten Kosten, welche sowohl die variablen Kosten als auch die Zeitkosten umfassen, wurden mit bzw. ohne Berücksichtigung der fixen Kosten eines Personenwagens kurzfristige Elastizitäten von -2.1 bzw. -1.3 ermittelt. Geht man für London von einem Anteil der Treibstoffkosten von 8-16 % an den generalisierten Kosten aus, ergibt sich ein Werteband der Elastizität von -0.17 bis -0.34.

Zwischen dem 1. Januar und 31. Juli 2006 wurde in einem Pilotversuch für die Ein- und Ausfahrt in die Kernstadt Stockholms eine von der Tageszeit abhängige Gebühr von 10 bis 20 SEK erhoben. Maximal bezahlte ein Fahrzeug pro Tag 60 SEK (100 SEK=17 CHF). Der Vergleich der Verkehrsmengen zwischen Januar und Mai mit den Vorjahresmonaten zeigt eine Abnahme zwischen 28 und 22% wobei sich die Werte bei 22% einpendelten. Die Frage wohin sich die Verkehrsnachfrage verlagert hat, lässt sich noch nicht genau beantworten. Es ist aber klar, dass verschiedene Mechanismen zusammenspielen: Der ÖV verzeichnete, je nach Linie, einen Fahrgastzuwachs von 6 bis 14%. Dies erklärt etwa die Hälfte der Veränderungen. Veränderungen bezüglich Routen- und Zielwahl sowie verbesserter Wegeketten trugen ebenfalls zum Rückgang der Verkehrsnachfrage bei, der höher als erwartet ausfiel.

In verschiedenen Studien wurden die Auswirkungen der Einführung von Mautgebühren auf einzelnen Streckenabschnitten untersucht. Aus diesen Studien ergibt sich jedoch kein einheitliches Bild, da die Angebotsbedingungen (alternative Routen) und die Zahlungsbereitschaften sehr unterschiedlich sind. Die Nachfrageelastizitäten bewegen sich auf den betrachteten Streckenabschnitten zwischen -0.03 und -0.5.

Die Bemaunung einzelner Spuren, auch Value Pricing genannt, wurde bisher nur in den USA umgesetzt. Gegen eine Gebühr kann dabei eine separate Spur benutzt werden. Die übrigen Spuren sind nicht gebührenpflichtig. Daher steht in diesen Systemen immer eine Alternative zu der bemaunten Strecke zur Verfügung. Aus diesem Grund ist die Verkehrsnachfrage auf den bemaunten Spuren deutlich kleiner als auf den nicht bemaunten Alternativen und damit die (direkte) Nachfrageelastizitäten in der Regel höher als bei anderen Mautsystemen.

#### *Taktische Verhaltensänderungen und politische Einstellung*

Die Einführung von Mobility Pricing zwingt die Verkehrsteilnehmer sich bei ihren Entscheidungen mit einer weiteren Angebotskomponente zu beschäftigen. Welche

Verhaltensänderungen stattfinden werden, ist vor allem von dem Strukturen und Modellen des Mobility Pricing und der Höhe der Entgelte abhängig. Diese Wirkungen sind darüber hinaus vom gesamten politischen-, räumlichen-, soziodemographischen und Verkehrsangebotscharakteristiken abhängig. Damit ist für die Schätzung von Nachfrageveränderungen durch die Einführung des Mobility Pricings eine direkte Übertragung der Auslandserfahrungen ebenfalls nicht zu empfehlen.

Um eine verlässliche Grundlage für die Verkehrsprognosen und die Schätzung der Nachfrageveränderungen bei der Einführung eines Mobility Pricings zu schaffen, wurden mit Hilfe von Stated Preference (SP) Befragungen die Modellparameter für die Verhaltensänderungen einzeln geschätzt. Mit diesen Parametern wird die Bedeutung des Mobility Pricing und anderer Einflussfaktoren wie Reisezeit, Treibstoffkosten, Umsteigehäufigkeit usw. für Verkehrsentscheidungen (Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Wahl der Abfahrtszeit) quantifiziert. Aus den Modellschätzungen werden neben den Parametern auch die Nachfrageelastizitäten, respektive Zahlungsbereitschaften abgeleitet.

Es wurden vier verschiedene schriftliche Stated-Preference-Experimente durchgeführt. Neben der Erhebung der Verhaltensänderungen in der Routen-, Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl wurden in einem ersten Experiment die politischen Präferenzen der Befragten bezüglich der Gestaltung eines Mobility Pricings untersucht. Dadurch wurde versucht, die politische Einstellung der Befragten im ersten Experiment explizit abzufragen, so dass diese sich nicht mehr in den anschließenden Experimenten zum Ausdruck bringen mussten.

#### ***Politischen Einstellung zum Mobility Pricing***

Das erste SP Experiment diente dazu, den Befragten die Möglichkeit zu geben, ihre politische Einstellung betreffend Mobility Pricing zum Ausdruck zu bringen. Verschiedene Gestaltungsvarianten für ein Mobility Pricing System wurden vorgestellt und die Befragten mussten jeweils entscheiden, ob sie dieses neue System oder das bisherige mit Mineralölsteuer und Autobahnvignette bevorzugen.

Die Ergebnisse dieses Experiments zeigen, dass etwa die Hälfte der Befragten das jeweils vorgestellte Mobility Pricing System unter gegebenen Rahmenbedingungen befürwortet. Dabei muss beachtet werden, dass die unterschiedlichen Befragungskonzepte und Stichprobengrundgesamtheiten, hier und im Projekt A1 (Akzeptanz von Mobility Pricing), auch zu unterschiedlichen absoluten Werten führen können. Weiterhin ist zu sehen, dass

Mobility Pricing Modelle mit Autobahngebühren oder kilometerabhängigen Abgaben im Durchschnitt bevorzugt wurden, während Gebietslizenzen und tageszeitabhängige Gebühren zu einer Ablehnung des vorgeschlagenen Systems führten. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der die Akzeptanz verschiedener Arten des Mobility Pricings beeinflusst, ist der Wohnort der Befragten, respektive dessen Gemeindetyp. Wie zu erwarten, zeigen die Bewohner der Grossstädte insgesamt eine relativ hohe Akzeptanz für die verschiedenen Arten des Pricings mit Ausnahme der Gebietslizenzen. Diese werden höchstwahrscheinlich in den Grosszentren eingesetzt und betreffen somit deren Einwohner direkt und unausweichlich. Weiter zeigte sich, dass der Einfluss der Verwendungszwecke auf die Akzeptanz des Mobility Pricing nicht sehr gross ist.

Neben der deskriptiven Analyse wurden mit den erhobenen Daten Modellschätzungen durchgeführt, um die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren auf die Entscheidung für oder gegen Mobility Pricing zu quantifizieren. Die Ergebnisse der Modellschätzung zeigen, dass der wichtigste Faktor für die Akzeptanz eines Mobility Pricing Systems das gewählte Kostenniveau ist. Wie zu erwarten war, sinkt die Akzeptanz eines Systems mit steigenden Kosten.

Die verschiedenen Arten des Mobility Pricings wurden im Modell mit der Basis-Alternative Gebietslizenzen verglichen. Es zeigt sich, dass sowohl Autobahngebühren als auch leistungsabhängige Abgaben signifikant besser bewertet werden als die Gebietslizenzen. Zwischen der zeitabhängigen Gebühr und den Gebietslizenzen konnte hingegen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Auf die gleiche Weise wurden die vier angegebenen Verwendungszwecke untersucht. Basis-Alternative ist hier der Verwendungszweck „Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette“, welcher die geringste Zustimmung erhielt. Den grössten positiven Einfluss auf die Akzeptanz des Systems hatten die Investitionen in den ÖV, gefolgt von der Reduzierung der Einkommenssteuer und dem Bonus-Malus-System.

Bezüglich der Verbesserung der durchschnittlichen Geschwindigkeiten in den Spitzenstunden hatten die Verbesserungen für Autobahnen und diejenigen für die städtischen Strassen einen signifikanten positiven Einfluss auf die Akzeptanz.

Werden die soziodemographischen Charakteristika der Befragten betrachtet, so zeigt sich, dass Befragte mit höherem Alter und Vollzeitbeschäftigte eher ein Mobility Pricing System akzeptieren, während PW-Besitzer und insbesondere solche mit einer hohen

Jahresfahrleistung dieses, wie zu erwarten, eher ablehnen. Kein signifikanter Einfluss konnte bezüglich Haushaltsgrösse, Geschlecht, Besitz von ÖV Abonnementen oder Einkommen festgestellt werden. Auch Interaktionsterme zwischen Einkommen und Preishöhe waren nicht signifikant. Entgegen der ersten Intuition hat also das Einkommen keinen Einfluss auf die Akzeptanz eines Mobility Pricing Systems, wie bereits in früheren Studien festgestellt wurde. Bezüglich des Wohnortes der Befragten hatte die entsprechende Sprachregion einen signifikanten Einfluss. Die Akzeptanz für Road Pricing ist in der französisch- und deutschsprachigen Schweiz geringer als im italienischsprachigen Teil.

### ***Modellergebnisse Taktische Entscheidungen***

Für die Schätzung der Zahlungsbereitschaft und Verhaltensveränderungen bei einem Mobility Pricing wurden drei weitere Stated Preference Experimente durchgeführt:

- Wahl der Abfahrtszeit und Routenwahl im Strassenverkehr für MIV- Nutzer (SP2)
- Wahl der Abfahrtszeit und des Verkehrsmittels (SP3)
- Verkehrsmittel- und Routenwahl (SP4)

Die auf Basis dieser Daten geschätzten Modelle bilden die Grundlage für die Schätzung taktischer Verhaltensänderungen in der Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Wahl der Abfahrtszeit.

Zunächst wurden jeweils für die Routenwahl im MIV (anhand der Befragungsergebnisse aus dem SP2-Experiment) und für die Verkehrsmittelwahl (anhand der Befragungsergebnisse aus den Experimenten SP3 und SP4) einzelne Modelle mit linearer Nutzenfunktion bestimmt. Diese beiden Modelle wurden zu einem kombinierten Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell zusammengefasst, um robustere Ergebnisse zu erhalten. Anschliessend wurde eine Vielzahl von nichtlinearen Modellen sowohl für das Routenwahlmodell und das Verkehrsmittelwahlmodell als auch für das kombinierte Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell getestet. Dabei wurde die Modellgüte bei jedem dieser Schritte deutlich verbessert. Basierend auf dem endgültigen, in der Tabelle 1 beschriebenen, nichtlinearen Modell wurden dann die Zahlungsbereitschaft für die einzelnen Kostenkomponenten und Verkehrsmittel sowie die Elastizitäten bestimmt. Zum Abschluss wurde das Modell separat für die einzelnen Fahrtzwecke geschätzt.

Die nichtlinearen Formulierungen wurden aufgrund der Erfahrungen von Axhausen, König, Abay, Bates und Bierlaire (2004) getestet. Sie konnten nachweisen, dass die Kostenparameter nichtlinear auf das Einkommen und die Reisedistanz reagieren. Für die vorliegende Studie

wurde die Formulierung für die Kostenparameter leicht angepasst und anstelle der Reisedistanz die Reisezeit berücksichtigt. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass auch die Reisezeitparameter nichtlinear in Bezug auf die Gesamtkosten reagieren. Dabei wird die Nichtlinearität des Reisezeitparameters jeweils bezüglich der Gesamtkosten einer Alternative berechnet. Dies umfasst für die MIV-Fahrten sowohl die Treibstoffkosten als auch die Maut und die Parkkosten.

Tabelle 1 Nutzenfunktionen für das kombinierte Routen- Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahlmodell

Routenwahlmodell

$$\begin{aligned}
 U_{R1} = & \text{Konstante}_{R1} + \beta_{VerlIV} * \text{Verlässlichkeit}_{R1} + \beta_{Früh} * \text{Verfrühung}_{R1} + \beta_{Spät} * \text{Verspätung}_{R1} \\
 & + \beta_{Reisezeit} * \left( \frac{\text{Kosten}}{\text{MittelwertKosten}} \right)^{\lambda_{Kosten}} * \text{Reisezeit} \\
 & + \beta_{Treibstoff} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink-Tr}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ-Tr}} * \text{Treibstoffkosten} \\
 U_{R2} = & \beta_{Alter} * \text{Alter} + \beta_{PWkm} * \text{PW} - \text{km} + \beta_{Früh} * \text{Verfrühung}_{R2} + \beta_{Spät} * \text{Verspätung}_{R2} \\
 & + \beta_{PolPräf} * \text{Präferenz Im PolitischenSP} + \beta_{Reisezeit} * \left( \frac{\text{Kosten}}{\text{MittelwertKosten}} \right)^{\lambda_{Kosten}} * \text{Reisezeit} \\
 & + \beta_{Treibstoff} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink-Tr}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ-Tr}} * \text{Treibstoffkosten} \\
 & + \beta_{Maut} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink-M}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ-M}} * \text{Maut}
 \end{aligned}$$

Verkehrsmittelwahlmodell

$$\begin{aligned}
 U_{MIV} = & \text{Konstante}_{IV} + \beta_{PW} * \text{PW} - \text{Besitz} + \beta_{PWkm} * \text{PW} - \text{km} + \beta_{Französisch} * \text{Französisch} + \beta_{Deutsch} * \text{Deutsch} \\
 & + \beta_{Früh} * \text{Verfrühung}_{IV} + \beta_{Spät} * \text{Verspätung}_{IV} \\
 & + \beta_{Reisezeit\_MIV} * \left( \frac{\text{Kosten}}{\text{MittelwertKosten}} \right)^{\lambda_{Kosten\_MIV}} * \text{Reisezeit} \\
 & + \beta_{Treibstoff} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink-Tr}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ-Tr}} * \text{Treibstoffkosten} \\
 & + \beta_{Maut} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink-M}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ-M}} * \text{Maut} \\
 & + \beta_{Parken} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink-P}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ-P}} * \text{Parkkosten}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 U_{\text{PuT}} = & \beta_{\text{Alter}} * \text{Alter} + \beta_{\text{Erwerb}} * \text{Erwerbstätig} + \beta_{\text{GA}} * \text{GABesitzer} + \beta_{\text{HT}} * \text{HalbtaxBesitzer} \\
 & + \beta_{\text{Früh}} * \text{Verfrühung}_{\text{ÖV}} + \beta_{\text{Spät}} * \text{Verspätung}_{\text{ÖV}} + \beta_{\text{Zugang}} * \text{Zugangszeit} \\
 & + \beta_{\text{Umsteig}} * \text{Umsteigehäufigkeit} + \beta_{\text{Intervall}} * \text{Intervall} + \beta_{\text{VerlÖV}} * \text{Verlässlichkeit}_{\text{ÖV}} \\
 & + \beta_{\text{ZeitÖV}} * \text{Reisezeit}_{\text{ÖV}} + \beta_{\text{ÖV-Kost}} * \text{ÖV-Fahrpreis} \\
 & + \beta_{\text{Reisezeit-ÖV}} * \left( \frac{\text{Kosten}}{\text{MittelwertKosten}} \right)^{\lambda_{\text{Kosten-ÖV}}} * \text{Reisezeit} \\
 & + \beta_{\text{ÖV-Kosten}} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{\text{Eink-ÖV}}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{\text{RZ-ÖV}}} * \text{ÖV-Kosten}
 \end{aligned}$$


---

Die Modellparameter für die Routenwahl, die Verkehrsmittelwahl und die Wahl der Abfahrtszeit, welche anhand dieser am besten geeigneten Modell- und Funktionsform ermittelt wurden, sind in Tabelle 2 dargestellt. Die geschätzten Modellparameter zeigen den Beitrag der einzelnen Variablen zum Gesamtnutzen einer Alternative. Für die korrekte Interpretation müssen die Einheiten der Variablen beachtet werden. Alle geschätzten Modellparameter zeigen plausible Vorzeichen und sind in ihren Verhältnissen mit vorherigen Studien in der Schweiz vergleichbar.

Wie zu erwarten, ist für alle betrachteten Entscheidungen die Reisezeit die wichtigste Einflussvariable. Weiter zeigte sich, dass eine verspätete Abfahrtszeit sowohl bei der Routenwahl als auch bei der Verkehrsmittelwahl negativ bewertet wird, ebenso eine verfrühte Abfahrtszeit bei der Verkehrsmittelwahl. Anders ist es hingegen bei der Routenwahl. Auch hier möchte die Schweizer Bevölkerung so genau wie möglich zu ihrer Wunschzeit abfahren. Wenn es jedoch darum geht im Routenwahlmodell eine unbepreiste Route zu wählen, und damit eine Route mit Stau, dann ist ihnen eine pünktliche Ankunft wesentlich wichtiger und sie fahren früher los. Dies deutet auf eine generell starke Abneigung gegenüber Staus hin. Diese Interpretation wird durch die Tatsache bestärkt, dass die Bestrafung für eine verspätete Abfahrtszeit doppelt so hoch ist wie für eine zu frühe Abfahrtszeit. Dazu passt auch die Bewertung der Verlässlichkeit im MIV und im ÖV. Je unzuverlässiger die Route ohne Mobility Pricing in der Routewahl ist, umso häufiger wird die Route mit Mobility Pricing gewählt. Ebenso wird bei zunehmender Unzuverlässigkeit des ÖV die MIV-Route stärker bevorzugt.

Die geschätzten Kostenparameter zeigen, dass jede zusätzliche Kostenkomponente und jede Erhöhung der Reisekosten negativer bewertet wird als die vorhergehende. Die Treibstoffkosten werden ähnlich bewertet wie in früheren Studien. Maut und Parkgebühren hingegen werden als weitere Kostenkomponente mehr als doppelt so stark bewertet wie

Treibstoffkosten. Damit ist für die Verkehrsverhaltensentscheidungen jede zusätzliche Mautausgabe ca. 2-mal relevanter als schon „verkraftete“ und „bekannte“ Treibstoffkosten. Diese Bewertung basiert auf der Voraussetzung, dass die Treibstoffkosten als erste Kostenkomponente betrachtet werden. Dabei muss beachtet werden, dass diese Verhältnisse auch von der absoluten Höhe der Treibstoff- und Mautkosten abhängig sind.

Bezüglich der nicht-linearen Formulierung der Kosten- und Zeitparameter bestätigen die Modellergebnisse wiederum die Abhängigkeit der Bewertung dieser Grössen vom Einkommen und der Reisezeit respektive den Kosten. Mit steigendem Einkommen sowie steigender Reisezeit werden zusätzliche Kosten weniger negativ beurteilt. Das gleiche gilt für zusätzliche Reisezeit bei steigenden Kosten. Der Effekt, dass Maut und Parkkosten wesentlich negativer bewertet werden, da sie im Vergleich zu Treibstoffkosten eher vermeidbare Kosten sind, bestätigt sich jedoch auch hier. Die nicht-linearen Kosten- und Zeitparameter haben darüber hinaus entscheidenden Einfluss auf die Zeitwerte und Elastizitäten.

Einen bedeutenden Einfluss auf die Wahl der Route mit oder ohne Mobility Pricing hat darüber hinaus auch die politische Einstellung der Befragten die in dieser Modellschätzung annäherungsweise durch die Einführung des Terms für die Präferenz für Mobility Pricing im politischen SP dargestellt wurde. Durch diese Variable wurde die politische Einstellung der Befragten gegenüber Mobility Pricing quantifiziert bzw. die politische Einstellung von der privaten Einstellung isoliert. Befragte, die im politischen SP eher ein Mobility Pricing System bevorzugt haben wählen mit einer grösseren Wahrscheinlichkeit auch die Route mit Mobility Pricing in der Routenwahl. Darüber hinaus verbessert dieser Term die Modellgüte erheblich und er hat Einfluss auf die übrigen Parameter. Es stellt sich also die Frage, wie in früheren Studien mit diesem Effekt umgegangen wurde.

Tabelle 2 Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl

Verkehrsmittel	Variable	Parameter	
MIV	Konstante_MIV	0.21	
	Konstante_Route ohne Pricing	4.80	*
	IV-Reisezeit [h]	-2.26	*
	Treibstoffkosten [CHF]	-0.08	*
	Maut [CHF]	-0.17	*
	Parkgebühren [CHF]	-0.21	*
	Verfrühung_Verkehrsmittelwahl [h]	-0.35	*
	Verfrühung_Routenwahl [h]	0.30	*
	Verspätung [h]	-0.78	*
	IV-Verlässlichkeit **	-0.04	*
	PW-Besitz	0.52	*
	Jahresfahrleistung [1000 km]	0.03	*
	Sprache französisch	-0.15	*
	Sprache deutsch	-0.52	*
	Präferenz für MP im Sp1	6.50	*
OEV	ÖV-Reisezeit [h]	-1.90	*
	ÖV-Kosten [CHF]	-0.10	*
	Zugangszeit [h]	-2.61	*
	Intervall [h]	-0.56	*
	Umsteigezahl	-0.26	*
	Verfrühung_Verkehrsmittelwahl [h]	-0.35	*
	Verspätung [h]	-0.78	*
	ÖV-Verlässlichkeit**	-0.02	*
	Alter	0.01	*
	GA-Besitzer	1.33	*
	Halbtax-Besitzer	0.62	*
Vollzeiterwerbstätig	0.03		
Nichtlinearitätsparameter	$\lambda$ _Kosten_IV	-0.10	*
	$\lambda$ _Kosten_ÖV	-0.28	*
	$\lambda$ _Einkommen_Treibstoff	-0.02	
	$\lambda$ _Einkommen_Maut	-0.15	*
	$\lambda$ _Einkommen_Parkkosten	-0.28	*
	$\lambda$ _Einkommen_ÖV	-0.26	*
	$\lambda$ _Reisezeit_Treibstoff	-0.33	*
	$\lambda$ _Reisezeit_Maut	-0.35	*
$\lambda$ _Reisezeit_Parkkosten	-0.27	*	
$\lambda$ _Reisezeit_ÖV	-0.19	*	
Anzahl Beobachtungen	13552		
Finale Log-Likelihood	-6084.63		
Adj. Pseudo Rsq (B)	0.35		
Skalierungsparameter SP2 Modell	1.00	fixed	
Skalierungsparameter SP3 Modell	1.91		
Skalierungsparameter SP4 Modell	1.98		

(\*) signifikant auf 95% Niveau

(\*\*) Anteil Fahrten mit einer Verspätung von mindestens 10 min

In Bezug auf die soziodemographischen Charakteristika der Befragten werden der ÖV und die Route mit Mobility Pricing wiederum von älteren Befragten und Besitzern von ÖV-Abonnementen bevorzugt, der MIV und die Route ohne Mobility Pricing hingegen von PW-Besitzern und Befragten mit einer hohen Jahresfahrleistung. Wiederum bevorzugen die Befragten aus dem Tessin den MIV stärker als diejenigen aus dem deutsch- oder französischsprachigen Teil, während kein Einfluss auf die Routenwahl feststellbar ist. Das Geschlecht hatte ebenfalls keinen Einfluss auf die Auswahl in den Entscheidungssituationen.

### **Zahlungsbereitschaft**

Die unterschiedliche Bewertung der einzelnen Kostenkomponenten sowie die Abhängigkeit von der Kostenhöhe führen dazu, dass sich durch die Einführung von zusätzlichen Kostenkomponenten, wie beispielsweise das Mobility Pricing, auch die Zahlungsbereitschaft verändert. Für die hier betrachteten Kostenkomponenten wurde folgende Zahlungsbereitschaft ermittelt:

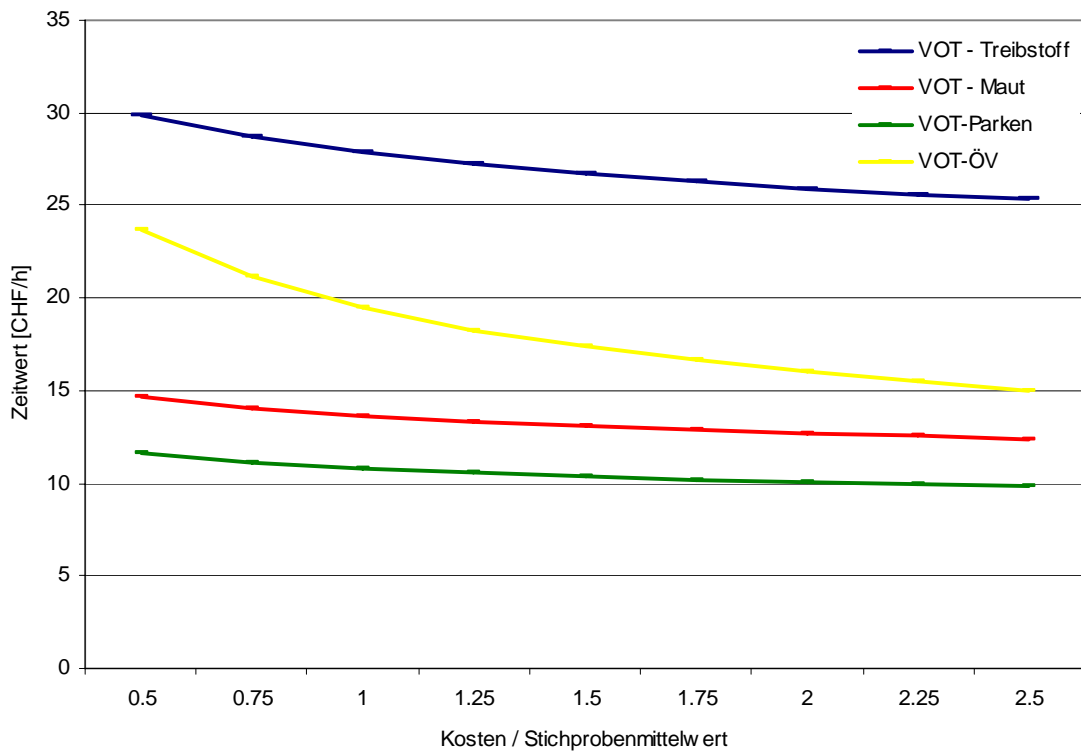
- Treibstoffkosten: 27.8 CHF/h
- Maut: 13.6 CHF/h
- Parkgebühr: 10.8 CHF/h
- ÖV - Kosten: 19.5 CHF/h

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Zahlungsbereitschaft der MIV-Verkehrsteilnehmer für eine Stunde eingesparte Reisezeit in Bezug auf die Treibstoffkosten als einzelne Kostenkomponente 27.8 CHF beträgt. Dabei muss beachtet werden, dass hier die Treibstoffkosten ohne Mineralölsteuer betrachtet wurden. Die heutige Mineralölsteuer wurde in die Mautkosten miteinbezogen. Die Zahlungsbereitschaft für ÖV-Kosten ist vor allem wegen der Nutzbarkeit der Zeit im ÖV (und unterschiedlicher soziodemographischer Charakteristika, Fahrzweckanteilen und Situation der Verkehrsteilnehmer) tiefer und beträgt 19.5 CHF/h. Weiter muss berücksichtigt werden, dass die hier betrachteten ÖV Kosten höher sind als die Treibstoffkosten, was zusätzlich die Zahlungsbereitschaft im ÖV reduziert. Wenn eine Maut eingeführt würde (die mittlere Mauthöhe der betrachteten Stichprobe liegt bei 5.3 Fr pro Fahrt), reduziert sich die zusätzliche Zahlungsbereitschaft auf 13.6 CHF/h. Die zusätzliche Einführung von Parkgebühren neben Treibstoff- und Mautkosten (im Mittel 2 CHF/Fahrt) ergibt nur eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft von 10.8 CHF/h.

Unter der Annahme dass alle drei Kostenkomponente im MIV gleich bewertet und als eine gesamte Kostenausgabe summiert werden, ergibt sich für die MIV-Verkehrsteilnehmer eine Zahlungsbereitschaft von 14 CHF/h.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Abhängigkeit des Zeitwertes bzw. der Zahlungsbereitschaft vom Kostenniveau. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Kosten so variiert, dass sie zwischen  $\frac{1}{2}$  mal und  $2\frac{1}{2}$  mal so hoch sind wie die Kosten des berichteten Weges. Der Mittelwert der Gesamtkosten für einen Weg liegt bei etwa bei 10 CHF. Die Zeitwerte sind nun in Abhängigkeit dieser Kosten aufgetragen. Es ist deutlich zu sehen, dass die Zahlungsbereitschaft exponentiell abnimmt. Sie tut dies für den ÖV in noch stärkerem Masse als für den MIV.

Abbildung 1 Abhängigkeit des Zeitwertes von den Kosten



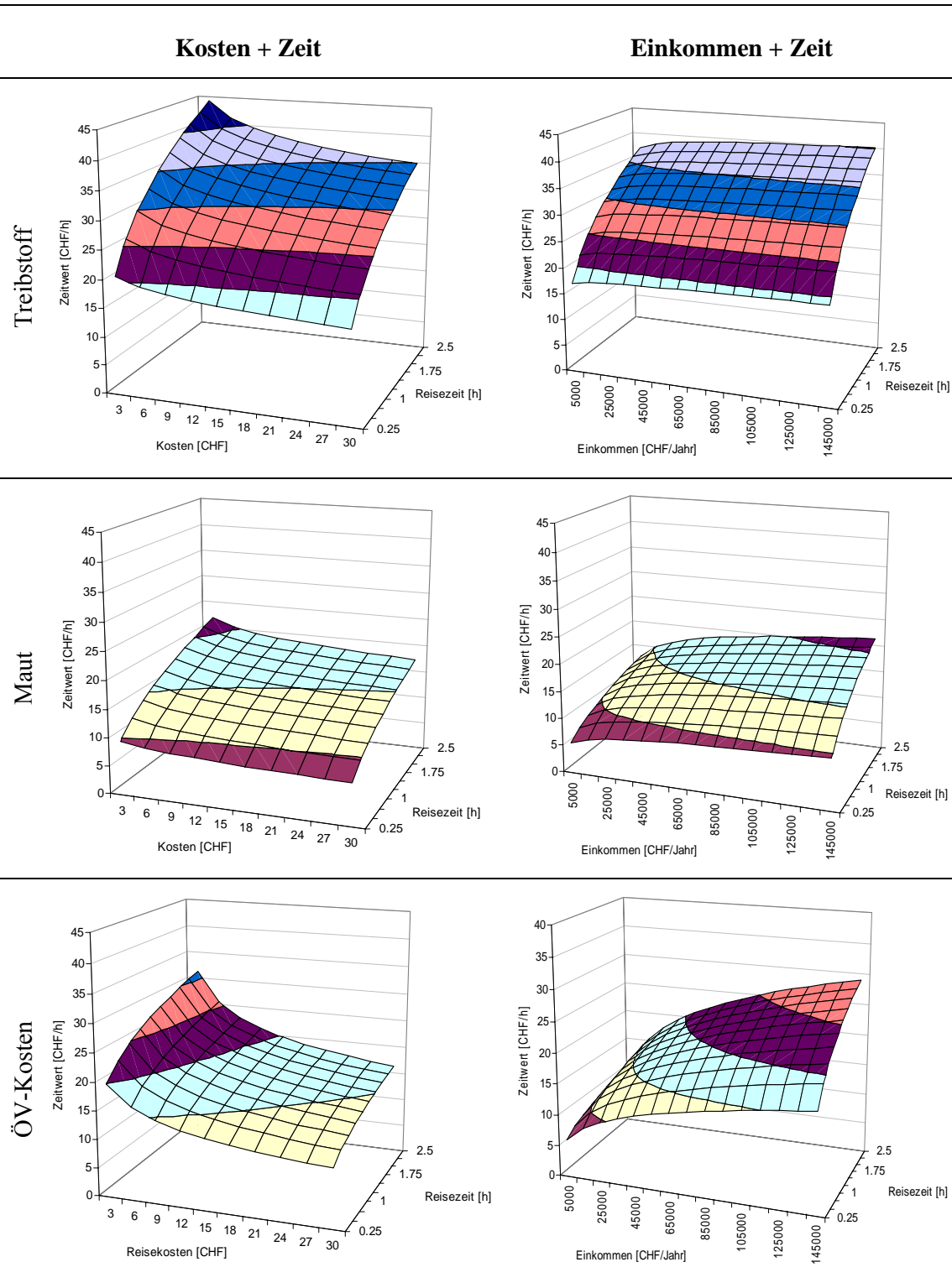
Die Zahlungsbereitschaften für eingesparte Reisezeit verändern sich jedoch nicht nur in Abhängigkeit vom Kostenniveau. Wie in der Definition der nichtlinearen Terme der Nutzenfunktion zu sehen ist, haben vielmehr auch das Einkommen der Befragten und die Reisezeit der beurteilten Fahrt sowie die betrachtete Kostenart einen entscheidenden Einfluss. Aus diesem Grund sind in Abbildung 2 die Zahlungsbereitschaften für Treibstoff, Maut und ÖV-Kosten einmal in Abhängigkeit von den entstehenden Kosten und der Reisezeit sowie

einmal in Relation zu Einkommen und Reisezeit dargestellt. Natürlich sind die Zeitwerte immer abhängig von allen drei Grössen, eine vierdimensionale Darstellung ist aber nicht möglich.

Wie schon in Abbildung 1 ist zu sehen, dass die Zeitwerte mit steigenden Kosten fallen. Dieser Effekt lässt sich vor allem mit der übergeordneten Budgetbeschränkung (der Ausgaben für Verkehr) erklären, die ein Reisender hat. Je näher der Betroffene an seine Budgetbeschränkung herankommt, umso mehr Reisezeitersparnisse erwartet er für das gleiche Geld. Damit sinkt seine Zahlungsbereitschaft. Steigt jedoch die Reisezeit, so steigt mit ihr auch der Zeitwert. Längere Reisen sind in der Regel auch mit höheren Budgets verbunden und zusätzliche Ausgaben werden nicht mehr so hart bestraft wie bei kürzeren Reisen, insbesondere da sie prozentual einen kleineren Teil am Gesamtpreis der Reise ausmachen. Diese Effekte sind darüber hinaus auch mit Fahrthäufigkeiten verbunden. Ähnliches kann beobachtet werden, wenn die Zeitwerte in Abhängigkeit vom Einkommen und der Reisezeit aufgetragen werden. Wie schon in vorherigen Studien gezeigt wurde, führt ein höheres Einkommen nämlich zu einer höheren Zahlungsbereitschaft.

Werden die Zeitwerte der verschiedenen Kostenarten miteinander verglichen, so zeigt sich, dass das Verhalten bezüglich Kosten, Reisedistanz und Einkommen ähnlich ist. Unterschiedlich ist aber, wie schon durch den Vergleich der Zeitwerte am Stichprobenmittel aufgezeigt wurde, das Niveau auf dem die Zeitwerte angesiedelt sind. Die Zeitwerte für die Maut sind erheblich niedriger als diejenigen für die Treibstoffkosten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Verkehrsteilnehmer bei kurzfristigen, taktischen Entscheidungen weniger stark auf Kosten reagieren, die ihnen unausweichlich erscheinen als auf vermeidbare Kosten wie Maut oder Parkkosten, welche durch Umwege oder andere Parkplatzwahl verhindert werden können. Weiterhin werden die Mautkosten und Parkplatzgebühren als zusätzliche Kostenkomponente betrachtet und führen damit zu einer Erhöhung der gesamten Reisekosten. In diese Erklärung passt auch das Phänomen, dass der Anstieg der Zeitwerte in Bezug zum Einkommen für die Treibstoffkosten weniger steil verläuft als für die Kosten, die durch Maut verursacht werden.

Abbildung 2 Zeitwerte in Abhängigkeit von Kosten und Zeit bzw. Einkommen und Zeit



### Elastizitäten

Eine weitere wichtige Auswertung der Modellergebnisse stellt die Berechnung der Reisezeit- und Kostenelastizitäten dar. Eine Elastizität gibt ganz allgemein an, wie sich die Veränderung einer unabhängigen Variablen, z.B. Reisekosten oder Reisezeit, auf eine abhängige Variable, z.B. die Verkehrsnachfrage, auswirkt. Eine direkte Mautelastizität von -0.29 würde beispielsweise bedeuten, dass eine Erhöhung der Maut um 10% zu einer Reduzierung der MIV-Fahrten um 2.9% führt. Eine Elastizität wird wie folgt berechnet:

$$E_i = \frac{\delta P_i}{\delta x_i} * \frac{x_i}{P_i}$$

Dabei ist  $\frac{\delta P_i}{\delta x_i}$  die partielle Ableitung der Auswahlwahrscheinlichkeit  $P_i$  der Alternative  $i$  nach der betrachteten Variable  $x_i$ .

Aufgrund der nichtlinearen Funktionsformen der Kosten- und Reisezeitparameter, müssen diese Nichtlinearitäten auch bei der Berechnung der Elastizitäten berücksichtigt werden. Für die Reisezeit mit der Nutzenfunktion

$$\beta_{Reisezeit} * \left( \frac{Kosten}{MittelwertKosten} \right)^{\lambda_{Kosten}} * Reisezeit$$

ergibt sich darum folgende allgemeine Formel für die direkte Reisezeitelastizität. Sie wird jeweils für die einzelnen Alternativen getrennt berechnet.

$$E_{Reisezeit} = \beta_{Reisezeit} * (1-P) * \left( \frac{Kosten}{MittelwertKosten} \right)^{\lambda_{Kosten}} * Reisezeit$$

Für die Kostenelastizitäten der verschiedenen Kostenparameter gilt folgenden Formel, die ebenfalls individuell auf jede Alternative und Kostenart angewandt wird:

$$E_{Kosten} = \beta_{Kosten} * (1-P) * \left( \frac{Einkommen}{MittelwertEinkommen} \right)^{\lambda_{Einkommen}} * \left( \frac{Reisezeit}{MittelwertReisezeit} \right)^{\lambda_{Reisezeit}} * Kosten$$



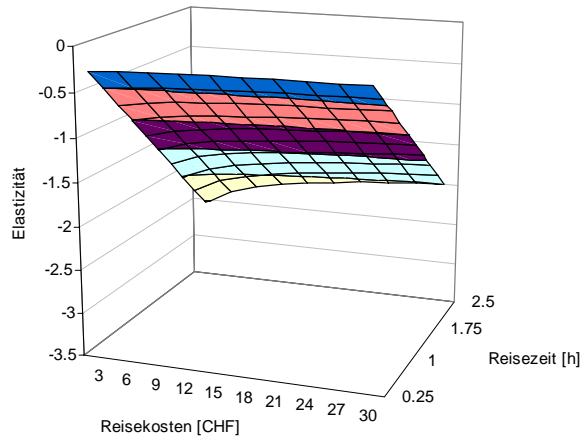
Entsprechend dieser Ableitungen sind auch die Kreuzelastizitäten zu berechnen, welche angeben wie sich die Auswahlwahrscheinlichkeit der anderen Alternative verhält, wenn sich das gleiche Attribut der ersten Alternative ändert.

Mit diesen Formeln können nun die Elastizitäten der einzelnen Variablen der Nutzenfunktion berechnet werden. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen den Verlauf der direkten Reisezeit- respektive Kostenelastizitäten. Die Abhängigkeit der Kostenelastizitäten vom Einkommen wurde dabei nicht dargestellt. Die Elastizitäten wurden für das mittlere Einkommen der Stichprobe berechnet und haben alle ein negatives Vorzeichen. Das heisst, eine Erhöhung der Reisezeiten oder der Kosten für eine Alternative führt immer zu einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit, dass diese ausgewählt wird. Darüber hinaus ist deutlich zu sehen, dass sowohl die Reisezeit- als auch die Kostenelastizitäten mit steigenden Kosten betragsmässig steigen, mit steigender Reisezeit hingegen betragsmässig abnehmen. Wie bei den Zeitwerten liegt dies an den Budgetbeschränkungen. Je näher eine Person an ihre Budgetgrenze herankommt, desto stärker reagiert sie auf weitere Kostenerhöhungen, während eine grössere Reisezeit auch das Budget bzw. die Zahlungsbereitschaft erhöht. Diese Effekte sind darüber hinaus auch mit Fahrthäufigkeiten verbunden.

Bezüglich der unterschiedlichen Kostenkomponenten ist wiederum deutlich zu sehen, dass die Befragten auf Kosten, die durch Maut verursacht werden, viel stärker reagieren als auf Kosten für Treibstoff. Hierbei muss beachtet werden, dass eine Maut als eine zweite, zusätzlich zu den Treibstoffkosten anfallende Kostenkomponente betrachtet wird. Dadurch ist der Verlauf der Elastizitätsfunktion für den Treibstoff wesentlich flacher.

Abbildung 3 Direkte Reisezeitelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit

MIV



OEV

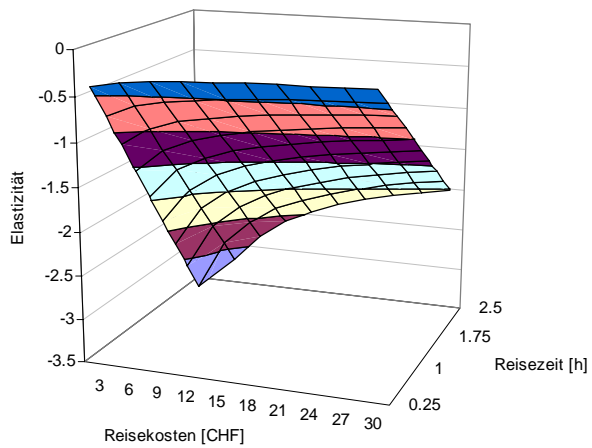
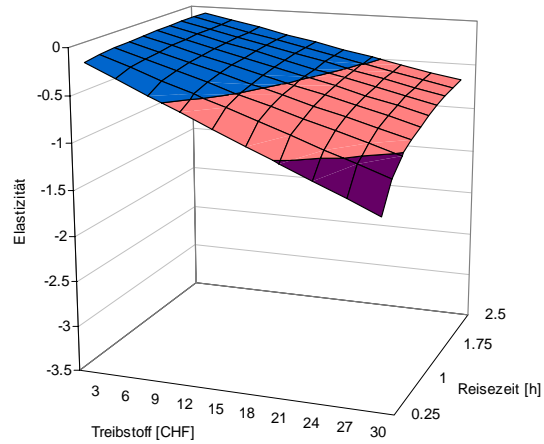
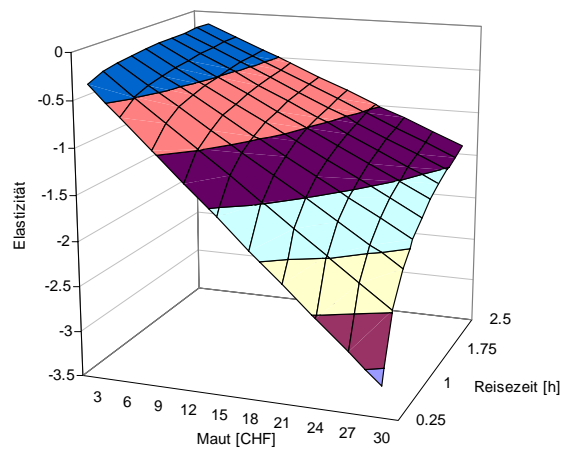


Abbildung 4 Direkte Kostenelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit

Treibstoff



Maut



ÖV-Kosten

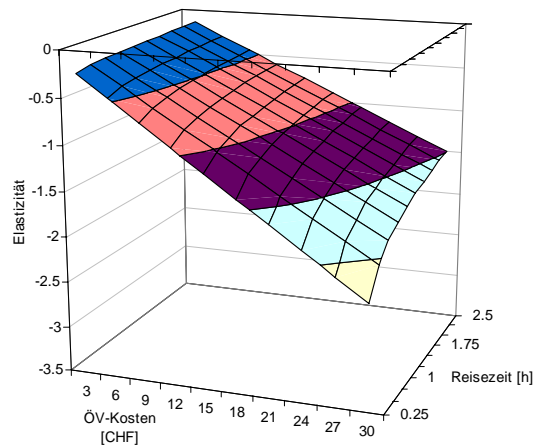


Tabelle 3 zeigt ein Beispiel für die Berechnung der Elastizitäten in der Verkehrsmittelwahl. Es wurde angenommen dass die mittlere Fahrtzeit im MIV 33 min und im ÖV 43 min (KEP Stichprobe) beträgt und die Modal-Split-Anteile zwischen MIV und ÖV gleich (je 50%) sind. Die mittleren Treibstoffkosten liegen bei 4.40 CHF, die mittleren Mautkosten bei 3.08 CHF, die Parkkosten bei 1.79 CHF und die ÖV-Kosten bei 7.04 CHF. Für das Einkommen wurde angenommen, dass es dem durchschnittlichen Einkommen der KEP Befragten entspricht. Alle anderen Mittelwerte wurden ebenfalls aus den Befragungsdaten übernommen. So konnten die Nutzen der Alternativen, die Auswahlwahrscheinlichkeiten und daraus resultierend die Elastizitäten für dieses Beispiel berechnet werden.

Es ist zu beachten, dass die so ermittelten Werte keine allgemeingültigen Werte der Elastizitäten sind. Sie gelten für das hier beschriebene Beispiel. Für eine Übertragung auf andere Untersuchungsgebiete und/oder Szenarien müssen die Werte für alle sich verändernden Variablen angepasst werden.

Tabelle 3 Beispielszenario: Direkte Elastizitäten für den mittleren KEP Weg

	Reisezeit	Treibstoffkosten	Maut	Parkkosten	ÖV-Kosten
MIV	-0.62	-0.18	-0.26	-0.19	
ÖV		-0.76			-0.35

Annahmen: Mittlere Fahrtzeit MIV: 33 min, mittlere Fahrtzeit ÖV: 43 min, Modal-Split: 50% MIV, 50% ÖV, mittlere Treibstoffkosten: 4.40CHF, mittlere Mautkosten 3.08 CHF, mittlere Parkkosten: 1.79 CHF und mittlere ÖV-Kosten: 7.04 CHF

Es ist wiederum zu sehen, dass die Befragten unterschiedlich stark auf die einzelnen Kostenkomponenten reagieren. So sind die Elastizitäten für Maut und Parkgebühren betragsmässig höher als die Elastizitäten für Treibstoffkosten. Sie sind jedoch abhängig vom absoluten Betrag der Werte im Beispielszenario. Wäre zum Beispiel der Mittelwert der Parkkosten so hoch wie der der Maut, so würde sich für die Parkkostenelastizität ein betragsmässig deutlich höherer Wert ergeben als für die Mautelastizität.

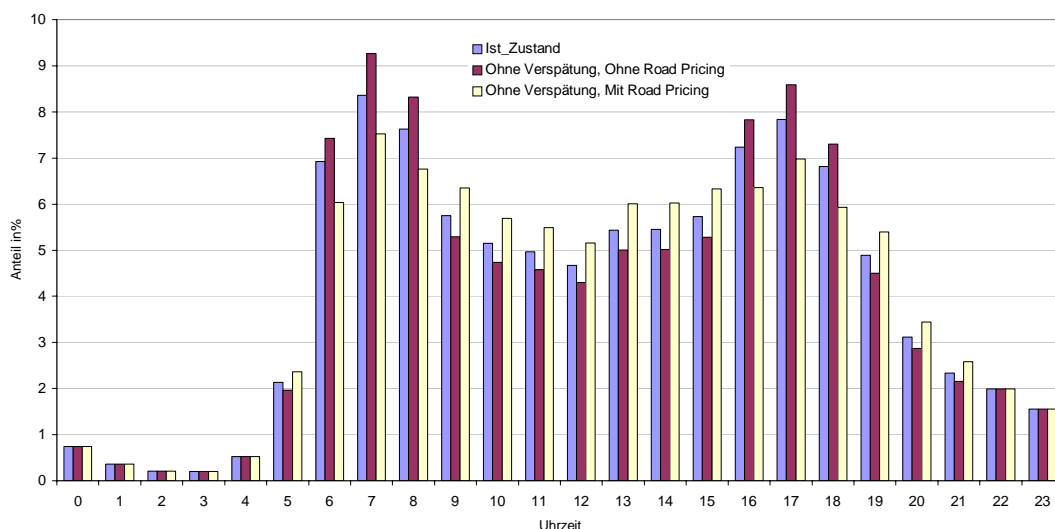
Auf ähnliche Weise könnten auch die Elastizitäten für die erhobene Routenwahl-Stichprobe berechnet werden. Für die dort angebotenen Alternativen (Routen) mit und ohne Road Pricing wurde eine mittlere Elastizität für die variablen Kosten von -0.5 berechnet. Diese Elastizität zeigt nur die Nachfragerreaktion auf die in der Befragung vorgelegten Angebotsverhältnisse und kann nicht auf die realen (und nicht mit dem Stichprobenmittelwert identischen) Anwendungen übertragen werden. Hier müssen neben den Kostenveränderungen bzw. den

Kostendifferenzen vor allem die Zeitdifferenzen zwischen den Routen berücksichtigt werden. Die durch die Angebots- bzw. Kostenveränderungen verursachten Routenwahlveränderungen können nur durch die Anwendung von Umlegungsmodellen berechnet werden. Die hier geschätzten Modellparameter werden in die Umlegungsmodelle und die dort vorhandenen Routenwahlansätze implementiert.

### Anwendungsbeispiele

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden mit den geschätzten Modellparametern die Auswirkungen des Mobility Pricings auf die Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Wahl der Abfahrtszeit an einem vereinfachten Anwendungsbeispiel getestet. Für eine ausgewählte Quell-Ziel-Beziehung wurden gegenüber dem heutigen Zustand zwei Szenarien analysiert: Eines mit verbesserter Reisezeit (kein Stau) ohne zusätzliche Kosten und eines mit verbesserter Reisezeit (kein Stau) und mit Mobility Pricing. Das Mobility Pricing ist über den Tag dynamisch mit folgenden Gebühren: 06:00 bis 09:00, 16:00 bis 19:00 – 5 CHF/Fahrt, 05:00 bis 06:00, 09:00 bis 16:00, 19:00 bis 22:00 – 2 CHF / Fahrt, 22:00 bis 05:00 - keine Gebühr. Die Auswirkungen dieser Szenarien sind in Abbildung 5 dargestellt. Es ist zu beachten, dass das Verkehrsaufkommen über den gesamten Tag unverändert bleibt.

Abbildung 5 Anwendungsbeispiel: Veränderung der Tagesganglinie durch die unterschiedlichen Verkehrsangebote und Reisekosten der einzelnen Zeitintervalle



Der berechnete Nachfrageanteil der einzelnen Stunden zeigt eine logische Anpassung in Abhängigkeit des veränderten Nutzens bzw. der generalisierten Kosten. In diesem Beispiel werden die Veränderungen vor allem durch die angenommene Reisezeitveränderung und die daraus entstandene Verspätungswahrscheinlichkeit sowie durch die veränderten Reisekosten bestimmt.

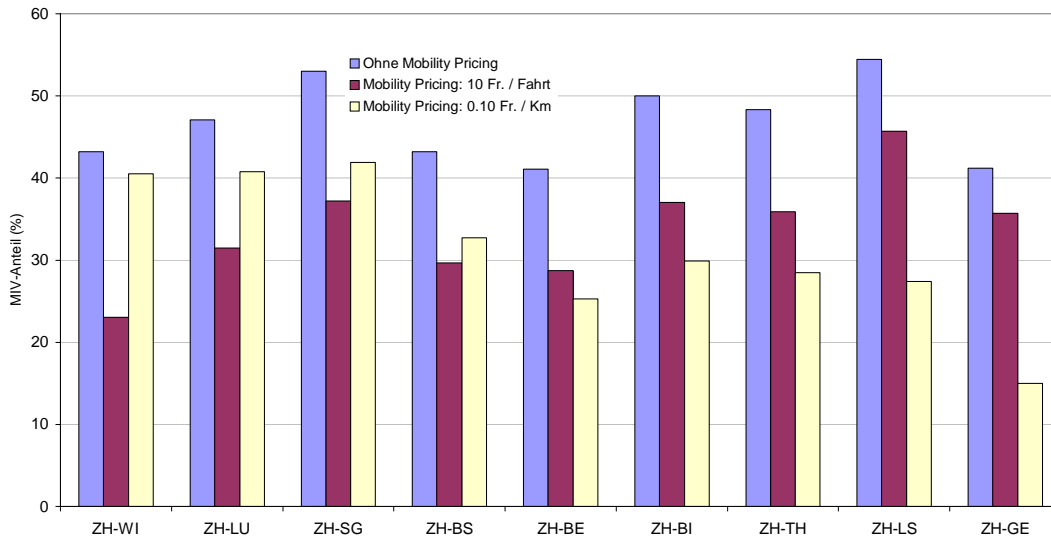
Es ist zu sehen, dass ein verbessertes Verkehrsangebot (Zustand ohne Verspätung und ohne Road Pricing) ohne Erhöhung der Reisekosten zu einer Erhöhung der Verkehrsnachfrage zu Spitzenzeiten führt. Dementsprechend reduziert sich die Verkehrsnachfrage ausserhalb der Morgen- und Abendspitzenzeit.

Die Einführung des zeitabhängigen Mobility Pricings (Zustand ohne Verspätung und mit Road Pricing) führt trotz verbesserter Angebotsqualität (ohne Verspätung) zu einer Erhöhung der generalisierten Kosten und dementsprechend zu weiteren Nachfrageverschiebungen entlang der betrachteten Zeitachse. Ein höheres Road Pricing in den Spitzenzeiten als in den übrigen Zeitintervallen hat eine Abflachung der Tagesganglinien bzw. eine teilweise Verdrängung der Verkehrsnachfrage auf Zeiten ausserhalb der Zeitintervalle mit höherem Road Pricing zur Folge.

Dieses Beispiel zeigt, dass mit den geschätzten Modellparametern, und unter Betrachtung des Tagesverkehrs als Randsummenbedingung, die Auswirkungen von veränderten Angebots- bzw. Kostenverhältnissen einzelner Zeitintervalle modelliert werden können. Es ist zu beachten, dass bei der konkreten Anwendung einige der hier getroffenen Annahmen genauer diskutiert bzw. überprüft werden müssen.

Die Auswirkungen von Mobility Pricing auf die Verkehrsmittelwahl wurde durch zwei unterschiedliche Kostenerhöhungen simuliert: ein pauschales Road Pricing von 10 CHF/Fahrt und eine kilometerabhängiges Road Pricing von 0.10 CHF/km. Die ermittelten Verkehrsmittelwahlveränderungen für einzelne Quell-Ziel-Beziehungen sind in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6 Anwendungsbeispiel: Veränderung der Verkehrsmittelwahl-Anteile durch Einführung von Road Pricing



ZH = Zürich, WI = Winterthur, LU = Luzern, BS = Basel, BE = Bern, TH = Thun, LS = Lausanne, GE = Genf, BI = Biel, SG = St. Gallen

Es ist zu sehen, dass die Verkehrsmittelwahlveränderungen sehr stark von der Weglänge bzw. dem gesamten Nutzens des Weges sowie dem Anteil des Road Pricings am gesamten Nutzen abhängig sind. So führt z.B. die Einführung des Road Pricings von 10 CHF/Fahrt für die Quell-Ziel-Beziehung Zürich-Winterthur zu einer deutlich höheren Modal-Split-Veränderung als bei den Beziehungen Zürich-Lausanne oder Zürich-Genf.

Andererseits führt die Einführung des Km-abhängigen Road Pricings vor allem zu einer starken Erhöhung der Reisekosten auf längeren Wegen. Hier verändert sich der Anteil der MIV-Fahrten bei der Strecke Zürich-Winterthur deutlich weniger als bei längeren Quell-Ziel-Beziehungen.

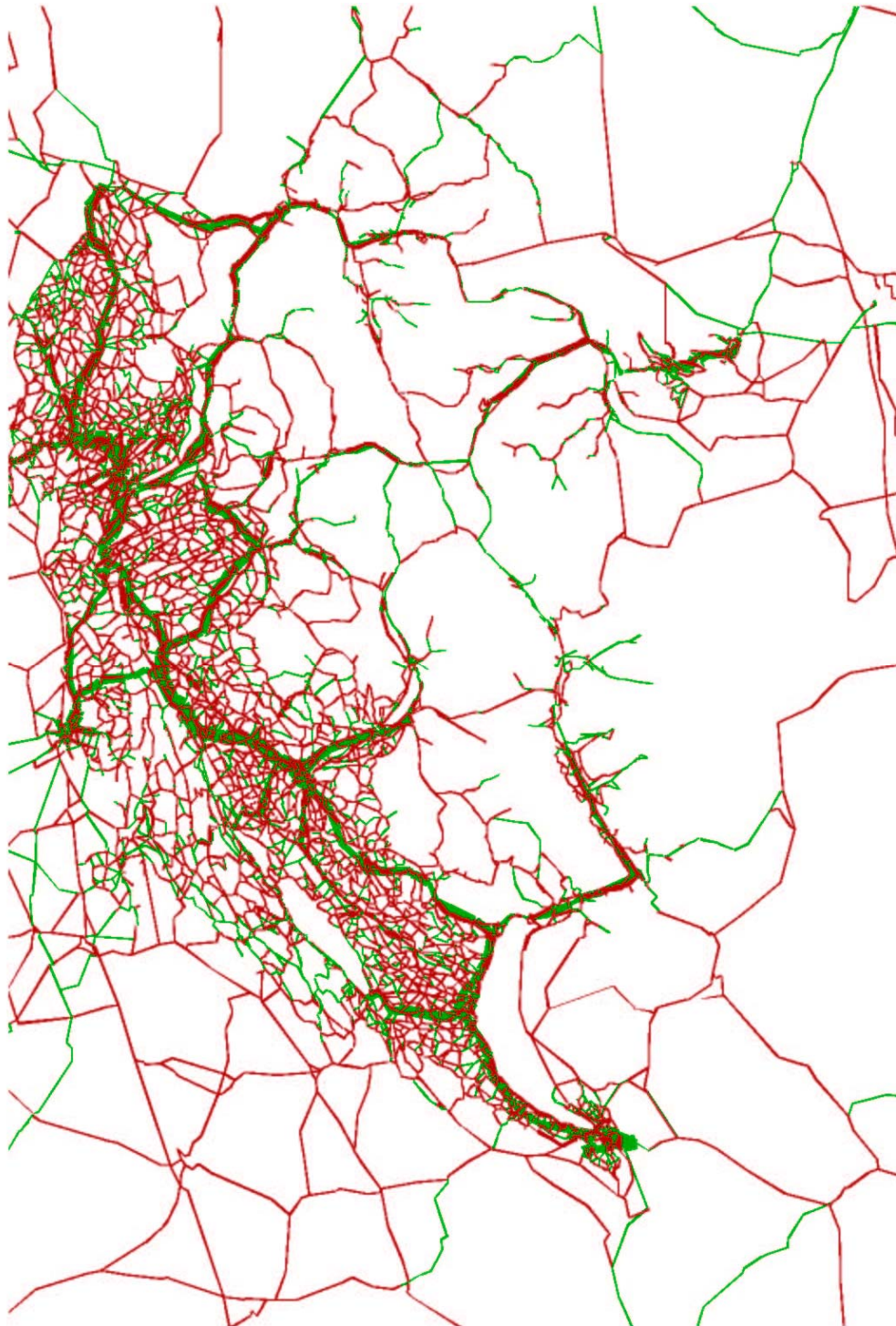
Aus diesem Beispiel lassen sich mögliche Wirkungen des Mobility Pricing Systems bereits grob prognostizieren. Für eine genauere Analyse muss die Struktur der MIV-Fahrten in der Schweiz berücksichtigt werden. Somit können in Abhängigkeit von festgelegten politischen Zielen sowohl das Mobility Pricing System als auch die Kostenhöhe als Instrumente überprüft und optimiert werden.

Die möglichen Auswirkungen des Mobility Pricings auf das Routenwahlverhalten wurden durch die Anwendung des Nationalen Personenverkehrsmodells getestet. In diesem Beispiel wurden die Auswirkungen einer Einführung zusätzlicher Gebühren auf dem Autobahnnetz analysiert. Es wurde eine fixe Gebühr von 0.10 Fr. pro Autobahn-Kilometer angenommen.

Die Differenzen der Netzbelastungen in Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die Routenwahlveränderungen und dadurch entstandene Veränderungen in den Netzbelastungen durch die Einführung des Road Pricings. Dabei sind in Abbildung 7 die absoluten Veränderungen zu sehen, in Abbildung 8 hingegen diese Veränderungen in Relation zur heutigen Verkehrsbelastung auf den einzelnen Strecken. Es ist zu sehen, dass die Einführung von Autobahngebühren vor allem zu einer Verdrängung der Fahrten auf das untergeordnete Strassennetz zur Folge hat. Die Anzahl Fahrten, die auf das untergeordnete Strassennetz verlagert werden, ist natürlich stark von der Angebotsqualität und den Zeitdifferenzen zwischen den vorhandenen Alternativen abhängig.



Abbildung 7 Routenwahlveränderungen: Differenzen der Netzbelastungen durch die Einführung des Mobility Pricings auf dem Autobahnnetz (0.1 Fr./Km)



Rot = Zunahme (relativ), grün = Abnahme (relativ)

Abbildung 8 Routenwahlveränderungen: Differenzen der Netzbelastungen durch die Einführung des Mobility Pricings auf dem Autobahnnetz (0.1 Fr./Km)



gelb= Belastung ohne Mobility Pricing , rot= Zunahme (relativ), grün= Abnahme (relativ)

### *Modellergebnisse Strategische Entscheidungen*

Ziel des zweiten Teils der Stated Preference Befragung ist es, den Einfluss von Mobility Pricing Massnahmen auf den Besitz von Mobilitätswerkzeugen und die Wohnstandortwahl herauszuarbeiten. Die Befragung wurde in mündlichen, persönlichen Interviews durchgeführt. Die Fragebögen wurden datenbankbasiert für jede befragte Person individuell erstellt und direkt unter Mithilfe des Interviewers am Laptop ausgefüllt.

Die geschätzten Modellparameter zeigen, dass der Besitz von Personenwagen vor allem durch soziodemographische-, siedlungsstrukturelle- und Verkehrsangebotsmerkmale determiniert ist. Dabei ist die Bedeutung der Kostenvariable eher untergeordnet. Es wurden zwei getrennte Modelle geschätzt: eines für allein benutzte PW und eines für gemeinsam benutzte PW. Die geschätzten Parameter zeigen, dass mit einer Kostenerhöhung die Attraktivität der gemeinsamen Benutzung eines PWs erhöht wird. Dabei muss aber beachtet werden, dass der Anteil der von mehreren Personen gemeinsam benutzten PW sehr klein ist (ca. 10% der Stichprobe) und damit die Ergebnisse aus dem Modell für die alleinige Nutzung eines PWs für die Verkehrsprognosen dominierend sind. Aus den geschätzten Modellparametern wurde für die Variable PW-Kosten im Bezug auf den PW-Besitz eine mittlere Elastizität von -0.157 ermittelt. Wenn also beispielsweise die variablen PW-Kosten um 10% ansteigen, dann sinkt der PW Besitz um -1.57%. Dahingegen ist der Einfluss der ÖV-Kosten auf den PW-Besitz nicht signifikant.

Im Vergleich zu früheren Untersuchungen über den Einfluss der PW-Kosten auf den PW-Besitz ist die hier geschätzte Elastizität höher. In der Studie von Vrtic et al. (2000) wurde eine Elastizität von 0.1 ermittelt. Diese Elastizität basiert jedoch auf deutlich tieferen variablen Kosten als in der hier betrachteten Studie unter Berücksichtigung des Mobility Pricings angenommen wurden. Damit zeigen die Ergebnisse dieser zwei Studien unter Berücksichtigung der betrachteten Kostenhöhe, dass diese Elastizität eine von der Kostenhöhe abhängige Grösse ist.

Mit den geschätzten Modellen konnte kein signifikanter Einfluss der variablen PW-Kosten auf den Besitz von ÖV-Abonnements festgestellt werden. Die nicht signifikanten Parameter für die Kostenvariablen weisen darauf hin, dass die Kosten im vorliegenden Bereich keinen Einfluss auf die Besitzverhältnisse der ÖV-Abonnements haben. Die geschätzten Parameter zeigen aber deutlich, dass das GA (Generalabonnement) zum PW als Substitutionsgut auftritt.

Im letzten Teil der Befragung wurde der Einfluss der Reisekosten auf die Wohnstandortwahl analysiert. Auch hier zeigte sich, dass die PW-Kosten als eine Verkehrsangebotskomponente für die Wohnstandortwahl signifikant sind, eine Veränderung dieser Kosten alleine aber eher untergeordnete Bedeutung hat. Damit kann als Schlussfolgerung angenommen werden, dass die Einführung von Mobility Pricing keinen bedeutenden Einfluss auf die Wohnstandortwahl hat.

### *MIV Routenwahlmodelle aus RP Datengrundlage*

Die aus den Stated Preference Daten (SP) geschätzten Modellparameter für die taktischen Entscheidungen wurden darüber hinaus durch Schätzung von Revealed Preference (RP) Modellen, welche auf tatsächlich beobachtetem Verhalten basieren, überprüft. SP Modelle, wie in den vorangegangenen Abschnitten vor allem für die Reisekosten und die Reisezeit gezeit, eignen sich gut dafür, Abwägungen zwischen verschiedenen Variablen zu bestimmen. Aber sie haben den Nachteil, dass sie auf hypothetischen Szenarien beruhen und daher verzerrt sein können. RP Modelle hingegen basieren auf dem tatsächlichen Verkehrsverhalten, allerdings sind sie auch sie in ihrem aufgrund von Korrelationen zwischen den Variablen und fehlender Variationen beschränkt. Daher sollten im zweiten Arbeitspaket des Projektes MIV Routenwahlmodelle für Langstreckenfahrten auf der Grundlage von RP Daten ermittelt und mit den Ergebnissen aus den SP Modellen verglichen werden. Zur Modellierung der Routenwahl wurde das Path Size Logit Modell (Ben-Akiva und Bierlaire, 1999) verwendet.

### **Modellspezifikation**

Im Folgenden werden vier Modelle diskutiert: zwei RP Modelle, ein SP Modell und ein kombiniertes RP-SP Modell. Es ist zu beachten, dass alle Modelle nur auf aggregierter Ebene erstellt wurden, da die Routen durch die Befragten auf Ebene der Gemeinden, die auf dem Weg lagen, angegeben wurden. Darüber hinaus wurden alle Modellschätzungen für Reisezeiten im unbelasteten Netz vorgenommen. Im Folgenden werden die vier Modelle kurz vorgestellt, anschliessend werden im nächsten Absatz die Ergebnisse der Modellschätzungen zusammengefasst.

Das erste RP Modell (RP1) hat die höchste Modellgüte beschreibt damit die Daten am genauesten. Es werden entsprechend der Vorgaben des Nationalen Verkehrsmodells vier unterschiedliche Strassentypen (Sekundärstrassen, Hauptstrassen, Kantons/Nationalstrassen sowie Autobahnen) definiert und die Reisezeitparameter separat für diese Strassentypen

geschätzt. Darüber hinaus wird durch eine stückweise lineare Formulierung der Reisezeitparameter für jeden Strassentyp auch der Einfluss der Gesamtreisezeit auf die Bewertung von Reisezeitveränderungen mit einbezogen. Zusätzlich wird die Präferenz für bestimmte Strassentypen durch eine Variable ermittelt, die vergleicht, wie viel Prozent der Gesamtreisezeit auf dem entsprechenden Strassentyp verbracht wurde.

Das zweite RP Modell (RP2) wurde für die Schätzung des kombinierten RP-SP Modells verwendet. Da im kombinierten Modell gemeinsame Reisezeitparameter geschätzt werden sollen, war es notwendig, die Reisezeitvariablen des RP1 Modells so umzuformulieren, dass sie auch aus den SP Daten bestimmt werden konnten. Informationen über Strassentypen sind in den SP Daten nicht vorhanden. Deswegen wurde die stückweise lineare Formulierung unabhängig vom Strassentyp gemacht. Die restlichen Modellspezifikationen hingegen sind die gleichen wie im RP1 Modell.

Im Gegensatz zu den auf Seite 17ff. diskutierten SP Modell der kombinierten Routen- und Verkehrsmittelwahl ist das hier verwendete SP Modell ein reines Routenwahlmodell. Die Modellspezifikation wurde soweit wie möglich aus dem kombinierten Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell übernommen. Es mussten jedoch die Parameter für die Reisezeit und die Kosten angepasst werden. Für die Reisezeit wurde die stückweise lineare Formulierung aus dem RP2 Modell übernommen. Die Reisekosten (für Treibstoff und Maut) wurden wie im kombinierten Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell nicht-linear in Abhängigkeit vom Einkommen definiert. Die Nichtlinearität der Reisekosten bezüglich der Reisezeit wurde hingegen nicht mit einbezogen. Darüber hinaus wurde ein Panel-Term integriert, der in der Modellschätzung berücksichtigt, dass mehrere Antworten von derselben Person gegeben wurden.

Das RP-SP Modell kombiniert das RP2 Modell mit dem oben definierten SP Routenwahlmodell. Die Reisezeitparameter wurden auf Basis beider Datensätze gemeinsam geschätzt.

### ***Ergebnisse der Modellschätzungen***

Die Modellschätzungen des RP1 Modells zeigen, dass der Strassentyp einen signifikanten Einfluss auf das Routenwahlverhalten hat. Die Wahrnehmung der Reisezeit auf Sekundärstrassen und Hauptstrassen gleicht sich dabei stark, abgesehen von Reisezeiten unter 10 Minuten für die Reisezeitveränderungen bei Fahrten auf Hauptstrassen nicht als solche wahrgenommen werden. Ebenso ist die Wahrnehmung der Reisezeitveränderungen auf

Kantons-/Nationalstrassen und Autobahnen bei Fahrten unter 30 Minuten ähnlich. Auf längeren Reisen (über 1 Stunde) reagieren die Personen hingegen sensibler auf Reisezeitveränderungen auf Autobahnen als auf Kantons-/Nationalstrassen, während die Reaktion auf Reisezeitveränderungen für Fahrten zwischen 30 Minuten und 1 Stunde für alle Strassentypen ähnlich ist. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Stichprobe für Fahrten über 1 Stunde sehr klein und daher nicht unbedingt zuverlässig ist.

Die Parameterwerte der Variablen, die die Präferenz für einen bestimmten Strassentypen angeben sind alle negativ und signifikant von Null verschieden. Daraus lässt sich ableiten, dass die Befragten die verschiedenen Strassentypen in folgender Reihenfolge für Fernreisen bevorzugen: Kantons-/Nationalstrassen, Autobahnen, Hauptstrassen, Sekundärstrassen. Um den Einfluss der Strassentypen auf die Routenwahl fundiert beurteilen zu können, müsste jedoch eine Simulation durchgeführt werden, da eine Veränderung in der prozentualen Wahl eines Strassentyps auch zu einer veränderten Bewertung der Reisezeit führt.

Auch im RP2 Modell sind alle Parameter für die Bewertung der Reisezeit signifikant von Null und von einander verschieden. Darüber hinaus zeigt sich, dass Reisezeitverlängerungen mit zunehmender Gesamtreisezeit weniger stark bestraft werden. Dies war zu erwarten, da mit zunehmender Reisezeit die gleiche absolute Veränderung prozentual gesehen weniger gross ist. Die erwartete und aus anderen Studien bekannte Zunahme in der Sensitivität bezüglich der Reisezeit bei sehr langen Wegen konnte jedoch nicht festgestellt werden, was nicht zuletzt an der zu kleinen Stichprobe für diese Wege liegen kann. Im Vergleich zum RP1 Modell ändert sich die Reihenfolge der Präferenz für die Strassentypen: Im RP2 Modell werden Hauptstrassen den Autobahnen vorgezogen. Dies widerspricht jedoch nicht den RP1 Ergebnissen, da hier die Bewertung der Reisezeit nicht mehr für jeden Strassentyp einzeln erfasst wird.

Die Ergebnisse des SP Routenwahlmodells zeigen, dass Frauen bepreiste Routen eher bevorzugen. Ausserdem zeigt die Konstante eine generelle Bevorzugung der Route ohne Pricing. Ebenso wird die Route ohne Pricing von Personen über 64 Jahren präferiert. Bezüglich der Wahrnehmung von Reisezeitveränderungen zeigen sich keine signifikanten Unterschiede für Wege unter 30 Minuten und solchen zwischen 30 Minuten und 1 Stunde. Für Wege mit einer Gesamtreisezeit über 1 Stunde wird der Reisezeitparameter jedoch kleiner, was den Ergebnissen des RP2 Modells entspricht.

Insgesamt ergibt sich für die Modellschätzung des kombinierten RP-SP Modells die gleiche Interpretation wie für die einzelnen Modelle. Die Parameter weisen die gleichen Vorzeichen

und das gleiche Signifikanzniveau auf. Die Reisezeitparameter für Fahrten unter 30 Minuten und 30 Minuten bis zu 1 Stunde sind immer noch nicht signifikant verschieden. Allerdings haben sich die Verhältnisse der Reisezeitparameter zueinander verändert. So wird die Reisezeit für Fahrten zwischen 30 Minuten und 1 Stunde im SP Routenwahlmodell 1.4 mal so hart bestraft wie für Fahrten über 1 Stunde, im kombinierten Modell hingegen 1.9 mal so hart.

Abschliessend soll noch einmal betont werden, dass die RP Schätzungen, kombiniert und einzeln, sich in vielen Aspekten vom SP Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell unterscheiden. Die Modellspezifikationen unterscheiden sich teilweise stark und die Modellschätzungen wurden auf einer anderen Datenbasis durchgeführt, da für die RP-SP Modelle nur eine Teilstichprobe verwendet werden konnte. Daher können die Parameterwerte aus dem SP Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell nicht direkt mit denen des RP-SP Modells verglichen werden. Der Vergleich der in diesem Arbeitspaket geschätzten Modelle (RP2, SP und RP-SP) zeigt jedoch insgesamt eine gute Übereinstimmung der SP Werte mit den Ergebnissen der RP Modelle. Die Werte für die Zahlungsbereitschaft werden hier nicht angegeben, da sie weder das Verkehrsmittel- noch das Abfahrtszeitwahlverhalten berücksichtigen.

#### *Schätzung der Elastizitäten der Gesamtnachfrage*

Das Ziel des dritten Teils der Studie war es, die Auswirkungen von Preisänderungen auf die individuelle Mobilitätsnachfrage in den letzten 45 Jahren anhand von statistischen Datengrundlagen zu analysieren. Auf aggregierter Ebene wurden Zeitreihen zur Verkehrsnachfrage, zum Treibstoffabsatz und zur Benzinpreisentwicklung regressionsanalytisch untersucht. Auf disaggregierter Ebene wurden die Daten des Mikrozensus 2000 verwendet, um die Wirkung einzelner Kostenkomponenten (Fixkosten, variable Kosten und Zeitwerte) auf die Mobilitätsnachfrage zu bestimmen.

Die Resultate auf aggregierter Ebene zeigen deutlich, dass Elastizitäten stark von der Wahl des Erhebungszeitraumes abhängen und dass ihre Werte nur im Zusammenhang mit den gewählten Grössen und Randbedingungen interpretiert werden können. Dies verdeutlicht wieder einmal, dass anderweitig gewonnene Elastizitäten, beispielsweise aus den zahlreichen ausländischen Studien, nur mit äusserster Vorsicht übertragen werden dürfen. Aber auch bei einer reinen Betrachtung der Schweiz müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden. So ist zum Beispiel der Trendbruch des Benzinabsatzes im Jahr 2000 und der starke Flottenzuwachs von Dieselfahrzeugen bei der Interpretation der Nachfrageelastizität zu beachten. Während auf aggregierter Ebene Benzinpreiserhöhungen in den letzten 45 Jahren kaum zu Nachfrageveränderungen führten, hat die Analyse auf der Mikroebene deutlich gezeigt, dass

innerhalb einzelner Hubraumkategorien sehr differenziert auf die Treibstoffkosten reagiert wird. Je höher der Anteil der Treibstoffkosten an den Mobilitätskosten ist, desto stärker wirken sich Preiserhöhungen aus.

### *Empfehlungen für die Anwendung*

Die hier ermittelten Projektergebnisse erfassen mögliche Verhaltensreaktionen der Verkehrsteilnehmer bei der Einführung von Mobility Pricing. Mit diesen Grundlagen können die verkehrlichen Auswirkungen und die Verhaltensänderungen bei solchen Angebotsveränderungen quantifiziert werden. Daraus kann abgeleitet werden, ob und welche verkehrspolitischen Ziele durch die Einführung von Mobility Pricing erreicht werden können.

Der Vergleich der ermittelten Ergebnisse mit den Erfahrungen aus dem Ausland mit der Einführung von Road Pricing zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Die aus Modellparametern abgeleiteten Nachfrageelastizitäten und die durch Anwendungsbeispiele berechneten Nachfrageveränderungen bewegen sich in einem ähnlichen Rahmen wie die in der Literaturanalyse ermittelten Erfahrungen im Ausland. Die geschätzte Zahlungsbereitschaft liegt zwar über der Zahlungsbereitschaft der anderen Länder, dies ist aber vor allem auf die Unterschiede in der Soziodemographie und der Einkommensstruktur sowie der heutigen Ausgaben im Verkehr zurückzuführen.

Wie hier gezeigt wurde, sind die Verhaltensreaktionen der Verkehrsteilnehmer stark von soziodemografischen-, Weg- und Angebotscharakteristiken abhängig. Damit können die Auswirkungen von Massnahmen nur durch eine plausible Beschreibung des Verkehrsangebots und der Verkehrsnachfrage des betrachteten Untersuchungsgebiets geschätzt werden. Dies bedeutet, dass die Berechnung der Auswirkungen von Mobility Pricing neben den hier geschätzten Modellparametern auch eine verlässliche Beschreibung des Verkehrsgeschehens durch die verwendeten Verkehrsmodelle verlangt. Zusätzlich zu einer vollständigen Angebotsbeschreibung muss der Fokus vor allem auf realitätsentsprechende bzw. validierte Quell-Ziel-Matrizen gelegt werden. Nur durch eine verlässliche Quell-Ziel-Matrix können die Nutzen bzw. Kosten der Wege eines Untersuchungsgebiets und damit auch mögliche Nachfragereaktionen plausibel berechnet werden. Weiterhin müssen bei der Planung von Mobility Pricing Massnahmen alle Angebotskomponenten berücksichtigt und der gesamte Nutzen bzw. die gesamten Kosten eines Weges berechnet werden. Beispielsweise hat die Einführung eines Mobility Pricings von 5 CHF/Fahrt auf einen Weg von 10 Minuten eine andere Wirkung als auf einen Weg von 60 Minuten. Daher ist ein verlässliches und validiertes Netzmodell unerlässlich.



Für die Berechnung von Verkehrsmittelwahl- und Abfahrtszeiteffekten können, wie oben beschrieben, die Logit-Modelle als Pivot-Point-Ansätze verwendet werden. Weiterhin ist für die Schätzung von Abfahrtszeitveränderungen auch die Berücksichtigung der Nachfragedynamik eine wichtige Komponente. Für die Schätzung der Zielwahlveränderungen können die im Rahmen der Erstellung des Nationalen Personenverkehrsmodells geschätzten Zielwahlparameter benutzt werden. Es ist zu empfehlen, diese Parameter zusammen mit den hier geschätzten Verkehrsmittelwahlparametern als kombiniertes Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell zu verwenden.

## 1 Hintergründe

Das Wachstum der Verkehrsnachfrage im motorisierten Personenverkehr und immer kleinere Infrastrukturreserven haben dazu geführt, dass neue Beeinflussungsinstrumente und Massnahmen für eine gezielte Nachfrageaufteilung gesucht werden müssen. Beispiele im Ausland haben gezeigt, dass Mobility Pricing für die Beeinflussung des Verkehrsverhaltens ein mögliches Instrument ist. Diese Erfahrungen sowie das Ziel, eine effizientere Nutzung der Verkehrsinfrastruktur zu erreichen und entsprechende Möglichkeiten für die Beeinflussung des Verkehrsverhaltens zu schaffen, haben die Diskussion über Mobility Pricing in der Schweiz verstärkt.

Diese Probleme und immer knappere Finanzmittel haben die Kommission für Forschung im Strassenwesen des UVEK (Foko) veranlasst, Verkehrsfinanzierungsmodelle der Zukunft als einen Schwerpunkt der Forschungsstrategie 2004 - 2007 zu definieren. Das Forschungspaket Mobility Pricing soll die für die Schweiz relevanten Wissenslücken bezüglich Auswirkungen und Anwendbarkeit von Preiselementen für die Benützung von Verkehrsanlagen schliessen. Das Forschungspaket soll sachliche Grundlagen für die politische Diskussion liefern.

Zielsetzung ist die Klärung von Fragen, wie:

- Was kann Mobility Pricing zur Bewältigung von Verkehrsproblemen beitragen und was nicht?
- Wie wirkt sich Mobility Pricing auf das Verkehrsverhalten aus und mit welchen Modellen/Systemen und Pricing Strategien können festgelegte politische Ziele erreicht werden?
- Wozu soll Mobility Pricing eingesetzt werden, was ist wünschenswert?
- Ist Mobility Pricing in der Schweiz realisierbar und wenn ja, in welcher Form?
- Mit welchem Aufwand (Kosten, Zeit, technisch, betrieblich, gesetzgeberisch, politisch) ist Mobility Pricing verbunden?

Für die Klärung dieser Fragen ist die Abschätzung der Verkehrsverhaltensänderungen infolge von veränderten Angebotsverhältnissen bzw. der Einführung des Mobility Pricings von zentraler Bedeutung. Aus diesen Gründen haben sich einige Projekten im Rahmen dieses Forschungspakets mit den Fragen nach den Auswirkungen des Mobility Pricings auf das Verkehrsverhalten beschäftigt. Diese Projekte sollen die Grundlage für die Abschätzung von Nachfrageveränderungen bei der Einführung von Mobility Pricing bilden.

## 2 Problembeschreibung und Aufgabenstellung

Die Einführung von Mobility Pricing zwingt die Verkehrsteilnehmer sich bei ihren Entscheidungen mit einer weiteren Angebotskomponente zu beschäftigen. Welche Verhaltensänderungen stattfinden werden, ist vor allem von den Strukturen und Modellen des Mobility Pricings und der Höhe der Entgelte abhängig. Diese Wirkungen hängen darüber hinaus vom gesamten Angebotsumfeld und den soziodemographischen Eigenschaften der Verkehrsteilnehmer ab. Die bisherigen Erfahrungen mit Strassenbenutzungsgebühren – insbesondere bei privat finanzierten Infrastrukturprojekten – haben gezeigt, dass Routenwahl-, Verkehrsmittelwahl- und Abfahrtszeitveränderungen die dominierenden Effekte sind. Die langfristigen, strategischen Effekte, wie veränderte Zielwahl (z.B. veränderte Einkaufs- oder Freizeit-Zielorte), veränderte Ausstattung mit PW und ÖV-Abonnements (Mobilitätswerkzeugen) oder Wechsel von Wohnort- und Arbeitsplatz, sind weniger untersucht und damit weitgehend unbekannt.

Die Bewertung und Wirkung der Gebühren im Rahmen von Mobility Pricing sind jedoch erfahrungsgemäss nicht identisch mit der Bewertung der Treibstoffkosten. Solche Gebühren werden meist unmittelbar während der Nutzung des Netzes erhoben und sind deshalb dem Fahrer viel unmittelbarer bewusst. Sie haben entsprechend stärkere Wirkungen als zum Beispiel Veränderungen in den Fixkosten durch PW-Steuererhöhungen oder erhöhte Versicherungsprämien. Aus diesen Gründen ist das Verhalten der Verkehrsteilnehmer bei der vorgesehenen Einführung von Mobility Pricing anhand des vorhandenen Wissens nicht verlässlich abschätzbar. Da die Verhaltensreaktionen auf Angebotsveränderungen sehr stark von politischen-, räumlichen-, soziodemographischen und Verkehrsangebotscharakteristiken abhängig sind, ist eine direkte Übertragung der ausländischen Erfahrungen ebenfalls nicht zu empfehlen. Es war deshalb entsprechende neue Befragungen in der Schweiz erforderlich. Diese Befragungen in Form von Stated Response (SR) und Stated Preference (SP) Experimenten haben die Wirkung des Mobility Pricings im Kontext der anderen Kostenkomponenten, wie Fahrzeit, Umsteigezeit, etc., bei Entscheidungen (Routenwahl, Verkehrsmittelwahl, Wahl der Abfahrtszeit usw.) ausgelotet. Die generalisierten Kosten, d.h. die gewichtete Summe aus monetären Kosten, Zeitkosten und Komfortwirkungen, sind so fassbar. Die in der Befragung von den Verkehrsteilnehmern ermittelten Beurteilungen über die einzelnen Einflussfaktoren bzw. Angebotskomponenten ermöglichen es, die Zahlungsbereitschaft sowie andere Gesetzmässigkeiten und Nachfrageelastizitäten abzuleiten.

### *Aufgabenstellung*

Das Forschungspaket Mobility Pricing identifiziert als Teil seiner Modellierungsarbeiten im Bereich Modellgrundlagen und –überprüfung die Aufgabe, die Elastizitäten des Verkehrsverhaltens auf Strassengebühren, respektive die generalisierten Kosten in den folgenden Dimensionen zu ermitteln:

- Wahl der Abfahrtszeit
- Verkehrsmittel- und Routenwahl (d.h. die Wahl der *Verbindung*)
- Wahl des Parkstandorts und –typs
- Zielwahl
- Entscheidung zur Durchführung einer Fahrt
- Gesamtmenge der Fahrten und/oder gefahrenen Kilometer
- Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen (PW und ÖV-Abonnemente) und damit auch Verfügbarkeit und Kosten von Parkplätzen am Arbeitsplatz
- Wohn- und Arbeitsplatzstandort.

Die ersten fünf Dimensionen sind im Wesentlichen kurzfristige und taktische Entscheidungen, die sehr vom spezifischen Tag abhängen. Sie werden deshalb gemeinsam behandelt. Die zweite Gruppe beinhaltet langfristige und strategische Entscheidungen, die wegen ihres längeren Zeithorizonts wiederum gemeinsam betrachtet werden.

Der erste Schwerpunkt des Projekts wird auf die wesentlichen Verhaltensänderungen in Bezug auf die Verkehrsmittel- und Routenwahl und die Wahl der Abfahrtszeit gelegt. Für strategische Entscheidungen wird der zweite Schwerpunkt auf die Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen sowie die Gesamtnachfrageveränderungen gelegt.

Die Wahl des Parkplatztyps und -standorts ist in der Studie von Widmer und Vrtic, 2005 untersucht worden. Die dort geschätzten Elastizitäten und Parameter sind ausreichend, insbesondere da im Moment vor allem Mobility Pricing Systeme im Ausserortsbereich im Vordergrund stehen.

Die Zielwahl stand im Mittelpunkt der Arbeiten zum nationalen Verkehrsmodell. Die hier entwickelten Modellparameter haben sehr zufrieden stellende Ergebnisse geliefert, da sie auf gut geschätzten generalisierten Kosten der Verkehrsteilnahme beruhen. Diese werden durch die drei vorgeschlagenen Experimente aktualisiert. Daher sehen wir keinen Grund für neue Arbeiten.

Die Entscheidung über die Durchführung eines Weges ist in den Gesamtkontext eines Tages eingebettet. Stated Response Experimente zur Umstrukturierung der Kette aller Fahrten eines Tages sind möglich, würden aber wegen ihrer Komplexität den Rahmen sprengen. Darüber hinaus sind für die Umsetzung solcher Ergebnisse deutlich andere Nachfragemodelle, d.h. agenten-basierte Simulationssysteme (z.B. Meister, Frick und Axhausen, 2005), erforderlich, die noch nicht wirklich für den alltagspraktischen Einsatz verfügbar sind.

Die durchgeführten SP-Experimente konzentrieren sich deshalb auf die wesentlichen Verhaltensreaktionen der Wahl der Abfahrtszeit, der Routen-, und Verkehrsmittelwahl im Rahmen taktischer Entscheidungen und Mobilitätswerkzeuge und Wohnstandortwahl im Rahmen strategischer Entscheidungen.

### 3 Erläuterung des Arbeitprogramms

Um eine verlässliche Grundlage für die Verkehrsprognosen und die Schätzung der Nachfrageveränderungen durch Einführung von Mobility Pricing zu schaffen, wurden hier mit Hilfe von SP-Befragungen die Parameter für die Modelle der taktischen und strategischen Verhaltensänderungen einzeln geschätzt. Mit diesen Parametern wurde die Bedeutung von Mobility Pricing und anderer Einflussfaktoren wie Reisezeit, Treibstoffkosten, Umsteigehäufigkeit usw. für Verkehrsentscheidungen (Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Wahl der Abfahrtszeit) quantifiziert. Aus den Modellschätzungen wurden neben den Parametern auch die Nachfrageelastizitäten, respektive Zahlungsbereitschaften abgeleitet.

Die Methoden der Stated Preference (SP) Analyse wurden für die Verkehrsplanung aus der Marktforschung übernommen, wo sie unter dem Namen Conjoint-Analysis bekannt geworden sind. Der Schwerpunkt dieser Methoden liegt in der Quantifizierung von Wirkungszusammenhängen, die ausserhalb der Reichweite bisheriger qualitativer und quantitativer Methoden liegen (FGSV, 1995; Axhausen und Sammer, 2001). Dazu wird den Befragten eine Reihe von Situationen vorgelegt, in denen sie sich zwischen verschiedenen Alternativen entscheiden müssen. Dieses Abwägen von Alternativen entspricht weitgehend dem tatsächlichen Entscheidungsprozess im Alltag. Die Befragungsergebnisse bilden die Grundlage für die Modellierung des individuellen bzw. des aggregierten Verkehrsverhaltens.

In diesem Projekt wurde die SP-Befragung als Stated-Choice-Befragung formuliert. Die Stated-Choice-Antwortform verlangt von dem Befragten eine Entscheidung zwischen mehreren vorgegebenen Alternativen. Der Vorteil der Stated-Choice-Form ist, dass sie einfach zu verstehen ist, schnell durchgeführt werden kann und die realen Verhältnisse gut widerspiegelt. Es ist deshalb auch möglich, Alternativen mit einer relativ grossen Anzahl von Einflussgrössen zu beschreiben, ohne die Befragten zu überlasten (Axhausen, 1999).

Die Beantwortung der in der Aufgabenstellung formulierten Fragen erforderte ein Vorgehen, das neue Stated Preference (SP) Befragungen mit der Analyse von beobachtetem Verhalten (RP - Revealed Preference) kombiniert, da für zwei Fragestellungen (Routenwahl im Individualverkehr und die Gesamtelastizität der Nachfrage) sehr wenige empirische Erfahrungen zum Vergleich vorliegen.

Die Schweizer SP – Befragungen (Zeitkostensätze im Personenverkehr, Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, Verkehrsmodell für den öffentlichen Verkehr des Kantons Zürich) der letzten Jahren haben die dort vorgegebenen Preisveränderungen unerklärt gelassen. Die Ergebnisse geben deshalb zwar Hinweise auf die Grössenordnungen der Reaktionen, sind aber wegen der besonderen Form ihrer Erhebung und Umsetzung durch das Mobility Pricing erstmal nicht direkt anwendbar. Wegen der laufenden politischen Debatte war es deshalb notwendig, die SP Experimente mit einem weiteren SP Experiment zu kombinieren, in dem die Gestaltung des Mobility Pricings selber zum Thema gemacht wurde. Dies sollte den Befragten helfen ihre staatsbürgerliche Reaktion von ihrer privaten Reaktionsbereitschaft zu trennen.

Zur Erhöhung des Realitätsbezugs werden SP-Experimente heute in der Regel um einen tatsächlichen Weg, bzw. eine tatsächliche Entscheidung der Befragten herum konstruiert. Siehe zum Beispiel die IVT Studien zum Wert der Reisezeit und der Verkehrsmittelwahl (Vrtic, Axhausen, Rossera und Maggi, 2003; Vrtic, Fröhlich, Axhausen, Kern, Peret und Schulze, 2005) oder die Studie von Widmer zur Parkplatzwahl (Widmer und Vrtic, 2005). Deswegen wurden aus Qualitäts- und Kostengründen die Befragten aus einer laufenden RP-Befragung zum Verkehrsverhalten rekrutiert. Für die hier durchgeführten SP-Befragungen wurde die *Kontinuierliche Befragung Personenverkehr* (KEP) der SBB als Grundlage verwendet. Die Stichprobe wurde so gewählt, dass alle fahrtzweckspezifischen Teilstichproben hinsichtlich der wesentlichen soziodemographischen und verkehrlichen Merkmale der Grundgesamtheit repräsentativ sind.

### *Struktur der SP Studie*

Wie oben erwähnt, ist es sinnvoll, den Hintergrund der Studie den Befragten gegenüber nicht zu verleugnen. Um die staatsbürgerliche Reaktion von der privaten möglichst zu trennen, wurde neben den SP-Experimenten zum Verkehrsverhalten (SP2, SP3 und SP4) ein weiteres SP-Experiment (SP1) durchgeführt. Der Inhalt dieses SPs ist Auswahl eines Preissystems zur Deckung der laufenden Kosten und der Steuerung der Verkehrsmengen. Es informiert den Befragten über den sachlichen Hintergrund der anstehenden politischen Entscheidung und gibt ihnen die Möglichkeit, ihr politisches Urteil zu äussern.

Nach diesem Experiment sollte es den Befragten leichter fallen, ihre Antworten auf die folgenden SP Experimente zum Verkehrsverhalten ohne politisch strategische Absichten zu formulieren, d.h. sie sollten sich leichter auf ihre persönliche verkehrliche Reaktion konzentrieren können. Darüber hinaus sollten die Antworten gewisse Hinweise auf die

politische Akzeptanz des Mobility Pricings geben, die jedoch wegen der Einfachheit des Befragungsansatzes mit äusserster Vorsicht zu verwenden sind.

Auf der Grundlage der berichteten Wege wurden drei verschiedene SP Experimente zu taktischen Entscheidungen entwickelt und schriftlich postalisch durchgeführt:

- Wahl der Abfahrtszeit und Routenwahl im Strassenverkehr für MIV- Nutzer (SP2)
- Wahl der Abfahrtszeit und des Verkehrsmittels (SP3)
- Verkehrsmittel- und Routenwahl (SP4)

Die Experimente zu längerfristig wirksamen Entscheidungen (strategische Entscheidungen) wurden mit Betreuung eines Interviewers durchgeführt, da es sich hier um eine computer-gestützte interaktive Befragung handelt.

Im ersten Teil des Interviews wurden die Wirkungen des gewählten Preissystems bei Beibehaltung des heutigen Verhaltens sorgfältig ermittelt, so dass der Befragte eine gute Ausgangsbasis für seine späteren Antworten hatte. Dazu wurden die persönlichen Charakteristika der Befragten (wie z.B. Mobilitätswerkzeug-Besitz, Einkommen, Jahresfahrleistung, etc.) erhoben.

Für alle Befragten wurde ein erstes SP-Experiment (SP5) durchgeführt, in dem sie ihren Satz an Mobilitätswerkzeugen, d.h. PW und Abonnementsbesitz, bei gleich bleibendem Wohnsitz, aber neuen Nutzungskosten des Strassennetzes überprüfen können.

Als zweites Experiment erhielten die Befragten eines der folgenden:

- Mobilitätswerkzeugbesitz und PW-Nutzung nach Einführung eines Mobility Pricing Systems in Form eines Fahrtemodells (SP6)
- Wahl des Wohnstandorts und des Mobilitätswerkzeugsbesitzes nach Einführung eines Mobility Pricing Systems (SP7)

Der Test des Fahrtenmodells diente der Abschätzung der Elastizität der Gesamtnachfrage und kann so auch Antwort auf die Unterdrückung von Fahrten geben. Das zweite Experiment greift auf die erfolgreichen Erfahrungen im Rahmen des Projektes Mobiplan zurück (siehe Axhausen, Scott, König und Jürgens, 2004) und erlaubt uns, Aussagen über entsprechende langfristige Wirkungen zu machen.

Die ausgefüllten Fragebögen wurden in einem weiteren Schritt kodiert, deskriptiv ausgewertet und plausibilisiert. Die SP-Datensätze wurden durch die soziodemographischen Daten aus der



RP-Befragung ergänzt. Für die Schätzung der Modellparameter wurde die Software BIOGEME verwendet, die sich durch grosse Flexibilität und vielfältige Anwendungsmöglichkeiten auszeichnet (siehe auch <http://transp-or.epfl.ch/page63023.html>) und vom Projektpartner Dr. M. Bierlaire entwickelt wurde.

Die ermittelten Modellparameter sind die Grundlage für die Anwendungsszenarien und für die Schätzung von Nachfrageveränderungen. Diese zeigen den Beitrag des einzelnen Einflussfaktors am gesamten Nutzen bzw. an den generalisierten Kosten. Aus den berechneten Nutzenveränderungen, die durch die Einführung des Mobility Pricing verursacht werden, konnten anhand der geschätzten Modellparameter die Veränderungen im Verkehrsverhalten bzw. bei den Entscheidungen abgeschätzt werden. Weiter wurde die Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaft von Kostenhöhe und Reisezeit geprüft.

Anhand der berechneten Modellparameter sowie des Mittelwertes der Einflussgrössen und der Verkehrsmittelwahlanteile können darüber hinaus die Nachfrageelastizitäten (direkte und Kreuzelastizitäten) für jeden einzelnen Einflussfaktor, einschliesslich des Mobility Pricings, berechnet werden. Damit können Anwendungsszenarien und Schätzungen von Nachfrageauswirkungen sowohl mit Modellparametern als auch mit Nachfrageelastizitäten durchgeführt werden. Wegen der methodischen Grenzen der Nachfrageelastizitäten (siehe Vrtic, Meyer-Rühle, Rommerskirchen, Cerwenka und Stobbe, 2000) werden diese nur für eine erste grobe Abschätzung empfohlen. Genauere Berechnungen der Nachfrageveränderungen müssen mit geeigneten Modellen unter Anwendung der Modellparameter durchgeführt werden.

In einem weiteren Schritt wurden die aus SP-Befragungen geschätzten Routenwahlmodelle durch die Schätzung von Revealed Preference Modellen (tatsächlich durchgeführte Wege) überprüft. Die RP-Daten zur Routenwahl wurden im Rahmen der KEP-Befragungen für die Erstellung der SP-Situationen erhoben. Diese Schätzungen helfen die vorhandenen Umlegungsmodelle weiter zu verbessern, da sie Aussagen zur relativen Attraktivität verschiedener Strassenkategorien machen werden.

Anhand der RP-Daten wurden auch die Elastizitäten der Gesamtnachfrage (gefährte Kilometer; Kilometer im Verkehr) geschätzt. Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurden die vorhandenen Daten zu Verkehrsnachfrage und Reisekosten gesammelt und entsprechende vertiefte Schätzungen vorgenommen.

Der Bericht ist entsprechend dieser Arbeitsschritte wie folgt strukturiert:

- Literaturanalyse zum Road Pricing
- Entwurf und Durchführung der SP-Befragungen
- Modellschätzungen und die Ergebnisse der taktischen SP-Befragung (Modellparameter, Elastizitäten, Zahlungsbereitschaft usw.)
- Modellschätzungen und die Ergebnisse der strategischen SP-Befragung
- RP-Schätzungen zum Routenwahlverhalten und Elastizitäten der Gesamtnachfrage
- Anwendungsbeispiel und Empfehlungen für die Anwendung

## 4 Literaturanalyse: Road Pricing Modellen im Ausland (Nachfrageeffekte)

Versuche über gezielte Steuerung der Preisstruktur Änderungen der Verkehrsnachfrage zu evozieren wurden schon in verschiedenster Art und Weise unternommen. Der Übersichtlichkeit halber wird in dieser Literaturanalyse zwischen drei Gruppen von Mobility Pricing unterschieden.

1. Gebietslizenzen
2. Bemaunung einzelner Strassen
3. Bemaunung einzelner Spuren

Dabei werden nur Road Pricing Massnahmen vorgestellt, zu denen die Literatur eine klare Aussage bezüglich Elastizität oder zumindest Veränderungen der Nachfrage macht.

### 4.1 Gebietslizenzen

#### 4.1.1 Singapur

Bereits 1975 wurden in Singapur die PW-Fahrten zur morgendlichen Hauptverkehrszeit in den inneren Stadtbereich über eine zeitlich beschränkte Gebietslizenz bemaunet. Bezüglich der politischen Akzeptanz ist zu sagen, dass damals der PW-Besitz in Singapur bei rund 6.3% lag (Schweiz rund 33.8%) und das politische System auch heute kaum mit dem der Schweiz vergleichbar ist.

Bei Einführung betragen die Gebühren S \$3 oder monatlich S \$60, was 5% des damaligen monatlichen Einkommens entsprach. (Vergleich: CH heute 473.-/mt.). Um die Wirkung der Massnahme zu analysieren, wurden drei Monate vor und drei Monate nach der Umsetzung erhobene Kennzahlen verglichen.

Die anfänglich zwischen 7.30h und 9.30h festgelegte Zeitperiode musste aufgrund von Stauwirkungen unmittelbar nach 9.30h auf 10.15h verlängert werden. Der in das Gebiet hineinfahrende Verkehr sank um 44%, bezogen auf den Personenwagenverkehr gar um 73%. Es konnten vor allem Umlagerungen auf Fahrzeuge mit 4 und mehr Passagieren (maunbefreit), Busse sowie Änderungen bezüglich der Wahl der Abfahrtszeit festgestellt werden.

Dabei konnte gezeigt werden, dass die verschiedenen Arten des motorisierten Individualverkehrs unterschiedlich auf Preisänderungen reagieren. Weiter macht es einen Unterschied, ob Gebühren als Gebietslizenz oder für einzelne Strecken erhoben werden. Personenwagen scheinen dabei stärker auf Veränderungen der Kosten zu reagieren (-0.11 für Gebietslizenz; -0.20 für Schnellstrassen) wie z.B. Kleinlastwagen (-0.02 resp. -0.04).

Weiter unterscheiden sich die beobachteten Elastizitäten je nach Zeitperiode: Für den PW-Verkehr der Abendspitze beträgt die Elastizität -0.32, morgens aber -0.11. Pendlerwege zum Arbeitsplatz hin scheinen also weniger flexibel geplant werden zu können.

Der Anteil der PW-Fahrer, welche in den bemauteuten Zonen arbeiten und vor 7.30h mautfrei zur Arbeit fahren erhöhte sich von 28% auf 42%. Dieser Effekt zeigte sich für 5% der Verkehrsverminderung während der Gebührezeiten verantwortlich. Die Verkehrsmenge am mautfreien Abend sank um 3% bis 4%.

Ein Ziel solcher Massnahmen ist immer das Erreichen einer Geschwindigkeitserhöhung. Die Geschwindigkeit stieg 20% innerhalb des bemauteuten Gebietes und 10% auf den zuführenden Strassen konnte dieses erreicht werden. Indes sank aufgrund von Umfahrungseffekten die Geschwindigkeit auf tangentialen Routen jedoch um rund 20%.

Die Tür-zu-Tür Reisezeiten im morgendlichen öffentlichen Pendelverkehr änderten sich mit der Einführung der Gebietslizenz nicht merklich. Als Grund dafür wird primär das dazumal ungenügende ÖV-Angebote erwähnt.

1988 wurde die Bemauteung auch auf die abendliche Spitzenstunden ausgeweitet. In Folge nahm der einfahrende Verkehr um 54%, der ausfahrende um 34% ab.

### *Elastizitäten*

Die Gebührlizenz, Park- und Autobetriebskosten berücksichtigenden Elastizitätsberechnungen, welche private und geschäftliche Fahrten berücksichtigten, führten zum Wert von -2.95, welcher besagt, dass ein Zuschlag um 10% der bisherigen Kosten zu einem Verkehrsrückgang von knapp 30% führt. Bei späteren Preisänderungen ergaben Elastizitätsberechnungen, welche nur die Kostenkomponente der Maut umfassten, Werte im Bereich von -0.33 (TRB, 2003). Allerdings werden die zur Berechnung der Elastizitäten gemachten Annahmen, insbesondere über die Quantifizierung der Kosten vor und nach der

Einführung, nicht genügend detailliert erläutert. Je nach Berücksichtigung von Zeit- und übrigen Fahrtkosten können die Werte beträchtlich weit auseinander liegen.

Verschiedene Anpassungen der Gebühren gaben Olszewski und Xie (2005) die Möglichkeit vertiefte Elastizitätsuntersuchungen durchzuführen. Tabelle 4 legt die Veränderungen der Verkehrsnachfrage infolge Änderungen der erhobenen Gebühren dar. Die Elastizitäten wurden nach folgender Formel berechnet:

$$E_A = \frac{Q_2 - Q_1}{P_2 - P_1} \cdot \frac{0.5(P_2 + P_1)}{0.5(Q_2 + Q_1)}$$

Tabelle 4 Nachfrage und Gebühren für Gebietslizenzen in Singapur

Ereignis	Zeit	Preis 1	Preis 2	V.Menge 1	V.Menge 2	Elast.
Einführung (1975)	7:30-10:15	0	3	427910	11459	-0.578
Gebüherhöhung (1976)	7:30-10:15	3	4	12106	10754	-0.237
Gebührensenkung (1989)	7:30-10:15	5	3	19026	20963	-0.194
Abendgebühr (1989)	16:30-18:00	0	3	18960	8374	-0.387
Mittagsgebühr(1994)	10:15-16:30	0	2	72313	55514	-0.131

Quelle: P. Olszewski und X. Litian (2002)

Es zeigt sich, dass sich die Elastizitäten über die Jahre verringern. Polak et al. (1994) bemerken dazu, dass der reale Preis über die Jahre wesentlich gesunken ist. So betrug die Gebühr 1975 rund 14% des täglichen Lohnes, 1993 jedoch nur noch 5%.

Die Verfügbarkeit der jährlichen Verkehrsmengen machte es möglich deren Abhängigkeiten von exogenen Variablen zu modellieren. Dabei zeigten sich Gebühren, PW-Besitz, Einkommen, und Preise für Parkplätze als signifikante Einflussgrößen. Folgende zwei Modellformulierungen wurden verwendet:

$$L(Q_{AMt}) = \beta_0 + \sum_i \beta_i \ln(X_{it}) + \beta_Q \ln(Q_{AMt-1}) + \varepsilon_t$$

Wobei:  $Q_{AMt}$  die im Jahr t morgens in den Mautring einfahrende Verkehrsmenge ist,  
 $X_t$  den Vektor der erklärenden Variablen im Jahr t darstellt,  
 $\beta$  der Vektor der Modelkoeffizienten ist  
 und  $\varepsilon_t$  ist ein (möglicherweise korrelierter) Fehlerterm.

Das zweite Modell formuliert sich ähnlich wie das erste, aber ohne Verzögerungsvariable  $Q_{Amt-1}$ .

$$\ln(Q_{AMt}) = \beta_0 + \sum_i \beta_i \ln(X_{it}) + \varepsilon_t$$

Tabelle 5 listet die mit den oben genannten Modellformulierungen gemachten Parameterschätzungen auf. Im Wissen um die Kolinearität der Variablen Anzahl Personenwagen und Einkommen wurden keine Modelle mit beiden Variablen geschätzt.

Die Verzögerungsvariable lässt annehmen, dass im ersten Jahr nach der Anpassung der Gebühren rund 70% des Gesamtwirkung eintritt. Weiter zeigt sich, dass Park- und Mautgebühren ähnlichen Einfluss auf die Verkehrsmenge haben und das Einkommen resp. die Anzahl PW erwartungsgemäss starkes Erklärungspotential bieten.

Tabelle 5 Modellschätzungen Zeitserie Singapur (Werte in Klammern: t-Statistik)

Modell	Gleichung 1-1	Gleichung 1-2	Gleichung 2-1	Gleichung 2-2
Constant	0.896 (1.1)	5.142 (5.4)	0.196 (0.2)	7.445 (26.3)
$Q_{Amt-1}$	0.324 (2.0)	0.294 (2.2)		
Maut	-0.361 (-4.3)	-0.214 (-2.9)	-0.335 (-3.8)	-0.288 (-3.9)
Parkkosten	-0.410 (-3.1)	-0.224 (-2.2)	-0.412 (-2.5)	-0.236 (-1.8)
Anz. PW	0.549 (3.8)		0.859 (9.7)	
Einkommen (BIP)		0.432 (5.0)		0.553 (11.8)
N	18	18	19	19
<i>R-quadrat</i>	0.961	0.969	0.949	0.964
<i>F-Statistik</i>	106.1	133.9	113.3	161.1

Quelle: P. Olszewski und X. Litian (2002)

Auf Basis der Gebührensenkung (S\$ 0.50 für alle Zeitfenster) von 1998 wurde analysiert, ob bezüglich der Tageszeit differenzierte Elastizitäten nachweisbar sind. Es zeigte sich wiederum, dass sich abends die grösseren Effekte (Werte zwischen -0.324 und -0.189) abzeichnen, wohingegen morgens (-0.106) die Wirkung von Gebühren am geringsten ausfällt.

1999 wurden zusätzlich zur Einführung eines elektronischen Mautsystems auch drei zur Stadt führende Schnellstrassen sowie drei radiale Hauptverkehrsstrassen bemautet. Für diese Strassen wurde ein gewünschtes Geschwindigkeitsband definiert (Schnellstrassen 45-60km/h, Radialstrassen 20-30 km/h). Sank die Geschwindigkeit darunter wurden die Gebühren erhöht, und umgekehrt. Dies ergab die Möglichkeit auch Elastizitäten infolge Gebührenerhebung für einzelne Strassen zu berechnen, welche in Tabelle 6 aufgelistet sind.

Tabelle 6 Modellschätzungen Zeitserie Singapur

Strassentyp (Ereignis)		Fahrzeugtyp	Preis 1 [S\$]	Preis 2 [S\$]	Vol. 1	Vol. 2	Elast.
Radial	Elektronische Bemautung ab Sept. 1999	PW	0.00	0.5	12399	9186	-0.149
		andere	0.00	0.33	10007	7850	-0.121
		alle	0.00	0.42	22406	7036	-0.136
Schnellstrasse	Elektronische Bemautung ab Sept. 1999	PW	0.00	1.43	15019	9688	-0.216
		andere	0.00	0.9	12661	8195	-0.214
		alle	0.00	1.18	27680	17883	-0.215
	Anpassung der Gebühren Okt. 1999	PW	1.43	1.01	9688	10365	-0.195
		andere	0.9	0.59	8195	8525	-0.097
	alle	1.18	0.82	18890	18890	-0.151	

Quelle: P. Olszewski und X. Litian (2002)

Die Nachfrage auf Schnellstrassen erweist sich elastischer, was sicher zu einem grossen Anteil auf die Verfügbarkeit verschiedener Alternativrouten und somit der damit einhergehenden höheren Flexibilität zurückzuführen ist.

#### 4.1.2 London

Seit dem 17. Februar 2003 werden in London unter dem Namen ‚Congestion Charge‘ für die Einfahrt in das durch den inneren Ring begrenzte Gebiet zwischen 7:00 und 18:30 Gebühren erhoben. Das Gebiet beträgt 21 km<sup>2</sup>, was 1.3% der Fläche von Greater London entspricht und ist über 174 Ein- und Ausgänge erreichbar. Die Gebühr betrug bis zum 7 Juli 2005 5£, danach 8£. Parallel dazu wurde das Angebot der öffentlichen Verkehrsmittel bereits ein Jahr vor Einführung mit 19% zusätzlichen Bussen ausgebaut.

Umfangreiche Verkehrsdatenerhebungen haben ergeben, dass einerseits die Durchschnittsgeschwindigkeit innerhalb der bemauteuten Zone um 21% von 12 km/h auf 17 km/h angestiegen ist. Andererseits sank die von Transport for London definierte Staukennzahl, welche als Differenz von der mittleren Netzreiserate zwischen freiem und stauendem Verkehrsfluss angegeben ist, von 4.2 auf 3.5 min/km (-17%). Die Anzahl einfahrenden PW sank um 16% wobei die Anzahl der Motorräder (19%), Taxis(19%) und Busse (16%) im gleichen Rahmen zunahm; insgesamt verringerte sich der Verkehr um 15%, was im oberen Bereich der Erwartungen (10-15%) lag. Daneben sank die Reisezeit von Wegen mit Ziel ‚Central London‘ um 13%, wie eine Auswertung von über 5'000 Wegen ergab. (TfL, 2003 a)

Die Anzahl der Busspassagiere stieg während der Morgenspitze mit 14'000 zusätzlichen Pendlern im erwarteten Rahmen während die U-Bahn aber überraschenderweise Passagiere verlor. Dies dürfte auf die temporäre Schliessung der ‚Central Line‘, aber auch auf das Abschwächen der Wirtschaft infolge des Irakkriegs zurückzuführen sein.

Aufgrund der Topologie der bemauteuten Zone, welche von einem nicht bemauteuten Ring umgeben ist, nahm der Verkehr auf diesem Ring, wie erwartet, um 4% zu. Aufgrund einiger verkehrstechnischer Anpassungen, beispielsweise einer moderaten Umschichtung der Grünzeiten, konnten aber erreicht werden, dass auf diesem Abschnitt sogar ein leicht geringeres Stauniveau festgestellt werden konnte.

Santos und Shaffer (2004) ermittelten Preiselastizitäten für den Fall London, anders als viele andere Arbeiten, mit Berücksichtigung generalisierter Kosten, welche sowohl die monetären Reise- als auch Zeitkosten umfassen. Die Reisekosten setzen sich dabei aus fixen und variablen Kosten, wie sie der U.K. Automobile Association (AA) angibt und der Maut zusammen. Die Zeitkosten wurden aus der Value of Travel Time Saving (VTTS) Studie von Mackie et al. (2003) übernommen, welche für verschiedene Verkehrszwecke und Einkommen, basierend auf stated preference Befragungen, entsprechende Werte angibt. Zur korrekten Berücksichtigung der Kostenseite wurden aus verschiedenen Studien durchschnittliche Werte zu Besetzungsgrad, Reisedistanz und Wertschätzung der Verlässlichkeit berücksichtigt. Die Nachfrageseite wurde über die Veränderung des in die Zonen einfahrenden Verkehrs beschrieben. Dabei wurden die Verkehrsmengen vor und nach der Einführung der Maut verglichen. Daraus ergeben sich mit und ohne Berücksichtigung der fixen Kosten eines Personenwagens kurzfristige Elastizitäten von -2.1 sowie -1.3.



Wie bereits oben erwähnt, wird, wohl auch mangels entsprechender Daten, in den meisten Studien zur Ermittlung der Elastizitäten die Kostenseite auf die effektiv geänderten Kosten, in unserem Fall also der Maut, beschränkt. Um aber dennoch einen Vergleich vorzunehmen, kann man näherungsweise davon ausgehen, dass der Anteil der neuen oder veränderten Maut an die Elastizität proportional zum Verhältnis der Maut an die generalisierten Kosten ist.

Geht man für London von einem Anteil des Treibstoffs von 8-16 % der generalisierten Kosten aus, ergibt sich ein Werteband der Elastizität vom -0.17 bis -0.34 was den angegebenen Werten für die Londoner Maut entspricht.

Andererseits kann man mit den für London verfügbaren Daten auch Elastizitäten mittels der für Singapur verwendeten Methodik, welche auf der Kostenseite nur die effektiv veränderten Preiselemente berücksichtigt, berechnen. Der so ermittelte Wert von -0.19 liegt im Bereich der in Singapur gemachten Erfahrungen.

Die hohen Werte der Elastizitäten in London und Singapur sind immer auch unter Berücksichtigung der breiten Verfügbarkeit von Alternativen in Form des öffentlichen Verkehrs zu deuten.

#### 4.1.3 Stockholm

Zwischen dem 1. Januar und 31. Juli 2006 wurde in einem Pilotversuch für die Ein- und Ausfahrt in die Kernstadt von Stockholm eine von der Tageszeit abhängige Gebühr von 10 bis 20 SEK (Tabelle 7) erhoben. Maximal bezahlt ein Fahrzeug pro Tag 60 SEK. Im September entscheidet dann die Bevölkerung der Gemeinde Stockholm über eine Weiterführung des Cordon Pricings. Die Versuchsphase begleitete eine breit angelegte Überwachung der Auswirkungen, welche Änderungen bezüglich Verkehrsmengen, -und Fluss, Reisezeiten und Immissionen sowie Akzeptanz und ökonomische Aspekte aufzuzeichnen versucht.

Tabelle 7 Zeitabhängige Gebühren in Stockholm

Zeitfenster	Gebühr (SEK)	in CHF (Kurs 100 SEK = 17 CHF)
06:30 – 06:59	10	1.7
07:00 – 07:29	15	2.6
07:30 – 08:29	20	3.4
08:30 – 08:59	15	2.6
09:00 – 15:29	10	1.7
15:30 – 15:59	15	2.6
16:00 – 17:29	20	3.4
17:30 – 17:59	15	2.6
18:00 – 18:29	10	1.7

Quelle: Swedish Road Administration Vägverket (2005)

Der Vergleich der Verkehrsmengen zwischen Januar und Mai mit den Vorjahresmonaten zeigt eine Abnahme zwischen 28 und 22% wobei sich die Werte bei 22% einpendeln. Auf der Nord-Süd tangentialen, nicht bemauteeten ‚Essingeleden‘ erhöhte sich die Verkehrsmenge weniger stark als erwartet um 1-4%. Hingegen verzeichnete das 2004 erbaute, Ost-West Tunnelsystem ‚Södra länken‘ eine Nachfragesteigerung von rund 20%. Da die Nachfrage für diesen Strassenabschnitt aber bereits während dem Jahr zuvor stets gewachsen ist, lässt sich nicht definitiv sagen wie viel auf die neu eingeführte Maut zurückzuführen ist.

Die geringeren Verkehrsmengen resultieren in geringeren Reise- und Stauzeiten. Im Schnitt verbrachten die Verkehrsteilnehmer 30 bis 50% weniger Zeit im Stau.

Die relative Reduktion der Verkehrsnachfrage ist über den Tagesverlauf trotz zeitabhängiger Maut beinahe gleich gross, obgleich der abendliche Verkehr etwas mehr abnahm. Insgesamt ergaben sich aber aufgrund veränderter Wahl der Abfahrzeit kaum Umlagerungseffekte. Die Verkehrsabnahme am Abend ist wohl eher auf die während des Tages unterdrückten Fahrten zurückzuführen.

Die Frage wie sich die Verkehrsnachfrage genau umgelagert hat, lässt sich noch nicht genau beantworten. Es ist aber klar, dass verschiedenen Mechanismen eine Rolle spielen: Der ÖV verzeichnete, je nach Linie, einen Fahrgastzuwachs von 6 bis 14%, was etwa die Hälfte der Veränderung erklärt. Veränderungen bezüglich Routen- und Zielwahl sowie verbesserter

Wegekettten trugen ebenfalls zu dem höher als erwarteten Rückgang der Verkehrsnachfrage bei.

Weiter wurden auch mögliche Veränderungen verkehrlicher Externalitäten untersucht. Um ein definitive Aussage zum Unfallgeschehen zu machen ist es zwar noch zu früh, tendenziell nahm das Unfallgeschehen aber ab. Die verhinderten Fahrten führen auch zu einem geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstos, obschon dies aber nur ein kleiner Schritt im Rahmen der nationalen Klimapolitik sein kann. Auch die Lärmemissionen nahmen ab, wenngleich die Abnahmen von 1 bis 2 dBA kaum wahrgenommen werden können.

Politisch interessant erscheint die Veränderung der Akzeptanz der Road Pricing Massnahme im Volk. Während vor der Einführung von 54% sich dagegen aussprachen unterstützten im Mai 51% ein solches Verkehrskonzept.

Die Kosten-Nutzenanalyse der zuständigen Behörde, welche auf der Nutzen Seite Gewinne bezüglich Reisezeit, Verlässlichkeit, Sicherheit und Umwelt berücksichtigt, schätzt, dass die Investitionskosten von rund 340 Millionen CHF und rund 187 Millionen CHF entgangener Opportunitätskosten innert vier Jahren amortisiert sind.

Aussagen zu den beobachteten Elastizitäten liegen von den Schwedischen Behörden noch nicht vor. Diese dürften aber leicht höher als für den Fall London zu liegen kommen, zumal die Maut in Stockholm geringer ist, die Nachfrage aber stärker zurückging. Unterschiede bezüglich Zeitgewinn und Treibstoffkosten sind dabei aber ebenso relevante Einflussfaktoren.

#### 4.1.4 Norwegen

Anders als in den obgenannten Städten sollen die Road Pricing Massnahmen in Norwegen eher als Instrumente der Strassenbaufinanzierung denn als Verkehrslenkung funktionieren. Daher sind die zu bezahlenden Gebühren im Vergleich eher niedrig.

##### *Bergen*

1986 wurde in Bergen damit begonnen die Einfahrt in die Innenstadt zu bemaute. 1994 betrug die Gebühr tagsüber NOK 5 (rund CHF 1), in den Nebenzeiten und am Wochenende wurde keine Gebühr erhoben. Trotz der geringen Gebühr nahm der einfahrende Verkehr während dem Betrieb um 6 bis 7 Prozent ab, erhöhte sich aber in den anderen Zeiten um 10%.

Heute beträgt die Gebühr NOK 15, also rund CHF 3, zu den Nebenzeiten werden keine Gebühren erhoben.

#### *Oslo*

In Oslo wurde 1990 ein Cordon eingeführt, Gebühren werden rund um die Uhr erhoben. Die anfänglich eingeführte Gebühr von NOK 11 (rund CHF 2) hatte nur einen geringen Einfluss auf die Nachfrage, welche um 5 % sank, um nach 3 Monaten wieder auf dasselbe Niveau wie vor der Einführung anzusteigen. Die geringen Nachfrageveränderungen dürfen vor allem auf zwei Punkte zurückzuführen sein: Einerseits gewährt das Monats-/ Jahresabonnement beträchtliche Preisnachlässe, andererseits übernahmen Arbeitgeber durch die Ausgabe von solchen Dauerkarten rund ein Drittel der Kosten. Heute beträgt die Gebühr NOK 20 (rund CHF 4).

#### *Trondheim*

1991 wurde in Trondheim zunächst die Einfahrt in die Innenstadt bemaute. Aufgrund der öffentlichen Meinung, welche das System als unfair erachtete, wurde dieses um sechs zusätzliche Gebiete erweitert. Zu Beginn betrug die Maut für einzelne Durchfahrten 10 NOK. Besitzer eines Abonnements bezahlten je nach Anzahl der im voraus bezahlter Fahrten zwischen 6 und 8 NOK für eine Durchfahrt zwischen 6:00 und 10:00, respektive 4 und 6 NOK zwischen 10:00 und 17. Nach 17:00 und am Wochenende war die Fahrt freie Fahrt. Heute beträgt die Gebühr NOK 15 (CHF 3) und wird von wochentags von 6 bis 18 Uhr erhoben.

Eine Befragung nach der Einführung 1991 ergab, dass 20% der Pendler mit geändertem Verhalten bei der Wahl der Abfahrtszeit oder des Verkehrsmittels auf die Einführung der Gebühren reagiert haben. Der Anteil der Pendler die für den Weg zur Arbeit komplett auf den PW verzichteten nahm nur leicht zu (von 5 auf 7%), allerdings erhöhte sich die Quote der Personen die zumindest an einigen Tagen andere Verkehrsmittel berücksichtigten von 63% auf 93%. Bezüglich des Einkaufsverkehrs berichteten 45% der Befragten Anpassungen der Abfahrtszeit, Zielwahl oder Häufigkeit der Einkaufswege. Insgesamt sank die Verkehrsmenge während den Betriebszeiten um 10% , stieg aber in den unbemaute Perioden um 9% an.

Vor und nach der Einführung der Maut wurden Befragungen zum Verkehrsverhalten durchgeführt. Danach errechneten Polak und Meland (1994) für eine über die verschiedenen Zahlungsmethoden gemittelte Elastizität der Fahrtennachfrage in die nun bemaute Zone für

die Morgenspitze von -0.30, für den ganzen Tag von -0.10 aus. Weiter zeigte sich eine positive Kreuzelastizität der Nachfrage ausserhalb der bemauteuten Zeiten von +0.26.

## 4.2 Bemauteung einzelner Strassenabschnitte

### 4.2.1 New York

Der Hudson River bildet eine natürliche Grenze zwischen den einzelnen Stadgebieten New Yorks, welche mit teilweise bemauteuten Brücken oder Tunnels untereinander verbunden sind. Anhand von Daten zu Änderungen der Maut, BIP; Beschäftigungszahlen, Anzahl eingelöster Fahrzeuge, Treibstoffpreisen und Preisen des öffentlichen Verkehrs in den 80er Jahren schätzten Hirschman, McKnight, Pucher, Paaswell und Berechman (1995) mittels multipler Regression den Einfluss der einzelnen Variablen auf die Nutzung der bemauteuten Strassenabschnitte.

Es zeigte sich, dass die Nachfrage je nach Strecke unterschiedlich auf Änderung der Variablen reagiert. Strassenabschnitte mit mautfreien Alternativen erwiesen sich erwartungsgemäss als am preissensitivsten. Die Preiselastizitäten bewegten sich zwischen -0.07 und -0.5 mit einem Median von -0.1. Lastwagen reagierten im allgemeinen etwas deutlicher auf Preisänderungen, blieben aber ebenfalls immer im unelastischen Bereich.

Grösseren Einfluss als die Preise übten aber Veränderungen bezüglich Arbeitsplatzzahlen der angebunden Bezirke (Koeffizienten zwischen 0.55 und 1.61) sowie die Anzahl eingelöster Fahrzeuge aus (0.47 – 1.89). Ein signifikanter Einfluss von Treibstoffkosten und Fahrkartenpreisen des öffentlichen Verkehrs konnte, wohl auch aufgrund von Kolinearitäten, nicht nachgewiesen werden.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Reaktion auf veränderte Strassengebühren vor allem vom Angebot alternativer Routen, den Erwartungen des Fahrers, der Höhe der Strassengebühr, der Stauhäufigkeit, dem Einkommen, der Landnutzung und der Tageszeit abhängen.

#### 4.2.2 Spanien

Matas und Raymond (2003) untersuchten für die 18 jährige Zeitperiode von 1981-1998 Nachfrageelastizitäten auf Mautstrassen in Spanien. Neben der Veränderung der Maut berücksichtigt die Zeitreihenanalyse BIP, Treibstoffkosten sowie das Angebot alternativer Routen. Weiter wurde in der Modellformulierung auch die Reaktionszeit auf Änderungen berücksichtigt.

Alle obgenannten Variablen zeigten sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $<0.05$  als signifikant, 87% der Reaktionen stellten sich innert den ersten zwei Jahren ein.

Am stärksten reagiert die Nachfrage auf BIP Änderungen, der entsprechende Parameter beträgt 0.89.

Die mautbedingten Nachfrageelastizitäten bewegten sich im Bereich von -0.21 und -0.88, wobei die 57 der 62 untersuchten Strecken im Bereich bis -0.41 liegen. Die Unterschiede begründen sich mit dem Angebot alternativer Strecken: Hohe Geschwindigkeiten und ein geringer LKW-Anteil auf den Ausweichrouten verkleinern die Elastizität. Weiter wurde auch festgestellt, dass die Nachfrage auf langen Strecken, wo die zu bezahlende Gebührensumme hohe Wert annimmt, preissensitiver reagiert, was auf eine nicht lineare Elastizitätsfunktion schliessen lässt. Daneben zeigt sich die Nachfrage auf Strecken mit starkem touristischem Verkehr, wohl aufgrund mangelnder Ortskenntnisse über alternative Routen, weniger elastisch.

Die treibstoffpreisbedingte Veränderung der Nachfrage beträgt -0.31 und liegt dabei im Bereich der Auswirkungen einer Mauterhöhung.

#### 4.2.3 Weitere Studien

In Tabelle 8 sind für weitere, hier nicht näher zu erläuternde Studien die entsprechenden Nachfrageelastizitäten angegeben. Es handelt sich dabei jeweils um Angaben direkter Nachfrageelastizitäten ohne Berücksichtigung generalisierter Kosten. Die Werte liegen im Bereich der oben vorgestellten Studien zwischen -0.1 und -0.5.

Tabelle 8 Überblick Nachfrageelastizitäten einzelner Strassenabschnitte in der Literatur

Wuestefeld und Regan (1981)	Strassen: -0.03 bis -0.3 Brücken: -0.15 and -0.31 Schnitt : -0.21	16 bemaute Abschnitte (Strassen, Brücken, and Tunnels)
White (1984), in Oum et al. (1992)	Spitzenstunden: -0.21 and - 0.36 Randzeiten: -0.14 and - 0.29	Brücke in Southampton, England
Goodwin (1988) in May (1992)	Mittelwert: -0.45	Literaturanalyse einiger bisheriger Studien
Ribas, Raymond, und Matas (1988)	Zwischen -0.15 und -0.48	Autobahnen in Spanien
Jones and Hervik (1992)	Oslo -0.22, Alesund -0.45	Gebietslizenzen in Norwegen
Harvey (1994)	Brücken: -0.05 bis -0.15 Strassen -0.10	Golden Gate Bridge, San Francisco Bay Bridge, und Everett Turnpike in New Hampshire (USA)
Hirschman, McNight, Paaswell, Pucher, and Berechman (1995)	Zwischen -0.09 und -0.50 Mittelwert -0.25	Sechs Brücken and zwei Tunnels in New York
INRETS (1997), in TRACE (1998)	Zwischen -0.22 and -0.35	Autobahnen in Frankreich, Wege > 100km
Lawley Publications (2000)	-0.20	New Jersey Turnpike, USA
Burris, Cain, und Pendyala (2001)	Randzeitenelastizität -0.03 und -0.36	Lee County, Florida, USA

### 4.3 Bemaute einzelner Spuren

Die Bemaute einzelner Spuren, auch Value Pricing genannt, wurde bisher nur in den USA umgesetzt. Gegen eine Gebühr kann dabei eine separate Spur benutzt werden, auf der der Verkehr schneller fließt. Da weitere Spuren kostenlos benutzt werden können, bieten solche Systeme immer eine direkte Alternative zu den bemaute Strecken an, was für die anderen Road Pricing Alternativen so nicht immer vorliegt. Daher sind für solche Systeme eher höhere Werte der Elastizität zu erwarten. Um die Anzahl einzelner Fahrten zu verringern und Gemeinschaftsfahrten zu fördern, dürfen Fahrzeuge mit Besetzungsgrad >1 diese schnelleren Spuren frei (San Diego, Houston) oder gegen eine geringere Gebühr (SR 91, Orange County) benutzen.

#### 4.3.1 SR 91 Orange County

Auf dem vormaligen Mittelstreifen des Riverside Freeway SR91 im Orange County, Kalifornien wurden 1995 je Richtung zwei zusätzliche Spuren als so genannte Express Lanes mit einem Value Pricing System in Betrieb genommen. Die Benützung dieser zusätzlichen Spuren kosten derzeit zwischen \$1.15 in Randzeiten und \$8.5 (donnerstags und freitags, zwischen 16h und 17h. Der die Preise bestimmende Zeitplan wird dabei alle 12 Wochen angepasst, reagiert aber nicht auf aktuelle Belastungen. Personenwagen mit drei oder mehr Personen bezahlen die Hälfte der jeweiligen Gebühren.

Die Eröffnung der zusätzlichen, bemauteuten Spuren erhöhte zunächst die Kapazität und verminderte den staubedingten Zeitverzug während der Hauptverkehrszeit von 30 Minuten auf 10. In den ersten zwei Jahren war die Benutzung der zusätzlichen Spuren für Fahrgemeinschaften kostenlos. Obschon die Zahl solcher Car-Pools während dieser Zeit um 40% anstieg, steigerte sich die Nachfrage von einzelbenutzten Fahrzeugen gar noch mehr. Mit dem Beginn der Bemauteung von Fahrgemeinschaften zeigte sich zwar eine gewisse Umlagerung solcher Fahrzeuge von nun kostenpflichtigen Fahrzeugen auf die freien Spuren, der Gesamtanteil der Car-Pools blieb aber etwa gleich.

Umfragen zur Nutzungshäufigkeit der bemauteuten Spuren zeigten, dass diese sehr selektiv befahren werden. Obwohl rund 90% der Reisenden in der Hauptverkehrszeit einen Transponder benutzen, der die Nutzung vereinfacht, fährt knapp die Hälfte einmal pro Woche oder weniger auf den zusätzlichen Spuren. Nur ein Drittel sind tägliche Nutzer. Über die Zeit hat die Nutzung der neuen Spuren von 1996 mit 28% der Gesamtverkehrsmenge auf 42% (1999) zugenommen. Weiter ist die Nutzungshäufigkeit abhängig vom Einkommen: Personen aus Haushalten mit einem Einkommen von mehr als \$100'000 benutzen die kostenpflichtigen Spuren 2.5 mal so häufig wie Personen aus Haushalten mit weniger als \$40'000.

Yan, Small und Sullivan (2002) werteten in Telefoninterviews erfragte Angaben zu gemachten Wegen auf der SR91 mittels Nested Logit Modellen aus und berechneten daraus Elastizitäten. Morgens beträgt die Elastizität bei einer Erhöhung der Maut um 10% rund -0.7, abends, - 0.8. Im Vergleich zu Gebietslizenzen oder ganzen Strassenabschnitten ist dieser Wert bedeutend höher. Dieser Umstand ist auf das unmittelbare Angebot einer kostenfreien Alternative zurückzuführen, was Reisenden den Wechsel einfacher macht. Weiter zeigte sich, dass die Elastizität neben der Tageszeit auch von der relativen Erhöhung der Maut abhängig ist. Je höher die Maut ansteigt, desto geringer wird die entsprechende Elastizität. Bei Mauterhöhungen von 50% beträgt diese -0.65, bei 100% -0.53, was darauf schliessen lässt,



dass es genügend Personen gibt, die ungeachtet der Höhe der Maut auf der schnelleren Spur fahren wollen.

Keine oder nur geringe Veränderungen konnten bezüglich des Wechsels von allein benutzten Fahrzeugen hin zu Fahrgemeinschaften festgestellt werden. Nur gerade 0.66% der Alleinfahrer reagieren auf eine Erhöhung der Maut um 100% und fahren in einer Fahrgemeinschaft. Daneben lässt sich zeigen, dass auch hier die Elastizität abends leicht höher ist.

Ähnlich kleine Elastizitäten wurden bezüglich der Wahl der Abfahrtszeit festgestellt. Auf eine 10-prozentige Erhöhung der Maut reagieren nur 0.49% respektive 0.73% (morgens und abends) der Verkehrsteilnehmer mit einem Wechsel in ein anderes Zeitintervall. Es zeigt sich also, dass Reisende, solange eine entsprechende Alternativroute vorhanden ist, auf Änderungen der Kosten eher mit veränderter Routenwahl, denn anderer Abfahrtszeit oder Organisation einer Fahrgemeinschaft reagieren. Weiter reagiert die Verkehrsnachfrage abends geringfügig stärker auf Preisänderungen.

#### 4.3.2 I-15, „FasTrak“ Express Lanes, San Diego

Auf einem rund 8 Meilen langen Teilstück nördlich von San Diego wurde 1988 im vormaligen Mittelstreifen eine Spur pro Richtung eröffnet, die nur von Fahrgemeinschaften genutzt werden dürfen.

1996 wurde unter dem Namen ExpressPass ein System eingeführt, bei dem gegen eine monatliche Gebühr von anfänglich \$50 (später \$70) auch einzelbenutzte Fahrzeuge die neuen Spuren benutzt werden durften. Alle 500 Genehmigungen wurden verkauft und selbst nach der Preiserhöhung gabe es ein Warteliste. Dadurch erhöhte sich der Verkehr auf diesen Spuren um 12%, was aber vor allem auf die vermehrte Nutzung durch Fahrgemeinschaften herrührte.

1998 wurde ein neues Bewirtschaftungskonzept mit dem Namen FasTrak eingeführt: Je nach Belastung der Strasse verändert sich die Gebühr zwischen \$0.50 und \$8.00 wobei bei starkem Stau gar keine einzelbenutzte Fahrzeuge die zusätzlichen Spuren benutzen dürfen. Fahrgemeinschaften dürfen jederzeit kostenfrei verkehren. Dank des neuen Systems konnten die allein Reisenden die schnellen Spuren im Gegensatz zum monatlichen Abonnement nun auch nur gelegentlich benutzen, was von den Nutzern positiv aufgenommen wurde und in einer stetigen Zunahme einzelbenutzter Fahrzeuge resultierte.

Tabelle 9 Verkehrszusammensetzung FasTrak Einführung

Nutzer	März 1998 <sup>1</sup>	August 1998	September 1998	Februar 1999
Einzelbenutzte Fahrzeuge	910	1701	2272	3102
Fahrgemeinschaften	10790	10785	10629	10652
Summe	11700	12557	12990	13838

Quelle: Transportation Research Board (2003)

#### 4.3.3 I-10W Katy Freeway QuickRide Programm, Houston

Ebenfalls auf dem Mittelstreifen wurden auf dem Katy Freeway in Houston in zwei Etappen (1984 und 1990) über 13 Meilen eine zusätzliche Spur pro Richtung für Fahrgemeinschaften erstellt. Zunächst durften Fahrzeuge mit zwei und mehr Personen die neuen Spuren benutzen, ab 1988 teilweise (Beschränkung nur werden der Spitzenstunden) und 1991 vollständig nur noch Fahrzeuge mit 3 oder mehr Personen.

Ab 1998 war es in einem Versuchsprojekt namens QuickRide Fahrzeugen mit zwei Reisenden gegen eine Gebühr von \$2 wieder gestattet die zusätzliche Spur zu benutzen. Diese Gebühr wird heute nur noch zu den Spitzenstunden erhoben. Nach etwas mehr als einem Jahr wurden 650 Transponder herausgegeben und zwischen 150 und 200 kostenpflichtige Fahrten pro Tag wurden registriert. Wie schon bei den anderen Projekten in Kalifornien stellte sich heraus, dass die kostenpflichtige Spur sehr selektiv benutzt wurde. Nur gerade 6.5% der Transponder wurden fünf- oder mehrmals wöchentlich aufgezeichnet.

Zwar konnte statistisch gezeigt werden, dass QuickRide die Anzahl von Fahrgemeinschaften leicht förderte. Aufgrund der geringen Anzahl an Benutzern konnte der Durchfluss aber nicht signifikant gesteigert werden.

<sup>1</sup> Unter ExpressPass System

## 5 Befragungskonzept und Erhebung der RP-Daten

Das Verhalten der Verkehrsteilnehmer ist bei der vorgesehenen Einführung von Mobility Pricing anhand des vorhandenen Wissens nicht verlässlich abschätzbar. Es sind daher neue Stated Preference (SP) Befragungen in der Schweiz erforderlich, welche die Wirkung des Mobility Pricings im Kontext der anderen Kostenkomponenten bei Verkehrsentscheidungen ausloten. In den Befragungen beurteilen die Verkehrsteilnehmer die einzelnen Einflussfaktoren bzw. Angebotskomponenten. Dadurch ist es möglich, einzelne Parameter für die Verkehrsverhaltensmodelle zu schätzen und die Zahlungsbereitschaft der Schweizer sowie andere Gesetzmässigkeiten und Nachfrageelastizitäten abzuleiten.

### *Ziele der Befragung*

Mit Hilfe der Befragungen sollen im Rahmen der hier vorgestellten Studie verschiedenartigste Auswirkungen von Mobility Pricing auf das Verkehrsverhaltens ermittelt werden. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf den kurzfristigen respektive taktischen Entscheidungen. Erfahrungen im Ausland haben gezeigt, dass hier insbesondere Veränderungen in der Routenwahl, der Verkehrsmittelwahl sowie der Wahl der Abfahrtszeit auftreten. Daher sollen im Rahmen der Befragungen die Effekte von Mobility Pricing auf diese Entscheidungen genauer untersucht werden.

Mobility Pricing Systeme beeinflussen jedoch nicht nur die kurzfristigen Entscheidungen der Verkehrsteilnehmer sondern auch die langfristigen bzw. strategischen Entscheidungen. Diese Effekte sind jedoch bisher kaum untersucht worden. Aus diesem Grund ist es ein wichtiges Ziel dieses Projektes im Rahmen einer Befragung die Auswirkungen von Mobility Pricing auf die Wahl des Wohnstandortes, die jährliche PW Fahrleistung sowie die Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen zu untersuchen. Unter Mobilitätswerkzeugen werden dabei der Besitz eines PWs oder eines ÖV-Abonnementes verstanden.

Aufgrund der aktuell stattfindenden politischen Diskussion erschien es notwendig, ein weiteres Experiment in die Befragungen aufzunehmen, in dem die eigentliche Gestaltung des Mobility Pricing Systems thematisiert wird. Dies sollte den Befragten helfen ihre staatsbürgerliche Reaktion von ihrer privaten Reaktionsbereitschaft zu trennen. Darüber hinaus kann es als Indikator dafür dienen, wie es um die Akzeptanz des Mobility Pricings in

der Schweiz bestellt ist und welche Komponenten eines Mobility Pricing Systems von den Schweizer Bürgern den grössten Anklang finden.

### *Vorgehen bei der Befragung*

Ein besonderes Qualitätsmerkmal der Befragungen im Rahmen dieses Projektes ist die Verknüpfung von Revealed Preference (RP) Daten mit Stated Preference (SP) Daten. Dies wird durch Anwendung eines dreistufigen Befragungsverfahrens realisiert. Zunächst wird eine RP-Befragung durchgeführt, die zugleich auch zur Rekrutierung der Befragungsteilnehmer dient. Anschliessend erhalten die so Rekrutierten schriftliche SP-Fragebögen zu den taktischen Verkehrsentscheidungen. Im dritten Schritt werden diejenigen, welche sich zu einer weiteren Befragung bereit erklärt haben, mit weiteren SP-Experimenten zu ihrem strategischen Verhalten konfrontiert. Dies geschieht im Rahmen eines persönlichen, computergestützten Interviews.

Die Revealed Preference (RP) Befragung dient einerseits zur Rekrutierung der Befragten und andererseits dazu, das tatsächliche Verkehrsverhalten der Befragten zu erfassen. Dazu konnte in diesem Projekt auf die kontinuierliche Erhebung des Personenverkehrs (KEP) der SBB zurückgegriffen werden. Die KEP ist eine telefonische Befragung über das durchgeführte Verkehrsverhalten während der vergangenen Woche. Die Befragten werden gebeten, alle Wege zu beschreiben, die sie innerhalb der letzten Woche zurückgelegt haben.

Die KEP 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 16'800 Personen pro Jahr erhoben. Diese Stichprobe ist für die Grundgesamtheit repräsentativ. Alle Wege ab einer Gesamtdistanz von 3 km und mehr, die mit irgendeinem Verkehrsmittel unternommen wurden, werden nach vielfältigen Kriterien erfasst (Quelle und Ziel, Reisezeiten, Umsteigen, Wartezeiten, Zugangszeiten zum Bahnhof, Fahrtzweck, PKW-Verfügbarkeit, PKW-Besitz, Haushaltgrösse, Beruf, Erwerbstätigkeit, Abonnementbesitz, usw.). Die KEP-Befragung wird von dem Befragungsinstitut LINK durchgeführt. Dieses nahm auch die Rekrutierung der Befragten für die vorliegende Untersuchung vor. Insgesamt wurden dem IVT aus der KEP die Daten von 2290 Personen aus 15 Kalenderwochen zur Verfügung gestellt. Aufbauend auf diesen Daten wurden die SP-Fragebögen zu den taktischen Verkehrsentscheidungen erstellt und an die Befragten versandt.

Bei den Stated Preference (SP) Befragungen werden die Befragten hingegen mit verschiedenen hypothetischen Szenarien konfrontiert. Es werden mehrere Alternativen vorgestellt, die durch eine Vielzahl von Charakteristiken beschrieben sein können. Aus diesen müssen die Befragten dann jeweils eine auswählen. Dabei kann der Einfluss bestimmter Variablen auf die jeweilige Entscheidung gezielt untersucht und so das Verhalten der Verkehrsteilnehmer besser verstanden und nachgebildet werden. Ausserdem ist es möglich einen Zustand des Verkehrssystems abzubilden, der in der Realität noch gar nicht existiert.

Aus diesem Grund bilden die SP-Experimente das Kernstück der vorliegenden Untersuchung. Da es aktuell noch kein Mobility Pricing in der Schweiz gibt, müssen die Befragten sich eine Situation mit Mobility Pricing vorstellen und in einer solchen hypothetischen Situation ihre Entscheidung treffen. Bei den taktischen Entscheidungen wird dies für die Befragten dadurch vereinfacht, dass zur Erzeugung der SP-Situationen ein Weg verwendet wird, von dem sie im Rahmen der RP-Befragung berichtet haben. Dadurch wird sichergestellt, dass die Befragten den betrachteten Weg kennen und sich die Entscheidungssituation konkret vorstellen können. Dieses Vorgehen wurde in den letzten Jahren bei ähnlichen Studien vermehrt eingesetzt und hat sich ausserordentlich gut bewährt.

Die SP-Experimente für die langfristigen Entscheidungen basieren ebenfalls auf der tatsächlichen Lebenssituation der Befragten. Neben den soziodemographischen Angaben, die bereits in den beiden Befragungen zuvor ermittelt wurden, werden zu Beginn des Interviews die notwendigen Merkmale wie der Besitz eines PWs oder die jährliche Fahrleistung erhoben. So wird der von den Befragten geforderte Abstraktionsaufwand möglichst klein gehalten.

#### *Rekrutierung und Erhebung der RP-Daten zur Routenwahlmodellierung*

Die in Kapitel 11 beschriebenen Routenwahlmodelle auf RP-Datengrundlage basieren ebenfalls auf den in der KEP-Befragung erhobenen Daten, sowie weiteren Daten, die im Rahmen der schriftlichen SP-Befragung erhoben wurden. Im Rahmen der KEP-Befragung wurden die Personen zusätzlich zu ihrem Verkehrsverhalten in der letzten Woche nach ihrem letzten MIV- Weg von mehr als 20km gefragt. Diesen sollten sie anhand der Orte beschreiben, an denen sie vorbeigefahren sind. Im Rahmen des Personenfragebogens der schriftlichen Befragung wurden sie dann an diesen Weg noch einmal erinnert und gebeten, Ihnen bekannte Alternativen zu der von ihnen gewählten Route anzugeben. Für die Fälle, dass kein MIV-Weg über 20km vorlag wurde der im SP-Experiment verwendete Weg beschrieben. In die RP-Routenwahlmodellierung flossen dann, wie in Kapitel 11 ausführlich erläutert, der gewählte Weg, die Alternativen und die soziodemographischen Charakteristika der Personen ein.

## 6 Stated-Preference Befragungen: Taktische Entscheidungen

Der Fokus der Stated Preference Befragung zu den Auswirkungen des Mobility Pricings auf die taktischen Verkehrsentscheidungen liegt auf der Wahl der Abfahrtszeit, des Verkehrsmittels und der Route. Die Befragung wurde in schriftlicher Form durchgeführt. Den im Rahmen des KEP rekrutierten Personen wurden Fragebögen zugeschickt, welche sie ausgefüllt retournierten. Im Folgenden wird nun die Auswahl der zur Konstruktion der SP-Experimente verwendeten Wege, der Aufbau der Fragebögen und die dahinter stehenden Versuchspläne sowie der organisatorische Ablauf der Befragung beschrieben. Anschliessend wird der Rücklauf dokumentiert und erste beschreibende Analysen der Ergebnisse vorgenommen.

### 6.1 Auswahl des berichteten Weges zur Konstruktion der SP-Experimente

Wie in Kapitel 5 beschrieben, wurde jedes SP-Experiment zur Erhöhung des Realitätsbezuges in Anlehnung an einen Weg konstruiert, der von dem jeweiligen Befragten im Rahmen der KEP-Befragung berichtet wurde. Aus diesem Grund waren diese Wege so auszuwählen, dass sie bezüglich Wegdistanz, Verkehrsmittel und Fahrtzweck repräsentativ für die Stichprobe waren. Somit sollte sichergestellt werden, dass das reale Verkehrsverhalten möglichst gut widerspiegelt wurde. Als Mass für die Repräsentativität wurden alle Wege im KEP herangezogen. Die ausgewählten Wege für die SP-Experimente sollten diesen in Fahrtzweck, Verkehrsmittel und soweit vorhanden in der berichteten Abfahrtszeit entsprechen. Lediglich bezüglich der Wegdistanzen wurde bewusst ein anderer Schwerpunkt gelegt. Hier wurden Wege über 3 km bevorzugt. Wurde keine Abfahrtszeit angegeben, so wurde für Pendlerwege eine zufällige Abfahrtszeit zwischen 6 und 8 Uhr angenommen und für die übrigen Fahrtzwecke eine zufällige Abfahrtszeit zwischen 10 und 20 Uhr. Zur Erinnerung der Befragten an den von Ihnen berichteten Weg wurde dieser wie in Abbildung 9 dargestellt vor jedem SP-Experiment noch einmal ausführlich beschrieben.

Abbildung 9 Berichteter Weg - Beispiel

**In dem Interview vor einigen Tagen haben Sie uns unter anderem folgenden Weg berichtet, den Sie am 26.12.2005 durchgeführt haben:**

Startort	Lostorf
Zielort	Rheinfelden
Anlass	Freizeit
Verkehrsmittel	Individualverkehr
Abfahrtszeit	17.00

## 6.2 Fragebogendesign und Versuchspläne der SP-Experimente

Die SP-Experimente zu den taktischen Verkehrsentscheidungen wurden allesamt als Stated Choice Befragungen mit zwei Alternativen, die durch eine Vielzahl von Variablen beschrieben sind, formuliert. Die Stated Choice Antwortform verlangte von den Befragten, dass sie sich zwischen den vorgegebenen Alternativen entscheiden. Sie ist einfach zu verstehen, kann schnell durchgeführt werden und spiegelt das reale Entscheidungsverhalten eines Verkehrsteilnehmers gut wider.

Insgesamt wurden vier verschiedenen SP-Experimente für die Befragung zu den taktischen Verkehrsentscheidungen konstruiert. Konzeptioniert und gestaltet wurden die Fragebögen einschliesslich der Versuchspläne am IVT. Die eigentliche Erstellung der Fragebögen inklusive der Beschreibung der Charakteristika sowie das Routing zur Berechnung der Fahrtzeiten wurden von der PTV AG durchgeführt.

Die Gestaltung der Fragebögen umfasste neben dem graphischen Layout vor allem die Auswahl der beschreibenden Variablen der Alternativen sowie die Definition der zulässigen Ausprägungen und das Aufstellen des Versuchsplans. Im Versuchsplan werden die Ausprägungen der Variablen systematisch kombiniert, so dass anschliessend aufgrund der Wahl der Befragten eine Abschätzung des Einflusses der einzelnen Variablen auf das Wahlverhalten erfolgen kann. Die Befragung ist dabei so angelegt, dass bei jeder neuen Situation die Variablen im Vergleich zu der vorherigen Situation variiert wurden. Damit

mussten die Befragten bei jeder neuen Situation diese Veränderung durch die Wahl einer der beiden Alternativen beurteilen.



Im Folgenden sind nun die einzelnen SP-Experimente einzeln dargestellt. Die Abbildungen Abbildung 10 bis Abbildung 13 zeigen jeweils ein Beispiel für eine Entscheidungssituation im jeweiligen SP-Experiment, so wie sie den Befragten präsentiert wurde. Darüber hinaus sind in den Tabellen Tabelle 10 bis Tabelle 13 für jedes SP-Experiment die zulässigen Ausprägungen angegeben, die in den Versuchsplänen variiert wurden. Die Ausprägungen wurden als prozentuelle oder absolute Abweichung von den Werten, die für den ausgewählten Weg im KEP berichtet wurden, angegeben.

Das erste der vier SP-Experimente untersucht die politischen Präferenzen des Befragten bezüglich der Gestaltung von Mobility Pricing im Allgemeinen und im Besonderen. Wie in Kapitel 5 beschrieben sollte dies den Befragten die Möglichkeit geben, ihre politische Einstellung explizit zu äussern, so dass sie diese nicht mehr in den anschliessenden Experimenten zum Ausdruck bringen müssen. Aus diesem Grund wurde dieses SP-Experiment an alle Befragten verschickt und in der Reihenfolge den übrigen Experimenten vorangestellt.

Darüber hinaus sollte dieses SP-Experiment aber auch dazu genutzt werden um den Effekt bestimmter Gestaltungsvarianten eines Mobility Pricing Systems zu untersuchen. Diese umfassen neben der Art und der Höhe der Gebühren auch den Verwendungszweck der Einnahmen sowie die zu erzielende Verbesserung für die Durchschnittsgeschwindigkeit in der Spitzenstunde für verschiedene Strassentypen. Ein Beispiel für eine Entscheidungssituation in diesem Experiment ist in Abbildung 10 zu sehen. Jeder Befragte wurde in diesem Experiment mit 6 solcher Entscheidungssituationen konfrontiert.



Abbildung 10 SP1: Präferenz für ein Mobility Pricing System – Beispielfragebogen

	 heute	 alternatives System
Art des Mobility Pricings	Mineralölsteuer, Autobahnvignette	leistungsabhängige Personenverkehrsabgabe
Abgaben	0,06 CHF/km	0,16 CHF/km
Verwendungszweck der Einnahmen	Strasseninfrastruktur, Bundeshaushalt,	Strasseninfrastruktur, Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette, Verringerung der Einkommenssteuer
Geschwindigkeit bei grösstem Verkehr:		
Autobahnen	85 km/h	120 km/h
Landstrassen	45 km/h	55 km/h
Städtischen Strassen	30 km/h	30 km/h
<input type="checkbox"/> ← Ihre Wahl → <input type="checkbox"/>		

Da nicht davon ausgegangen werden konnte, dass alle Konzepte bezüglich der Art des Mobility Pricings und des Verwendungszweckes für die Befragten selbsterklärend waren, wurden ihnen auf einem Zusatzblatt, auf dem allgemeine Erläuterungen zum Ausfüllen des Fragebogens standen, noch folgende Erklärungen und Definition angeboten:

**Autobahngebühren** stehen für eine kilometerabhängige Maut für Fahrten auf den Autobahnen.

**Leistungsabhängige Personenverkehrsabgabe** ist eine kilometerabhängige Gebühr für alle Personenfahrzeuge (und alle Strassen).

**Zeitabhängige Gebühren für Hauptverkehrsstrassen** (einschliesslich Autobahnen): Die Gebühren werden je nach Belastung nach Ort und Tageszeit variiert. Damit soll erreicht werden, dass immer eine angemessene Geschwindigkeit gefahren werden kann.

**Gebietslizenzen:** Für die Einfahrt in die inneren Bereiche der Grossstädte wird jeweils eine Gebühr erhoben.

**Bonus/Malus – System:** die Einnahmen werden an alle Schweizer in gleich grossen Anteilen ausgeschüttet, d.h. Wenig-Fahrer erhalten einen Bonus, während Vielfahrer einen Malus bezahlen.

**Verringerung der Einkommensteuer:** zusätzliche Einnahmen aus dem Strassenverkehr werden mit Einkommenssteuersenkungen ausgeglichen.

Der in Tabelle 10 darüber hinaus aufgeführte Initiator wurde ebenfalls im Rahmen dieses Zusatzblattes angeführt. Jedem Befragten wurde zufällig einer der drei Initiatoren zugeordnet, der dann für das gesamte SP-Experiment Gültigkeit hatte. Der jeweilige Initiator wurde im Rahmen des Einleitungstextes als Initiator des einzuführenden Mobility Pricings vorgestellt. Ausserdem wurde die jeweilige Motivation für eine Einführung von Mobility Pricing dargelegt. Im Falle des Bundesrates als Initiator waren dies die Suche nach einer alternativen Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur und eine Reduktion der Strassenauslastung. Die Automobilverbände sind an einem weiteren Ausbau der Strasseninfrastruktur interessiert. Sie fürchten jedoch um dessen Finanzierung. Ausserdem sind sie der Ansicht, dass das Strassennetz zu stark fremdgenutzt wird. Die Umweltverbände hingegen möchten erreichen, dass die von den Autofahrern verursachten Externen Kosten auch von diesen getragen werden und schlagen daher die Einführung von Mobility Pricing vor. Die anschliessenden SP-Experimente sollen vor dem jeweiligen Hintergrund beantwortet werden.

Tabelle 10 Ausprägungen SP1: Präferenz für ein Mobility Pricing System

Einflussgrösse	Ausprägungen der Alternative 2 (mit Mobility Pricing)
Initiator	Bundesverwaltung, Autofahrerverbände, Umweltverbände (nur eine Alternative pro SP-Experiment, wird im Einleitungstext dargestellt)
Art des Mobility Pricings	Autobahngebühren, Gebietslizenzen, leistungsabhängige Personenverkehrsabgabe, zeitabhängige Gebühr für Hauptverkehrsstrassen
Abgaben	75%, 125%, 175%, 250% von 0.06 CHF/km
Verwendungszweck der Einnahmen	Strasseninfrastruktur + Kombination von je zwei Ausprägungen: (siehe Versuchsplan) 1. Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette, 2. Bonus/Malus – System für PW-Besitzer, 3. Investitionen in den öffentlichen Verkehr, 4. Verringerung der Einkommenssteuer
Geschwindigkeit auf der Autobahn in der Spitzenstunde	0%, +20%, +40% (von Grundgeschwindigkeit 85 km/h, Alternative „Heute“, gerundet auf 5 km/h)
Geschwindigkeit in der Stadt in der Spitzenstunde	0%, +20%, +40% (von Grundgeschwindigkeit 30 km/h, Alternative „Heute“, gerundet auf 5 km/h)
Geschwindigkeit auf anderen Strassen in der Spitzenstunde	0%, +20%, +40% (von Grundgeschwindigkeit 45 km/h, Alternative „Heute“, gerundet auf 5 km/h)



Für den Verwendungszweck der Einnahmen wurden immer zwei verschiedene der in Tabelle 10 angegebenen Verwendungszwecke miteinander kombiniert. Mit Hinblick auf den Initiator wurden unwahrscheinliche Kombinationen ausgeschlossen, beispielsweise der Verwendungszweck „Investitionen in den öffentlichen Verkehr“ für den Initiator „Autofahrerverbände“. Darüber hinaus wurde ein Zusammenhang zwischen der Art des Mobility Pricings und den möglichen Verbesserungen der Geschwindigkeiten auf den verschiedenen Strassentypen hergestellt. So führen zum Beispiel Autobahngebühren nur zu einer Verbesserung der Geschwindigkeiten auf der Autobahn.

Zusätzlich zum SP-Experiment zur politischen Präferenz wurden drei weitere SP-Experimente durchgeführt. In diesen wurden jeweils zwei Verkehrsentscheidungen miteinander kombiniert

betrachtet. Das erste behandelt die Routenwahl im Individualverkehr und die Wahl der Abfahrtszeit. Das zweite verknüpft die Wahl der Abfahrtszeit mit der Verkehrsmittelwahl. Im dritten Experiment wird Routenwahl gemeinsam mit der Verkehrsmittelwahl betrachtet. Um die Arbeitslast für die Befragten jedoch nicht zu gross werden zu lassen, wurden jedem Befragten nur zwei von diesen drei Experimenten zugesandt. Dabei wurde das erste Experiment zur Routenwahl im Individualverkehr nur an solche Personen verschickt, bei denen der ausgewählte SP-Weg ein Weg mit dem PW war.

Beispiele für die SP-Situationen dieser Experimente sind in den Abbildungen Abbildung 11 bis Abbildung 13 zu finden. Zusätzlich zu einer erklärenden Einleitung auf einem Zusatzblatt wurde zu Beginn jedes Experiments jeweils ein Beispiel gegeben. Dieses beschrieb den von den Befragten durchgeführten und berichteten Weg mit Hilfe der im Experiment verwendeten Einflussvariablen. Jedem Befragten wurden anschliessend sieben Situationen vorgestellt, in denen er zwischen den beiden gegebenen Alternativen wählen musste. Die Ausprägungen sind in den Tabellen Tabelle 11 bis Tabelle 13 dargestellt. Sie wurden im Versuchsplan so miteinander kombiniert, dass keine Korrelationen zwischen den verschiedenen Variablen entstanden.

Abbildung 11 SP2: Wahl der Abfahrtszeit und Routenwahl – Beispiel

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	17.00	17.00
Fahrtzeit (min)	70 min	40 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für alle Fahrspuren
Höhe der Strassengebühr		5,60 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise	keine
Ankunftszeit	18.10	17.40

← Ihre Wahl →

Zur Bestimmung der Fahrtzeit für den Basis-Weg im Individualverkehr führte die PTV anhand der Angaben der Befragten ein Routing auf dem Strassennetz der Schweiz durch. Dieses wurde im anschliessenden Experiment prozentual variiert. Die Bestimmung der Abfahrtszeit erfolgte, wie zuvor beschrieben entweder auf der Grundlage der Angabe der Befragten oder durch eine zufällige Auswahl der Abfahrtszeit. Die Ankunftszeit wurde aus Abfahrtszeit und Fahrtzeit berechnet und dient als Hilfestellung für die Befragten. Sie stellt keine modellrelevante Variable dar.



Der Berechnung der Treibstoffkosten wurde der von Autoschweiz (2004) ermittelte durchschnittliche Treibstoffverbrauch der in der Schweiz verkauften Personenwagen von 7.82 Litern pro 100 km zugrunde gelegt. Dieser Wert wurde mit dem im September 2005 aktuellen Benzinpreis von 1.53 CHF/Liter verrechnet. Daraus ergab sich ein Treibstoffpreis von 0.12 CHF/km. Für die Alternativen mit Mobility Pricing wurde darüber hinaus angenommen, dass die Mineralölsteuer entfällt, die derzeit etwa die Hälfte des Treibstoffpreises ausmacht. Somit wurde für diese Alternativen mit Treibstoffkosten von 0.06 CHF/km kalkuliert. Diese Werte wurden in den verschiedenen Situationen nicht variiert.

Die Höhe der Strassengebühr wurde hingegen variiert, wie auch in der Übersicht zu den Ausprägungen der Experimente zu sehen ist. Der Grundpreis betrug jedoch ebenfalls 0.06 CHF/km, da davon ausgegangen wurde, dass das Mobility Pricing System als Ganzes für den Verkehrsteilnehmer kostenneutral ist. Damit entspricht der Kostensatz für das Mobility Pricing der eingesparten Mineralölsteuer.

Tabelle 11 Ausprägungen SP2: Wahl der Abfahrtszeit und Routenwahl

Einflussgrösse	Ausprägungen
Abfahrtszeit (Route 1)	30 min früher, 15 min früher, unverändert
Abfahrtszeit (Route 2)	unverändert, 15 min später, 30 min später
Fahrtzeit (Route 1) (min)	0%, +20%, +40%
Fahrtzeit (Route 2) (min)	0%, -20%, -40%
Treibstoffkosten für die Fahrt (Route 1)	0.12 CHF/km
Treibstoffkosten für die Fahrt (Route 2)	0.06 CHF/km
Art der Strassengebühr (Route 2)	Für alle Fahrspuren, für eine zusätzliche Mautspur
Höhe der Strassengebühr (Route 2)	75%, 125%, 175%, 250% von 0.06 CHF/km
Verlässlichkeit (Route 1)	Verspätung grösser als 10 Minuten: nie, jede 20. Reise, jede 5. Reise, jede 3. Reise
Verlässlichkeit (Route 2)	Verspätung grösser als 10 Minuten: nie
Ankunftszeit	berechnet

Abbildung 12 SP3: Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl – Beispiel

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Abfahrtszeit	17.30	16.45
Fahrtzeit (min)	40 min	95 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	2,50 CHF	9,30 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Intervall		60 min
Höhe der Strassengebühr	4,00 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung von 10 min: nie
Ankunftszeit	18.10	18.20

← Ihre Wahl →

Das Routing der Fahrten mit dem öffentlichen Verkehr wurde ebenfalls von der PTV AG vorgenommen. Grundlage dazu war der HAFAS Fahrplan für das Jahr 2004/2005, der von der SBB zur Verfügung gestellt wurde. Aus diesem Fahrplan wurden die Verbindungen ausgewählt, die am besten zu der berichteten oder zufällig gewählten Abfahrtszeit passten.

Die Variation der Variable Intervalle im öffentlichen Verkehr ist wie in Tabelle 12 und Tabelle 13 ersichtlich in Stufen angegeben. Dem liegen die folgenden Intervallstufen zugrunde: 10 min, 20 min, 30 min, 50 min, 60 min, 120 min Intervalle.



Tabelle 12 Ausprägungen SP3: Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl

Einflussgrösse	Ausprägungen
Abfahrtszeit (IV)	unverändert, 15 min später, 30 min später
Abfahrtszeit (ÖV)	15 min früher, unverändert, 15 min später
Fahrtzeit (IV)	-40%, -20%, 0%
Fahrtzeit im System (ÖV)	-20%, -10%, 0%
Treibstoffkosten für die Fahrt (IV)	-20, 0, +20% von 0.06 CHF/km
Fahrtkosten (ÖV)	-10%, +15%, +30% Grundpreis abhängig von ÖV Abo-Besitz: GA 0.08 CHF/km, Halbtax: 0.15 CHF/km, ohne Abo: 0.28 CHF/km Distanz: IV-Distanz * Umwegfaktor
Höhe der Strassengebühr (IV)	75%, 125%, 175%, 250% von 0.06 CHF/km
Verlässlichkeit (IV)	Verspätung grösser als 10 Minuten: nie
Verlässlichkeit (ÖV)	Verspätung grösser als 10 Minuten: nie, jede 20. Reise, jede 10. Reise
Umsteigehäufigkeit (ÖV)	0, -1, +1
Intervall	1 Stufe schlechter, unverändert, 1 Stufen besser
Ankunftszeit	berechnet



Abbildung 13 SP4: Routen- und Verkehrsmittelwahl – Beispiel

Situation 1

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Fahrtzeit (min)	10 min	25 min
Variable Fahrtkosten	0,40 CHF	1,60 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		10 min
Intervall		10 min
Höhe der Strassengebühr	0,40 CHF	
Parkgebühren	2,00 CHF	

     **← Ihre Wahl →**

Tabelle 13 Ausprägungen SP4: Routen- und Verkehrsmittelwahl

Einflussgrösse	Ausprägungen
Fahrtzeit (IV)	-40%, -20%, 0%
Fahrtzeit im System (ÖV)	-20%, -10%, 0%
Treibstoffkosten für die Fahrt (IV)	-20, 0, +20% von 0.06 CHF/km
Höhe der Strassengebühr (IV)	75%, 125%, 175%, 250% von 0.06 CHF/km
Parkgebühren (IV)	gratis, 2 CHF, 5 CHF
Fahrtkosten (ÖV)	-10%, +15%, +30% Grundpreis abhängig von ÖV Abo-Besitz: GA 0.08 CHF/km, Halbtax: 0.15 CHF/km, ohne Abo: 0.28 CHF/km Distanz: IV-Distanz * Umwegfaktor
Umsteigehäufigkeit (ÖV)	0, -1, +1
Zugangszeit (ÖV)	-15%, +15%, +30%
Intervall	1 Stufe schlechter, unverändert, 1 Stufen besser

### 6.3 Fragebogen zur Person und zum Haushalt

Zusätzlich zu den SP-Experimenten wurde allen Befragten noch ein weiterer Fragebogen zugesandt. Dieser dient zur Erhebung weiterer Daten bezüglich des Verkehrsverhaltens und der Soziodemographie. Ausserdem wurden die Befragten gebeten zu einem Weg mit dem PW über 20 km, den sie im Rahmen der KEP-Befragung angegeben hatten, alternative Routen anzugeben. Diese Routen werden bei der RP-Routenwahl-Modellierung verwendet, die am TRANSP-OR durchgeführt wird.

Die Fragen zur Soziodemographie und zum Verkehrsverhalten umfassen Fragen nach dem Einkommen sowie den im Haushalt genutzten PWs, einschliesslich Fahrzeugtyp, Hubraum, Verbrauch, Alter und Besitzverhältnissen. Hinzu kommen die monatlichen Parkkosten am Wohn- und Arbeitsort. Darüber hinaus werden die Befragten gebeten, ihr Pendlerverhalten während der letzten Woche darzulegen. Diese Daten wurden erhoben, um weitere mögliche Variablen für die Modellschätzung zu gewinnen.

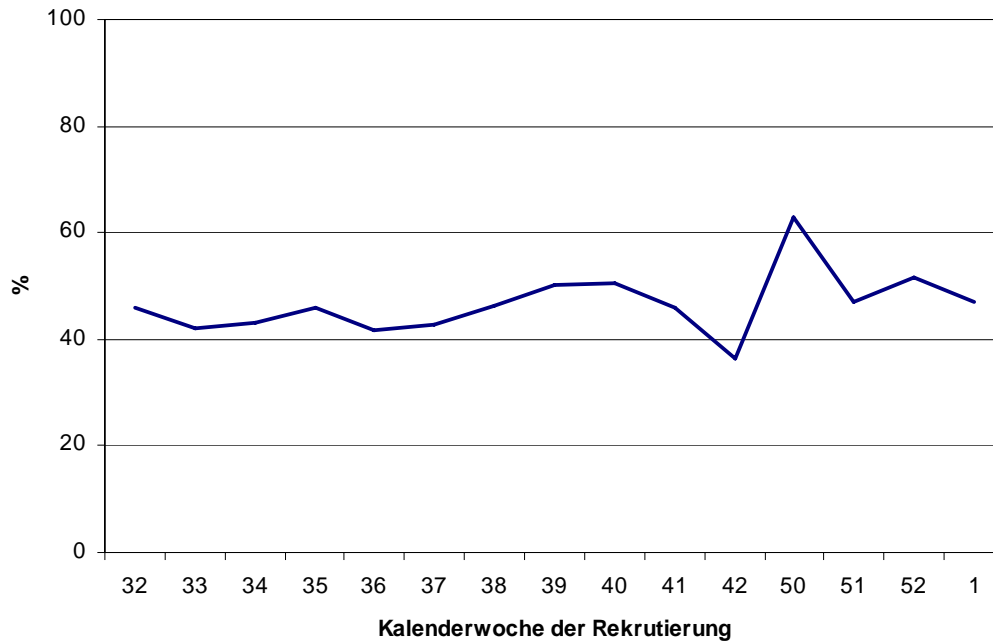
## 6.4 Durchführung der Befragung und Rücklauf

Insgesamt konnten im Rahmen der KEP Befragung von August 2005 bis Januar 2006 in 15 Kalenderwochen 2729 Personen für die Befragung rekrutiert werden. Von diesen Personen hatten 2249 Personen von für die Befragung geeigneten Wegen berichtet, für welche SP-Experimente erstellt werden konnten, und waren über 18 Jahre alt und somit Zielpersonen der Befragung. Ursprünglich war lediglich eine Rekrutierung über 12 Kalenderwochen von August bis Oktober 2005 geplant. Da jedoch die Rücklaufquote schlechter ausfiel als aufgrund vorheriger Studien erwartet, mussten in den Kalenderwochen 50/2005 bis 01/2006 weitere Personen rekrutiert werden.

Da die Erstellung der Fragebögen nach der Rekrutierung der Befragten noch einige Zeit in Anspruch nahm, wurden Mitte Oktober die ersten Fragebögen für zwei KEP-Kalenderwochen verschickt. Diese Fragebögen dienten zugleich als Pretest, um die Funktionsfähigkeit, die Verständlichkeit und die Akzeptanz der Fragebögen zu überprüfen. Die Reaktionen der Befragten wurden gesammelt und die zurückgesandten Fragebögen analysiert. Daraus ergaben sich einige kleinere Änderungen an den Fragebögen, insbesondere bei der Bestimmung der Abfahrtszeiten. Die Änderungen wurden für alle folgenden Kalenderwochen übernommen und den Befragten der ersten beiden Kalenderwochen, sofern sie noch nicht geantwortet hatten, zusammen mit den Erinnerungsschreiben noch einmal zugestellt. Die Fragebögen, die vor der Überarbeitung entstanden waren, wurden markiert und werden bei den Modellschätzungen entsprechend berücksichtigt.

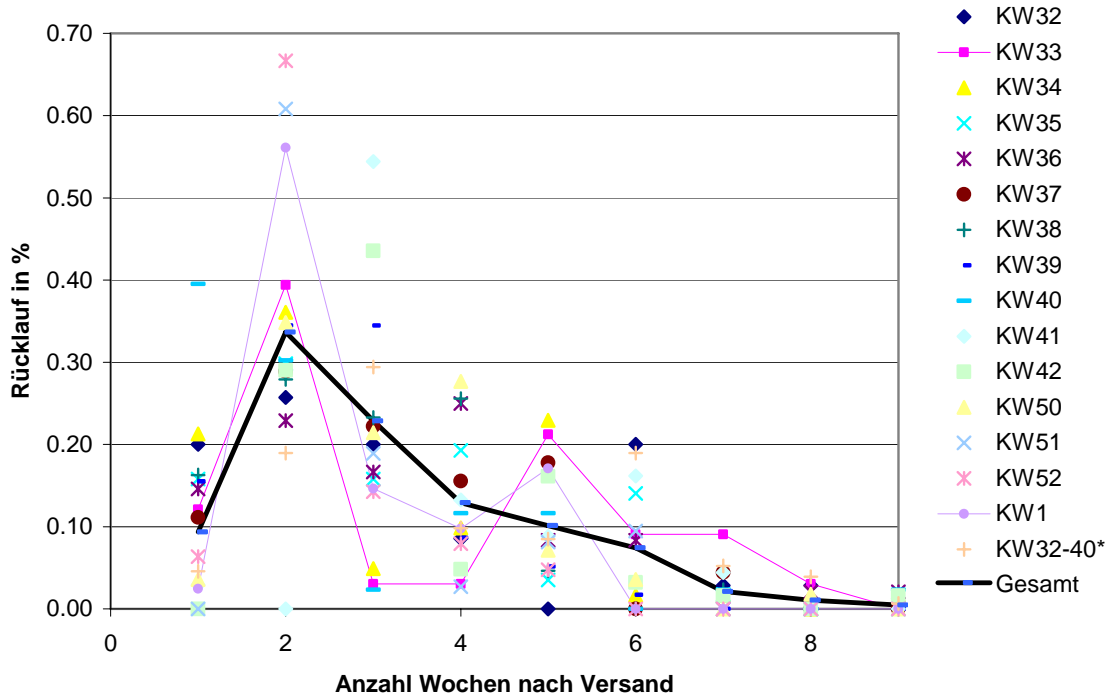
Abbildung 14 zeigt eine Übersicht über den prozentualen Rücklauf in Abhängigkeit von der Kalenderwoche der Rekrutierung. Insgesamt blieb der Rücklauf hinter den Erwartungen zurück. Er betrug alles in allem nur etwa 47%.

Abbildung 14 Rücklaufquote nach Kalenderwoche der Rekrutierung



Zur Erhöhung des Rücklaufs wurde etwa 2 bis 3 Wochen nach dem Versand der Fragebögen ein Erinnerungsschreiben verschickt. In diesem wurden die Befragten noch einmal auf die Bedeutung der Befragung und eines möglichst grossen Rücklaufs hingewiesen. Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, zeigten die Erinnerungsschreiben den gewünschten Effekt. Die Abbildung zeigt die Höhe des Rücklaufs in Abhängigkeit von der Anzahl Wochen, die nach dem Versand vergangen sind. Der Verlauf des Rücklaufs der Kalenderwochen 33 und 1 ist beispielhaft hervorgehoben. Es sind deutlich zwei Rücklaufspitzen zu erkennen, eine in der zweiten Woche nach dem Versand und eine kleinere in der fünften Woche, etwa ein bis zwei Wochen nach dem Versand der Erinnerungsschreiben. Dies verhielt sich für alle Kalenderwochen ähnlich, auch wenn dieser Effekt in der über alle Versandwochen gemittelten Kurve nicht erkennbar ist. Dies liegt insbesondere daran, dass aus verschiedenen Gründen der Versand der Erinnerungsschreiben nicht immer im gleichen Abstand zum Versand der Fragebögen erfolgt ist.

Abbildung 15 Rücklauf der Fragebögen im zeitlichen Verlauf



Da der Versand der Fragebögen nicht immer zeitnah nach der Rekrutierung durch die KEP Befragung durchgeführt werden konnte, war eine weitere interessante Fragestellung, welchen Einfluss der zeitliche Abstand zwischen der Rekrutierung und dem Versand der ersten Fragebögen auf das Antwortverhalten der Teilnehmer hatte. Abbildung 16 zeigt die mittlere Antwortgeschwindigkeit der Befragten und die Rücklaufquote in Relation zu der Anzahl Wochen, die zwischen der Rekrutierung und dem Versand der Fragebögen vergangen waren. Es ist deutlich zu sehen, dass diese Zeitspanne keinen wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Rücklaufs hat, wohl aber auf die Antwortgeschwindigkeit. Diese wurde deutlich langsamer, je mehr Zeit zwischen Rekrutierung und erstem Versand vergangen war.

Abbildung 16 Rücklaufquote und Antwortgeschwindigkeit

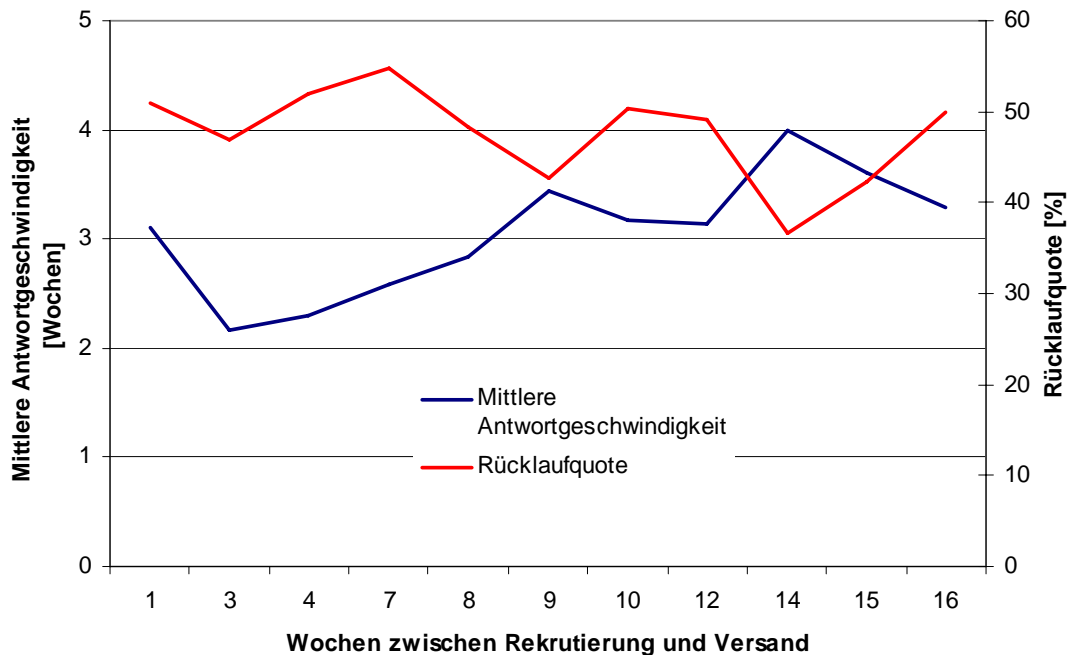


Tabelle 14 gibt einen Überblick über den Rücklauf nach den einzelnen SP-Experimenten. Die Rücklaufquote gibt den Anteil der eingegangenen Fragebögen eines SPs an den insgesamt versandten Fragebögen eines SPs an. Da jeder Person ein Fragebogen zum politischen SP, jedoch nur zwei der drei übrigen SPs zugesandt wurde, wurden insgesamt ein Drittel mehr Fragebögen zur politischen Einstellung verschickt. Der grösste Teil der Befragten, die an der Befragung teilgenommen haben, hat auch das politische SP ausgefüllt. Dies zeigt der Vergleich der Rücklaufquote von 43% für das politische SP mit der Gesamtrücklaufquote von 47%.

Tabelle 14 Rücklaufquote der einzelnen SP-Experimente

	Rücklauf Anzahl	Rücklauf- quote [%]	Verwertbare SP Situationen Anzahl
SP1: Präferenz für ein Mobility Pricing System	985	43.0	5709
SP2: Routenwahl und Wahl der Abfahrtszeit	531	39.0	3927
SP3: Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl	682	58.7	4863
SP4: Routen und Verkehrsmittelwahl	669	41.6	4762

Da jeder Befragte pro SP-Experiment mit 6 bis 7 SP-Situationen konfrontiert wurde, konnten für jede der zu betrachtenden Entscheidungssituationen ausreichend Datensätze für die Modellschätzung erhoben werden. Der Rücklauf zum PW-Routenwahlexperiment war im Vergleich zu den übrigen Experimenten geringer. Er ist dennoch ausreichend gross um stabile und aussagkräftige Modellschätzungen zu erhalten.

## 6.5 Soziodemographie der Befragten

Die soziodemographischen Charakteristika der Befragten wurden in zwei Schritten erhoben. Einen Grossteil der Angaben machten die Befragten bereits im Rahmen der telefonischen KEP Befragung. Dies umfasste insbesondere Angaben zu Alter, Geschlecht, Sprache, Erwerbstätigkeit, Schulbildung, Haushaltsgrösse, PW-Verfügbarkeit und dem Besitz von ÖV-Abonnements. Darüber hinaus wurde eine Einstufung des Haushaltseinkommens in 4 grobe Kategorien abgefragt.

Wie in Abschnitt 6.3 beschrieben, wurden weitere soziodemographische Charakteristika im Rahmen der SP-Befragung erhoben. Speziell das Haushaltseinkommen wurde in feiner unterteilten Einkommensklassen erhoben. Hinzu kamen detaillierte Angaben über das Verkehrsverhalten und die verfügbaren PWs.

### 6.5.1 Soziodemographie

Die Analyse der soziodemographischen Charakteristika der Befragten soll vor allem aufzeigen, ob die Personen, die an der Befragung teilgenommen und die Fragebögen zurückgesandt haben, gegenüber der Schweizer Grundgesamtheit repräsentativ sind. Als Vergleichswert dient hierbei die KEP Befragung, welche abgesehen von einem erhöhten Anteil an GA- und Halbtax-Besitzern gegenüber der Schweizer Grundgesamtheit repräsentativ ist.

Tabelle 15 zeigt die Übersicht der erhobenen soziodemographischen Charakteristika und den Vergleich mit den Anteilen in der KEP Befragung. Es ist ersichtlich, dass die Befragungsteilnehmer die Schweizer Grundgesamtheit sehr gut repräsentieren. Der leicht niedrigere Anteil an Personen unter 25 Jahren ist dadurch zu erklären, dass im Rahmen der KEP Befragung Personen ab 15 Jahren befragt worden sind, in der vorliegenden Befragung aber nur Personen mit einem PW-Fahrausweis. Somit wurden Personen zwischen 15 und 18

Jahren hier nicht berücksichtigt. Die im KEP erhobenen Haushaltsgrößen wurden hingegen sehr gut abgebildet.

Darüber hinaus haben etwas mehr Männer als Frauen an der Befragung teilgenommen und die Bereitschaft zu antworten war in der deutschsprachigen Schweiz leicht höher als im KEP, in der französischsprachigen Schweiz hingegen leicht niedriger.

Wie aufgrund der umfangreichen und komplexen Befragung erwartet, war der Anteil der Personen, die mindestens eine Mittelschulbildung erhalten hatten leicht höher als in der KEP Befragung. Allerdings nicht in einem Ausmass, dass Umgewichtungen notwendig wären. Gleiches gilt für die Verteilung des Einkommens der Teilnehmer an der vorliegenden Befragung und der KEP Befragten. Auch hier ist ein leicht erhöhter Anteil an Personen mit höherem Haushaltseinkommen festzustellen, welcher aber ebenfalls keine Umgewichtung notwendig macht.



Tabelle 15 Allgemeine soziodemographische Charakteristika der Befragten

		Schriftliche Befragung Rücklauf		KEP
		absolut	[%]	[%]
Alter	Unter 25 Jahre	95	9.5	11.8
	25 – 45 Jahre	381	37.9	40.5
	45 – 65 Jahre	405	40.3	36.7
	Über 65 Jahre	124	12.3	11.1
Geschlecht	männlich	558	55.5	50.9
	weiblich	447	44.5	49.1
Sprache	deutsch	818	81.4	78.5
	französisch	141	14.0	17.5
	italienisch	46	4.6	4.1
Schulbildung	normale Schulpflicht	42	4.2	6.1
	Berufslehre/Gewerbeschule	460	45.8	49.6
	Mittelschule/Gymnasium/tertiäre Bildung	503	50.0	44.3
Personen im Haushalt	1	164	16.3	17.5
	2	358	35.6	34.8
	3	151	15.0	15.7
	4	232	23.1	21.9
	5	76	7.6	7.3
	6	19	1.9	1.9
	mehr als 6	5	0.5	0.7
Haushaltseinkommen	Weniger als 36'000 CHF/Jahr	37	3.7	4.4
	36'000 – 72'000 CHF/Jahr	202	20.1	23.8
	72'000 – 108'000 CHF/Jahr	327	32.5	30.1
	Mehr als 108'000 CHF/Jahr	291	29.0	24.7
	Keine Angabe	148	14.7	14.6

Ein weiteres wichtiges soziodemographisches Merkmal ist die Beschäftigungsstruktur der Befragten, die in Tabelle 16 dargestellt ist. Diese wurde hinsichtlich dem Umfang der Erwerbstätigkeit, dem Beschäftigungsverhältnis und den Haupttätigkeiten nichterwerbstätiger Personen erhoben. Auch hier werden die im KEP erhobenen Verhältnisse in der Schweiz durch die Teilnehmer der Befragung sehr gut repräsentiert.

Tabelle 16 Erwerbstätigkeit der Befragten

		Schriftliche Befragung Rücklauf		KEP
		absolut	[%]	[%]
Umfang der Erwerbstätigkeit	Vollzeit	504	50.1	51.4
	Teilzeit (< 37h/W)	209	20.9	20.7
	nicht berufstätig	292	29.1	27.9
Beschäftigungs- verhältnis	Selbst. ohne Angest.	49	4.9	5.1
	Selbst. mit Angest.;	29	2.9	3.4
	Mitarbeiter im Familienbetrieb	4	0.4	0.3
	Arbeitnehmer als Lehrling	11	1.1	1.8
	Arbeitnehmer angestellt in der eigenen AG, GmbH	4	0.4	0.4
	Arbeitnehmer als Direktor, Prokurist, Chefbeamter	17	1.7	1.6
	Arbeitnehmer im mittleren und unteren Kader,	138	13.7	11.7
	Arbeitnehmer als Angestellter, Arbeiter, Praktikant	458	45.6	47.4
	andere Stellung	3	0.3	0.3
Beschäftigung nicht berufstätige	Haushalt	69	6.9	7.0
	In Ausbildung	57	5.7	6.2
	Pensioniert	158	15.7	13.3
	arbeitslos	8	0.8	1.4

Bedeutenden Einfluss auf das Verkehrsverhalten hat auch die Ausstattung der Verkehrsteilnehmer mit Mobilitätswerkzeugen. Unter Mobilitätswerkzeug wird alles verstanden, was die Nutzung eines oder mehrerer Verkehrsmittel kostengünstiger macht. Klassisch gehören dazu insbesondere die Verfügbarkeit von PWs und der Besitz von ÖV-Abonnements. Wie in Tabelle 17 ersichtlich, ist in der vorliegenden Befragung sowohl der

Anteil an Personen, die immer einen PW zur Verfügung haben als auch der Anteil der Abonnement-Besitzer leicht erhöht gegenüber dem KEP. Dies ist insbesondere dadurch zu erklären, dass Personen mit einem Mobilitätswerkzeug in der Regel auch eine höhere Mobilitätsrate aufweisen und dementsprechend auch ein grösseres Interesse an den Auswirkungen neuer Pricing Konzepte haben.

Tabelle 17 Ausstattung der Befragten mit Mobilitätswerkzeugen

		Schriftliche Befragung		KEP
		Anzahl	[%]	[%]
PW Verfügbarkeit	immer	672	66.9	64.4
	gelegentlich	205	20.4	20.4
	nie	128	12.7	15.1
Anzahl PW im Haushalt	0	144	14.3	14.5
	1	499	49.7	47.8
	2	297	29.6	30.6
	3	49	4.9	5.3
	4	11	1.1	1.4
	mehr	54	0.5	0.5
Abonnementsbesitz	GA	161	16.0	13.1
	Halbtax	435	43.3	41.6
	Kein Abonnement	409	40.7	45.3

Wie zu Beginn des Abschnitts erläutert, wurde das Einkommen im Rahmen der KEP Befragung nur in sehr groben Klassen erhoben. Für die Modellierung des Verkehrsverhaltens unter Einfluss von Mobility Pricing ist jedoch eine genauere Angabe über das Haushaltseinkommen wichtig. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Fragebogens „Zur Person und zum Haushalt“ das Einkommen noch einmal in acht feineren Einkommensklassen abgefragt. Die Einkommensklassen sowie die Angaben der Befragten sind in Tabelle 18 aufgezeigt.

Tabelle 18 Haushaltseinkommen der Befragten aus der SP Befragung

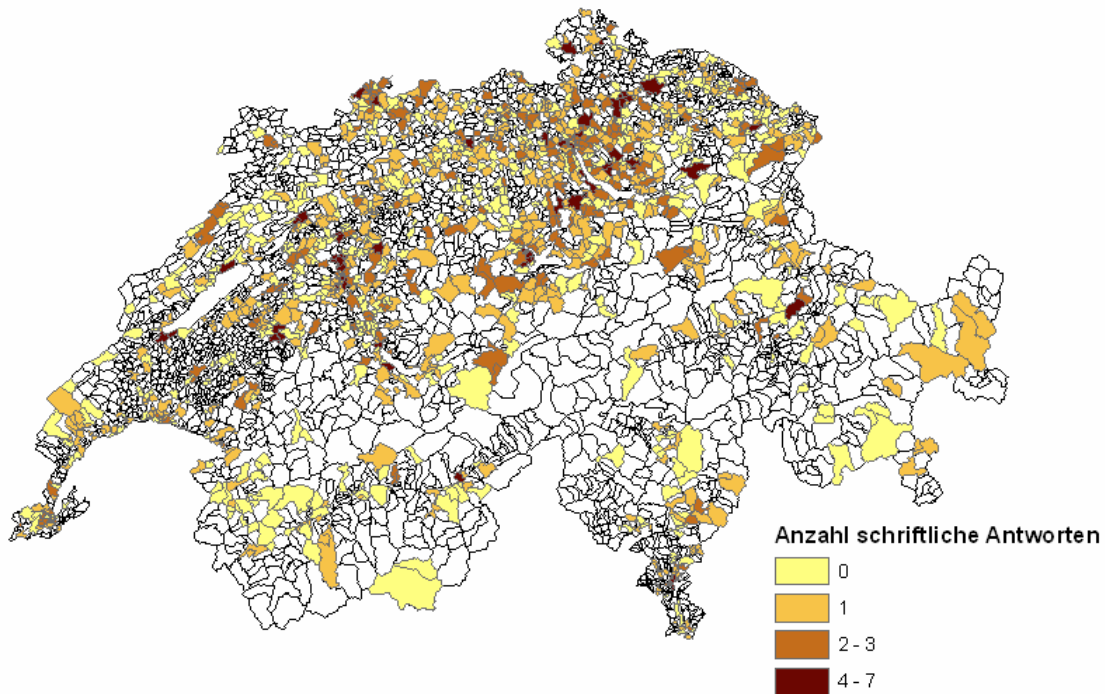
		Schriftliche Befragung	
		Anzahl	[%]
Einkommensklasse [CHF/Jahr]	Weniger als 20'000	28	2.8
	20'000 bis 40'000	27	2.7
	40'000 bis 60'000	55	5.5
	60'000 bis 80'000	98	9.8
	80'000 bis 100'000	86	8.6
	100'000 bis 125'000	58	5.8
	125'000 bis 150'000	40	4.0
	mehr als 150'000	45	4.5
	Keine Angabe	568	56.5

Es ist zu sehen, dass 545 der Befragten keine Angabe zu ihrem Einkommen gemacht haben. Für 392 dieser Befragten waren jedoch Angaben aus der KEP Befragung vorhanden. Da die Einkommensklassen in der Modellschätzung durch die Mittelwerte der Klassen repräsentiert wurden, wurde für diese Befragten der Mittelwert ihrer Einkommensklasse im KEP eingesetzt. Die übrigen Einkommenswerte wurden mit Hilfe einer EM Missing Value Analysis in SPSS geschätzt. Berücksichtigt wurden dabei die Beschäftigung einschliesslich Umfang und Art der Erwerbstätigkeit bzw. der Nicht-Erwerbstätigkeit, PW-Besitz, Alter, Haushaltsgrösse, Geschlecht sowie das Bildungsniveau.

### 6.5.2 Räumliche Verteilung

Des Weiteren wurde die räumliche Struktur des Befragungsrücklaufs untersucht. Dazu wurden die Wohnorte der Befragten untersucht. Abbildung 17 zeigt die räumliche Verteilung der Befragten. Es ist zu sehen, dass weite Teile der Schweiz und auch die verschiedenen Landesteile gut abgedeckt wurden, wie bereits aus der Verteilung der Sprachen in Tabelle 15 der Befragten zu sehen war.

Abbildung 17 Räumliche Verteilung des Befragungsrücklaufs



Die Aufstellung der Gemeindetypen, in denen die Befragten leben, ist in Tabelle 19 dargestellt. Diese zeigt, dass es gelungen ist einen guten Querschnitt der Schweizerischen Bevölkerung zu erfassen. 15.3% der Befragten leben in Grosszentren, 24.9% in den dazugehörigen Nebenzentren und Agglomerationen. 27.6% wohnen in kleineren und mittleren Zentren und ihren Agglomerationen. Der Anteil der Personen in ländlichen und Wegpendlergemeinden macht 22% aus.

Tabelle 19 Gemeindetyp des Wohnorts der Befragten

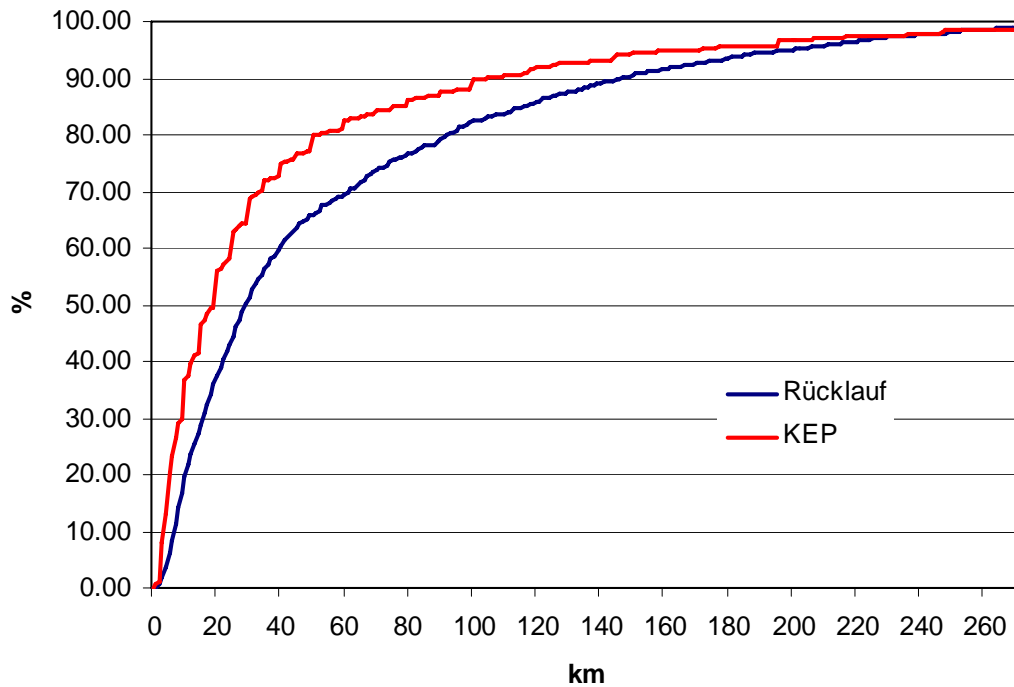
	Schriftliche Befragung		KEP
	Anzahl	[%]	[%]
Grosszentrum	154	15.3	15.4
Nebenzentrum eines Grosszentrums	74	7.4	7.0
1. Gürtel grosse Agglomeration	116	11.5	12.7
2. Gürtel grosse Agglomeration	60	6.0	5.3
Zentrum mittlere/ kleine Agglomeration	94	9.4	9.6
1. Gürtel mittlere/ kleine Agglomeration	67	6.7	7.1
2. Gürtel mittlere/ kleine Agglomeration	116	11.5	10.7
Kleinzentrum	47	4.7	4.8
Wegpendlergemeinde	68	6.8	6.7
Industrielle/ tertiäre Gemeinde	88	8.8	8.7
Semiagratische Gemeinde	81	8.1	7.8
Agratische Gemeinde	24	2.4	2.4
Touristische Gemeinde	16	1.6	1.8

## 6.6 Charakteristika der SP-Wege

Wie in Absatz 6.1 beschrieben wurden die SP-Experimente für Wege konstruiert, die die Befragten im Rahmen der KEP-Befragung berichtet hatten. Dies geschah, um den Realitätsbezug zu erhöhen und dem Befragten das Ausfüllen der Experimente zu erleichtern. Da die Befragten im Rahmen der KEP Befragung mehrere Wege berichtet hatten, musste für jede Person der am besten geeignete Weg ausgewählt werden. Dies geschah anhand verschiedener Kriterien, besonders sollten aber die Fahrtweitenverteilung und die Anteile der Fahrtzwecke aus der KEP Befragung möglichst genau nachgebildet werden.

Abbildung 18 zeigt die Fahrtweitenverteilung der SP-Wege im Vergleich zu den KEP-Wegen. Es ist zu sehen, dass die SP-Wege der Befragten tendenziell länger sind als die Gesamtzahl der Wege in der KEP-Befragung. Dies liegt insbesondere daran, dass für die Befragung gezielt Wege über 3 km ausgewählt wurden, da diese sich für eine SP-Befragung bezüglich Road Pricing wesentlich besser eignen. Dementsprechend liegt der Mittelwert der Reisedistanz bei den SP-Wegen mit 55.6 km auch deutlich höher als in der KEP Befragung. Dort beträgt die mittlere Reisedistanz 40.1 km.

Abbildung 18 Fahrtweitenverteilung der SP-Wege



In Bezug auf die Anteile der Fahrtzwecke zeigt Tabelle 20 einen gegenüber dem KEP leicht erhöhten Anteil an Einkaufs und Nutzfahrten und dafür einen geringeren Anteil an Pendlerfahrten. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass gezielt mehr Nutzfahrt und Einkaufswege ausgewählt wurden, da bisherige Erfahrungen gezeigt haben, dass für diese Fahrten der Rücklauf geringer ist, was zu geringen Stichprobengrößen führen kann. Dies ist hier erfreulicherweise nicht der Fall.

Tabelle 20 Fahrtzweckanteile der SP-Wege

Fahrtzweck	Rücklauf: Anzahl	Rücklauf: Anteil	Versand: Anteil	KEP: Anteil
Pendler	250	0.25	0.27	0.40
Einkauf	150	0.15	0.15	0.11
Nutzfahrt	173	0.17	0.16	0.10
Freizeit	432	0.43	0.43	0.39
Summe	1005	1.00	1.00	1.00

## 6.7 Trader und Non-Trader

Als Non-Trader in SP-Experimenten werden die Befragten bezeichnet, die sich bei jeder der vorgelegten Situationen für die gleiche Alternative also zum Beispiel immer für die Fahrt mit dem ÖV entschieden haben, unabhängig davon, wie die Eigenschaften der vorgelegten Alternativen waren. Dies kann aus verschiedenen Gründen geschehen, von denen ein Grossteil in den soziodemographischen Charakteristika der Personen zu finden ist. Beispielsweise wird sich eine Person, die keinen PW zur Verfügung, sich auch dann nicht für eine Fahrt mit dem PW entscheiden, wenn diese zeitlich und preislich günstiger wäre. Da dies dem realen Verhalten der Personen entspricht ist es nicht sinnvoll, diese Befragten aus der Modellschätzung herauszunehmen. Vielmehr müssen die Modellparameter auch dieses Verhalten anhand soziodemographischer Variablen in geeigneter Weise erklären um ein realistisches Modell des Verhaltens zu bekommen. Daher ist es wichtig, zuvor den Anteil der Non-Trader in den einzelnen SP-Experimenten zu kennen. Dieser ist in Tabelle 21 zu dargestellt.

Tabelle 21 Non-Trader in den SP-Experimenten

		Schriftliche Befragung	
		Anzahl	[%]
SP1: Politisches SP	Non-Trader Pro Mobility Pricing	163	16.6
	Non-Trader Contra Mobility Pricing	160	16.2
	Summe	323	32.8
SP2: Routenwahl	Non-Trader Route ohne Pricing	78	14.7
	Non-Trader Route mit Pricing	61	11.5
	Summe	139	26.2
SP3: Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl	Non-Trader ÖV	207	30.4
	Non-Trader MIV	186	27.3
	Summe	393	57.6
SP4: Routen- und Verkehrsmittelwahl	Non-Trader ÖV	162	24.2
	Non-Trader MIV	165	24.7
	Summe	327	48.9



Es zeigt sich, dass in allen Experimenten ein nicht unerheblicher Prozentsatz der Befragten Non-Trader waren. Dies unterstreicht die Bedeutung der soziodemographischen Charakteristika für die anschließenden Modellschätzungen. Der Anteil der Non-Trader in der Verkehrsmittelwahl ist wie zu erwarten höher als in der Routenwahl. Bei der Routenwahl ist davon auszugehen, dass sich das Verhalten der Non-Trader nicht alleine aus den soziodemographischen Variablen erklären, sondern auch aus der politischen Einstellung der Befragten. Dieser Effekt wurde dadurch abgebildet, dass für jeden Befragten die Ergebnisse aus dem politischen SP in die Modellschätzung zur Routenwahl einfließt.

## 7 Stated Preference Befragungen: Strategische Entscheidungen

Ziel des zweiten Teils der Stated Preference Befragung ist es, den Einfluss von Mobility Pricing Massnahmen auf den Besitz von Mobilitätswerkzeugen und die Wohnstandortwahl herauszuarbeiten. Die Befragung wurde in mündlichen eins-zu-eins Interviews durchgeführt. Die Fragebögen wurden datenbankbasiert für jede befragte Person individuell erstellt und direkt unter Mithilfe des Interviewers am Laptop ausgefüllt. In diesem Kapitel werden der Aufbau des computerbasierten Fragebogens, die Konstruktion der SP-Experimente sowie der organisatorische Ablauf der Befragung erläutert. Qualitative Erfahrungen der Befragter sowie einfache beschreibende Analysen schliessen das Kapitel ab.

### 7.1 Aufbau der Befragung

Die Befragung lässt sich in zwei Teile gliedern: Im ersten Teil werden relevante Grössen des Haushalts, des Mobilitätswerkzeugbesitzes, der Wohnung und deren Lage erfasst. Basierend auf diesen Grössen wird im zweiten Teil der Befragung die Reaktion der Befragten auf Änderungen dieser Situation eruiert: SP5 behandelt die Mobilitätswerkzeugwahl bei veränderten Kosten und Fahrzeiten aber gleich bleibendem Wohnort. In SP6 geben die Befragten an, wie sie Ihre Jahresfahrleistungen bei nach Strassentyp und Verkehrsmittel differenzierten Änderungen der Kostenvariablen anpassen würden. SP7 untersucht die Wahl der Mobilitätswerkzeuge bei verändertem Wohnstandort.

#### 7.1.1 Fragen zum Haushalt und aktuellem Mobilitätswerkzeugbesitz

Die Fragen zum Haushalt umfassen einerseits eine Beschreibung des Wohnortes und der im Haushalt lebenden Personen (Tabelle 22), andererseits Angaben zu täglichen Wegen (bspw. Arbeitsweg), Mobilitätswerkzeugbesitz sowie Nutzung und Kosten der verschiedenen Verkehrsträger (Tabelle 23).

Tabelle 22 Haushaltsbeschreibende Variablen und deren Ausprägungen

Attribut	Ausprägungen
Wohnlage	Innenstadt, Kernstadt, Stadtrand/Vorort, ländlicher Raum
Art der Wohnung	Einfamilienhaus, Reihenhaus, Etagenwohnung
Garten	Ja/Nein
Balkon	Ja/Nein
Parkplatzverfügbarkeit	Kein Parkplatz verfügbar, Garage am Haus, Strassenrand kostenpflichtig, Strassenrand
Grösse der Wohnung	freie Eingabe [m <sup>2</sup> ]
Monatliche Miete/Hypozinsbelastung	freie Eingabe [CHF]
Fahrzeit zu nächst grösserem Einkaufszentrum mit PW und ÖV	freie Eingabe [min]
Fahrtakt des ÖV (tagsüber)	freie Eingabe [min]
Entfernung zur nächsten Haltestelle	freie Eingabe [Meter]
Anzahl im Haushalt wohnende Personen	
Davon Erwachsene	

Während des Pretests führte die Angabe der monatlichen Miete bei Haus-/Wohnungseigentümern immer wieder zu Schwierigkeiten. Obwohl die Befragenden geschult wurden in diesem Fall nach dem Eigenmietwert respektive der Vergleichsmiete zu fragen, konnten nicht immer verlässliche Angaben erhalten werden. Die Angaben wurden dann in einer Datenbank gespeichert und bildeten gemäss der Logik adaptiven Designs die Grundlage für die SP-Szenarien.

Tabelle 23 Angaben zu täglichen Wege und Mobilitätswerkzeugbesitz und -nutzung

Attribut	Ausprägungen, Erläuterungen
Tägliche Verpflichtungen der Haushaltsmitglieder (z.B. Arbeit)	Ja, Nein
Distanz zur täglichen Verpflichtung, Fahrzeit mit PW und ÖV	freie Eingabe [km] / [min]
Angebot Parkplatz am Arbeitsort	Ja, gratis; Ja, kostenpflichtig; Nein
Hauptsächlich benutzter PW Typ für jedes erwachsenen Haushaltsmitglieds	Kein PW, Kleinwagen, Kompaktwagen, Mittelklassewagen, Grossraumlimousine, Oberklassewagen
Nutzung Autobahnen, Überlandstrassen, städtischen Strassen	Jahresfahrleistung in km für jeden PW-Nutzer
Anzahl vorhandener PW im Haushalt	
Besitz von ÖV-Abonnements	Kein, ÖV-Monatskarte, ÖV-Jahreskarte (Verkehrsverbund), GA 1. Klasse, GA 2. Klassen, GA Junior/Senior, Halbtax
Nutzung des öffentlichen Verkehrs	Anzahl Kilometer pro Jahr (mit Schätzhilfe ermittelbar)
Kosten des Abonnements	Frei Eingabe, wahlweise pro Monat/Jahr

Da die Befragten im Pretest bei der Angabe der Jahresfahrleistung mit dem öffentlichen Verkehr oftmals Mühe bekundeten, wurde eine Schätzhilfe angeboten. Dabei wurden Distanzangaben bezüglich des Wegs zur Arbeit, zum Einkaufen und zu Freizeitaktivitäten mit den Faktoren 400 respektive 150 multipliziert. Legt der Befragte die Wege nicht regelmässig mit dem ÖV zurück, sollte er die Angaben gemäss der Nutzungshäufigkeit verkleinern. Die definitive Eingabe erfolgte aber gesondert von der Schätzhilfe.

Aufgrund der Angaben zur PW-Nutzung und Anzahl der im Haushalt vorhandenen PW konnten gemeinsam genutzte PW ausgemacht werden. Die Fixkosten gemeinsam benutzter PW wurden proportional zur Jahresfahrleistungen auf die Nutzer aufgeteilt. Gemäss den gemachten Angaben nutzen aber nur 10.4% der Befragten Personenwagen gemeinsam.

## 7.1.2 SP Experimente zu Mobilitätswerkzeugbesitz, -nutzung und Wohnstandortwahl

*SP5: Mobilitätswerkzeugbesitz bei veränderten Fahrkosten / ÖV Angebot und gleich bleibendem Wohnort.*

In diesem Frageteil mussten die Befragten aufgrund veränderter Grössen der Reisezeiten, Angebotsqualität des öffentlichen Verkehrs (Taktfolgezeit) und Kosten ihren Mobilitätswerkzeugbesitz überdenken. Die Befragten konnten auf die veränderte Situation mittels Wechsel des PW-Typs, des ÖV-Abonnements sowie der PW-Kilometerleistung reagieren, wie Abbildung 19 zeigt. Je nach Wahl des Befragten, berechnete dabei die Software die entsprechenden Kosten. Den Befragten wurden jeweils sechs Situationen vorgelegt.

Abbildung 19 Screenshot der Befragungssoftware, Befragungsteil SP5

**9. Entscheidungsexperiment 1: Wahl des Mobilitätskonzepts**

**Auto oder ÖV - oder beides: Das ist jetzt die Frage!**

Es verändern sich die Kosten für das Autofahren und das ÖV-Abonnement. Daneben ändern sich die Fahrzeiten.  
Wählen Sie Ihr Mobilitätskonzept!

Ihr Haushalt: 2 Personen, davon 2 Erwachsene Situation 1/6

<b>Wohnlage</b>	Innenstadt
<b>Art der Wohnung</b>	Etagenwohnung mit Balkon und Garten
<b>Wohnungsgrösse</b>	78 m <sup>2</sup>

<b>Ihre Kosten pro Monat</b>	
Miete / Hypothekenzinsen	CHF 1'890
PW-Kosten	CHF 0
ÖV-Kosten	CHF 204
<b>Gesamtkosten</b>	<b>CHF 2'094</b>

<b>PW-Reisezeit zur Arbeit</b>	12 min
<b>ÖV-Reisezeit zur Arbeit</b>	27 min
<b>PW-Reisezeit zum Einkauf</b>	5 min
<b>ÖV-Reisezeit zum Einkauf</b>	4 min
<b>Fahrtakt ÖV (am Tag)</b>	5 min
<b>Entfernung zur Haltestelle</b>	200 Meter

Zahl der Personenwagen im Haushalt

a  b

Jahresfahrleistung PW  km  km

ÖV

Die Befragung wurde jeweils mit der erstgenannten Person durchgeführt, da zum Interviewtermin jeweils nicht alle Haushaltsmitglieder anwesend waren. Weil PW-Besitz/-Nutzung aber oftmals durch Abhängigkeiten zwischen den Haushaltsmitgliedern geprägt ist, wurde Person 1 gebeten auch für die weiteren Personen Angaben zu machen.

Die Szenarien wurden durch faktorielle Anpassung der angegebenen Werte zu Reisezeiten und ÖV-Qualität generiert. Die verwendeten Faktoren sind aus Tabelle 24 ersichtlich. Den Gegebenheiten und Zielen von Mobility Pricing folgend wurden die Faktoren so gewählt, dass die Mobilitätskosten eher steigen, die Reisezeiten dagegen geringer werden. In einer ersten Befragungsphase wurden die variablen PW Kosten mit den Faktoren 1/1.2/1.5 verändert. Aufgrund der geringen Reaktionen der Befragten auf die veränderten Kosten wurden die Faktoren angepasst.

Tabelle 24 Ausprägungen SP5: Wahl des Mobilitätswerkzeugs bei veränderten Kosten

Einflussgrösse	Faktoren (multipliziert mit heutigem Wert)
Preis ÖV-Ticket	0.8 / 0.95 / 1.2
Preis variable Kosten IV	1 / 1.2 <sup>2</sup> / 1.5 / 2 <sup>3</sup>
Reisezeit zur Arbeit PW	1/(Faktor variable Kosten IV) * 0.95/1.05/1.25
Reisezeit zur Arbeit ÖV	1/(Faktor Kosten ÖV) * 0.8/0.9/1.0
Reisezeit zum Einkauf PW	0.8 / 0.9 / 1.0
Reisezeit zum Einkauf ÖV	0.85 / 0.95 / 1.15
Taktfolgezeit	gleich bleibend/ eine Stufe besser / zwei Stufen besser <sup>4</sup>
Preis ÖV-Ticket	0.8 / 0.95 / 1.2
Preis variable Kosten IV	1 / 1.2 <sup>5</sup> / 1.5 / 2 <sup>6</sup>

<sup>2</sup> nur in erster Phase befragt

<sup>3</sup> in zweiter Phase befragt

<sup>4</sup> Taktfolgezeiten: 5, 8, 10, 12, 15, 20, 30, 60, 120

<sup>5</sup> nur in erster Phase befragt

<sup>6</sup> in zweiter Phase befragt

Aus den  $3^7$  möglichen Kombinationen wurden unter Vermeidung von Korrelationen 18 Szenarien ausgewählt, wovon jeweils 6 Szenarien einem Befragten vorgesetzt wurden.

Die Berücksichtigung finanzieller Aspekte erfolgte über Preisänderungen der ÖV-Abonnemente respektive der variablen PW-Kosten. Dabei wurden bezüglich der Basiskosten die in Tabelle 25 angegebenen Annahmen getroffen:

Tabelle 25 Basiskosten (ÖV monatlich) Mobilitätswerkzeuge

Öffentlicher Verkehr (monatliche Kosten)	Innen- und Kernstadt	Stadtrand/Vorort, Ländlicher Ram
Monatskarte	54	134
Jahreskarte	42	101
GA 1- Klasse	392	392
GA 2. Klasse	250	250
GA 2. Klasse, Junior /Senior	183	183
Halbtax (inkl. 40 CHF /Mt Fahrkosten)	52.5	52.5
	Fixe Kosten (bleiben unverändert)	variable Kosten
IV (Variable Kosten)	386.0	0.187
Kleinwagen	441.3	0.203
Kompaktwagen	585.2	0.254
Mittelklassewagen	952.7	0.349
Grossraumlimousine	1450.5	0.49
Oberklassewagen	386.0	0.187

Durch dieses Vorgehen ergaben sich natürlich Abweichungen zu den im ersten Befragungsteil vom Befragten gemachten Angaben der Mobilitätskosten. Aufgrund des Stated Preference Ansatzes führt dies aber zu keinen Problemen, da untersucht werden soll, wie die Befragten unter veränderten Kostenbedingungen entscheiden würden. Wichtig dabei ist einzig, dass die

Kosten glaubwürdig erscheinen, was durch die Verwendung obgenannter Angaben erreicht wird.

### SP6: Mobilitätswerkzeugbesitz und -nutzung bei veränderten Kosten

Im zweiten Befragungsteil wurde die Reaktion auf nach Strassentyp und Modus separierte Preisänderungen bezüglich Mobilitätswerkzeugbesitz und deren Nutzung untersucht. Abbildung 20 zeigt ein entsprechendes Szenario, welches sechsmal zu beantworten war. Um die Befragung möglichst intuitiv und glaubwürdig zu gestalten, wurde zunächst nach einer Einschätzung aktuell gefahrener Geschwindigkeiten gefragt. Differiert nach Autobahnen, Überlandstrassen und städtischen Strassen für IV und nach Verbindung (national, regional, lokal) für den ÖV mussten die Befragten ihre Einschätzungen abgeben.

Abbildung 20 Screenshot der Befragungssoftware, Befragungsteil SP7

**10. Entscheidungsexperiment 2: Umschichtung der zurückgelegten Strecken**

Neu: Strassengebühren! - Dafür schnellere Fahrt.  
Ändert sich Ihr Mobilitätsverhalten?

Teilen Sie nun Ihre Jahresverkehrsleistung auf!  
Beachten Sie dabei die sich **ändernden Kosten** und **möglichen Durchschnittsgeschwindigkeiten**.

Situation 1/6

Wohnlage	Innenstadt
Art der Wohnung	Etagenwohnung mit Balkon und Garten
Wohnungsgrösse	120 m <sup>2</sup>

Durchschnittsgeschwindigkeit	
Autobahnen	105 km/h (Bisher: 105km/h)
Überlandstrassen	63 km/h (Bisher: 70km/h)
Städtische/lokale Strassen	28 km/h (Bisher: 28km/h)
ÖV	26 km/h (Bisher: 20km/h)

Preisänderung	
Autobahnen	gleichbleibend
Überlandstrassen	+ 30%
Städtische/lokale Strassen	gleichbleibend
ÖV	gleichbleibend

Kosten und Reisezeiten pro Monat	
PW-Kosten	604 CHF
ÖV-Kosten	83 CHF
PW-Reisezeit	13 h
ÖV-Reisezeit	6 h

a

PW:

ÖV:

Jahresfahrleistung:

km auf Autobahnen:  Bisher: 5000 km

km auf Überlandstrassen:  Bisher: 5000 km

km auf städtischen/lokalen Strassen:  Bisher: 2000 km

km im ÖV-Netz:

Blau hinterlegt werden die Durchschnittsgeschwindigkeiten sowie die Preisänderungen gemäss Versuchsplan der jeweiligen Situationen beschrieben. Je nach Mobilitätswerkzeug und Kilometerleistungen werden die entsprechenden Kosten berechnet und im roten Fenster angegeben. Per Klick auf ‚Nächste Situation‘ werden die Daten abgespeichert und eine neue Situation aufgerufen. Dies wiederholt sich sechsmal.



Die Berechnung der Kosten gestaltet sich für den IV gemäss SP5. Die ÖV-Kilometerkosten berechnen sich abhängig von der gewählten Jahresfahrleistung und dem ÖV-Abonnement.

Wie schon in SP5 werden die Situationen durch faktorielle Anpassung der Ausgangswerte generiert. Tabelle 26 listet die entsprechenden Faktoren auf.

Tabelle 26 Ausprägungen SP6: Mobilitätswerkzeugbesitz – und Nutzung bei veränderten Kosten

Einflussgrösse	Faktoren (multipliziert mit heutigem Wert)
Geschwindigkeit Autobahn	0.8/1.0/1.15
Geschwindigkeit Überlandstrasse	0.9/1.0/1.1
Geschwindigkeit Ortsstrasse	0.9/1.0/1.1
Geschwindigkeit ÖV	1/1.1/1.3
Preis ÖV	0.85/1.0/1.2
Variable Kosten Autobahn	1.0/1.2/1.4
Variable Kosten Überlandstrasse	0.9/1.0/1.3
Variable Kosten Ortsstrasse	0.9/1.0/1.2

Aus den 3<sup>8</sup> möglichen Szenarien wurden 18 ausgewählt und einem Befragten jeweils sechs vorgelegt. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass es sich im Kontext von Mobility Pricing um sinnvolle Szenarien handelt, die Variablen zugleich aber keine Korrelationen aufweisen.

*SP7a: Mobilitätswerkzeugbesitz bei veränderter Wohnlage*

SP7 entspricht vom Fragebogenlayout her SP5, unterscheidet sich aber dadurch, dass die Wohnlage sich zwar verändert, die Kosten für Mobilitätswerkzeuge aber konstant bleiben. Ziel ist es, Angaben zur Abhängigkeit von Wohnort und Mobilitätswerkzeugbesitz zu bekommen. Wiederum mussten die Befragten angeben, welche Mobilitätswerkzeuge sie unter den gegebenen Situationen wählen würden.

Anders als in SP5 wurden nicht die angegebenen Attribute des Wohnstandorts verändert sondern jeweils neue Wohnstandorte beschrieben. Tabelle 27 weist, abhängig von der

Wohnlage, die möglichen Attributswerte aus. Der Versuchsplan umfasst 72 Möglichkeiten aus dem pro Interview acht Situationen vorgelegt wurden.

Tabelle 27 SP7a: Mobilitätswerkzeugbesitz bei veränderter Wohnlage: Ausprägungen nach Situation (1)

Wohnlage	ÖV zu Arbeit [min]	ÖV zum Einkauf [min]	PW zu Arbeit [min]	PW zum Einkauf [min]	Taktfolgezeit [min]	Distanz zur Haltestelle [m]
Innenstadt	10, 20	5, 10	10, 20, 30	5, 10	5, 10	100, 200, 300
Kernstadt	10, 20	5, 10	10, 20, 30	5, 10	10, 15	100, 200, 300
Stadtrand/Vorort	20, 30, 40	15, 30	20, 30, 40,	10, 20	15, 30	100, 300, 500
ländlicher Raum	30, 45, 60	30, 45	30, 45, 60	15, 30	30, 60	300, 500, 700

Die Wohnkosten werden entsprechend der Wohnlage und Wohnungsgrösse angegeben. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Wohnfläche über eine Grundfläche plus eine zusätzliche Fläche je Haushaltsmitglied ergibt. Diese Quadratmeterzahl wurde dann mit unterschiedlichen monatlichen Kosten multipliziert, wie in Tabelle 28 angegeben.

Tabelle 28 Ausprägungen SP6: Mobilitätswerkzeugbesitz – und Nutzung bei veränderten Kosten

Lage	Typ	Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Zusätzliche Fläche pro Person [m <sup>2</sup> ]	monatliche Kosten pro m <sup>2</sup> [CHF]
Innenstadt		30	20	17
Kernstadt	Reihenhaus	30	20	18
Kernstadt	Wohnung	30	20	16
Stadtrand/Vorort	Einfamilienhaus	50	20	11
Stadtrand/Vorort	Reihenhaus	40	20	10
Stadtrand/Vorort	Wohnung	30	20	9
Stadtrand/Vorort	Einfamilienhaus	60	25	9
ländlicher Raum	Reihenhaus	50	25	8

*SP7b: Standortwahl*

Der letzte Teil der Befragung wurde als Stated Choice Experiment gestaltet, bei dem sich die Befragten zwischen zwei der in SP7a beantworteten Situationen entscheiden mussten. In acht, wie in Abbildung 21 dargestellten Situationen, mussten die Befragten ihre Präferenz angeben.

Abbildung 21 Screenshot der Befragungssoftware, Befragungsteil SP7

**Wohnungswechsel: Wie wichtig ist die Verkehrsanbindung ?**

Wählen Sie eine der zwei Wohnungen mit jeweiligen Verkehrsmitteln! Beachten Sie dabei die unterschiedlichen Kosten und Fahrzeiten.

**Situation 1/8**

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><b>Lage:</b></td><td colspan="2">Ländlicher Raum mit Garten</td></tr> <tr><td><b>Art:</b></td><td colspan="2">Einfamilienhaus</td></tr> <tr><td><b>Wohnkosten</b></td><td colspan="2">1215 CHF</td></tr> <tr><td><b>PW:</b></td><td>Fahrzeit zur Arbeit</td><td>30 min</td></tr> <tr><td><b>ÖV:</b></td><td>Fahrzeit zur Arbeit</td><td>30 min</td></tr> <tr><td></td><td>Fahrzeit zum Einkauf</td><td>30 min</td></tr> <tr><td></td><td>Fahrzeit zum Einkauf</td><td>45 min</td></tr> <tr><td></td><td>Fahrtakt</td><td>60 min</td></tr> <tr><td></td><td>nächste Haltestelle</td><td>500 m</td></tr> <tr><td><b>Gesamtkosten</b></td><td colspan="2">1715 CHF</td></tr> <tr><td colspan="3"><b>gewählte Flotte:</b></td></tr> <tr><td colspan="3">2 x GA 2. Klasse</td></tr> </table>	<b>Lage:</b>	Ländlicher Raum mit Garten		<b>Art:</b>	Einfamilienhaus		<b>Wohnkosten</b>	1215 CHF		<b>PW:</b>	Fahrzeit zur Arbeit	30 min	<b>ÖV:</b>	Fahrzeit zur Arbeit	30 min		Fahrzeit zum Einkauf	30 min		Fahrzeit zum Einkauf	45 min		Fahrtakt	60 min		nächste Haltestelle	500 m	<b>Gesamtkosten</b>	1715 CHF		<b>gewählte Flotte:</b>			2 x GA 2. Klasse			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><b>Lage:</b></td><td colspan="2">Innenstadt mit Balkon</td></tr> <tr><td><b>Art:</b></td><td colspan="2">Etagenwohnung</td></tr> <tr><td><b>Wohnkosten</b></td><td colspan="2">1530 CHF</td></tr> <tr><td><b>PW:</b></td><td>Fahrzeit zur Arbeit</td><td>20 min</td></tr> <tr><td><b>ÖV:</b></td><td>Fahrzeit zur Arbeit</td><td>30 min</td></tr> <tr><td></td><td>Fahrzeit zum Einkauf</td><td>10 min</td></tr> <tr><td></td><td>Fahrzeit zum Einkauf</td><td>10 min</td></tr> <tr><td></td><td>Fahrtakt</td><td>10 min</td></tr> <tr><td></td><td>nächste Haltestelle</td><td>300 m</td></tr> <tr><td><b>Gesamtkosten</b></td><td colspan="2">2310 CHF</td></tr> <tr><td colspan="3"><b>gewählte Flotte:</b></td></tr> <tr><td colspan="3">1 x Kleinwagen</td></tr> <tr><td colspan="3">1 x GA 2. Klasse</td></tr> </table>	<b>Lage:</b>	Innenstadt mit Balkon		<b>Art:</b>	Etagenwohnung		<b>Wohnkosten</b>	1530 CHF		<b>PW:</b>	Fahrzeit zur Arbeit	20 min	<b>ÖV:</b>	Fahrzeit zur Arbeit	30 min		Fahrzeit zum Einkauf	10 min		Fahrzeit zum Einkauf	10 min		Fahrtakt	10 min		nächste Haltestelle	300 m	<b>Gesamtkosten</b>	2310 CHF		<b>gewählte Flotte:</b>			1 x Kleinwagen			1 x GA 2. Klasse		
<b>Lage:</b>	Ländlicher Raum mit Garten																																																																											
<b>Art:</b>	Einfamilienhaus																																																																											
<b>Wohnkosten</b>	1215 CHF																																																																											
<b>PW:</b>	Fahrzeit zur Arbeit	30 min																																																																										
<b>ÖV:</b>	Fahrzeit zur Arbeit	30 min																																																																										
	Fahrzeit zum Einkauf	30 min																																																																										
	Fahrzeit zum Einkauf	45 min																																																																										
	Fahrtakt	60 min																																																																										
	nächste Haltestelle	500 m																																																																										
<b>Gesamtkosten</b>	1715 CHF																																																																											
<b>gewählte Flotte:</b>																																																																												
2 x GA 2. Klasse																																																																												
<b>Lage:</b>	Innenstadt mit Balkon																																																																											
<b>Art:</b>	Etagenwohnung																																																																											
<b>Wohnkosten</b>	1530 CHF																																																																											
<b>PW:</b>	Fahrzeit zur Arbeit	20 min																																																																										
<b>ÖV:</b>	Fahrzeit zur Arbeit	30 min																																																																										
	Fahrzeit zum Einkauf	10 min																																																																										
	Fahrzeit zum Einkauf	10 min																																																																										
	Fahrtakt	10 min																																																																										
	nächste Haltestelle	300 m																																																																										
<b>Gesamtkosten</b>	2310 CHF																																																																											
<b>gewählte Flotte:</b>																																																																												
1 x Kleinwagen																																																																												
1 x GA 2. Klasse																																																																												
<input type="button" value="Ich wähle dieses Heim"/>	<input type="button" value="Ich wähle dieses Heim"/>																																																																											

## 7.2 Durchführung der Befragung und Antwortbereitschaft

### 7.2.1 Organisation und Rücklaufquote

Die Befragung hängt organisatorisch an der schriftlichen SP-Befragung an. Der schriftlichen Befragung war ein Formular beigelegt, mit dem man seine Bereitschaft an einem mündlichen, rund eine Stunde dauernden Interview erklären konnte. Als Anreiz wurde in einer ersten Phase 25 Franken geboten. Da die Bereitschaftsquote mit 23.9% (relativ zur Anzahl beantworteter schriftlichen Fragebögen) geringer war als erwartet, wurde dieser Betrag dann auf 40 Franken erhöht, wodurch die Quote auf 27.4% anstieg. Nimmt man als Basis alle ausgesandten schriftlichen Fragebogen beträgt die Rücklaufquote 12%.

Tabelle 29 zeigt das Antwortverhalten, aufgegliedert nach den verschiedenen Rekrutierungsschritten. Die relativ hohe Anzahl der Verweigerer der mündlichen Befragung erstaunt, zumal diese Personen bereits im Vorfeld ihr Einverständnis gaben. Von den 63

Verweigerern sind aber 42 aus der Gruppe der direkt rekrutierten Personen, die am Telefon ihr Einverständnis gaben. Die Kategorie ‚nicht zugeteilt‘ umfasst Personen, die in sehr abgelegenen Regionen wohnen und somit zeitaufwändige Anfahrten der Interviewer erforderlich hätten. Aufgrund einer Kosten/Nutzenabwägung wurden die Interviews bei diesen Personen nicht durchgeführt. Der Aufwand in derart entlegenen Gebiete zu befragen lässt sich durch die nur geringfügig verbesserte räumliche Streuung der Stichprobe nicht rechtfertigen.

Tabelle 29 Antwortbereitschaft

	Anzahl	Bereitschaftsrate
Briefe versandt	2249	100%
Teilnahme schriftlicher Teil	1047	46.6%
Bereitschaft mündlich	266	11.8%
Direkt rekrutierte	161	19.3% <sup>7</sup>
Nicht erreicht mündlich	12	2.8% <sup>8</sup>
Verweigert mündlich	63	14.8% <sup>7</sup>
Nicht zugeteilt	42	9.8% <sup>7</sup>
Datenbank Dichter	100	-

Die Befragung wurde durch das Motiv- und Marketingforschungsinstitut Dichter Research, Zürich zwischen Januar und März 2006 durchgeführt. In zwei Schulungen, einer auf deutsch in Zürich und einer auf französisch in Lausanne, wurden die Befrager geschult und erhielten einen schriftlichen Leitfaden. Dichter Research erhielt zweiwöchentlich Adressen und Telefonnummer der Befragten, aufgrund derer die Interviewer die Termine direkt mit den Befragten verabredeten. Die Interviews wurden entweder beim Befragten zu Hause oder an einem von ihm gewünschten Ort durchgeführt.

<sup>7</sup> Im Verhältnis zur Teilnehmerzahl KEP-Interview

<sup>8</sup> Im Verhältnis zur Anzahl schriftlich oder mündlich rekrutierter Teilnehmer

Da die Zielvorgabe von 400 realisierten Interviews mittels Rekrutierung über die schriftliche Befragung nicht erreicht werden konnte, wurde während drei Wochen die Teilnahmebereitschaft an einem mündlichen Interview direkt am KEP-Interview abgeklärt. Gegen Ende der Befragung wurde dann noch mit Kontakten des Datenstamms des beauftragten Befragungsinstituts 100 Interviews durchgeführt. Zu diesen Interviews mussten ergänzend die im KEP befragten soziodemographischen Variablen erfasst werden. Von den am Schluss 410 realisierten Interviews, wurden 191 mit SP5 und SP6 und 219 mit SP 5 und SP7 befragt.

### 7.2.2 Soziodemographie

Wie bereits die Teilnehmer der schriftlichen Befragung wurde auch die der mündlichen Befragung auf Repräsentativität geprüft. Als Vergleich wird wiederum die KEP-Befragung herangezogen. Daneben soll ein Vergleich mit den Teilnehmern der schriftlichen Befragung mögliche Unterschiede zum Face-to-Face Interview aufzeigen.

Tabelle 30 zeigt die Übersicht der erhobenen soziodemographischen Charakteristika im Vergleich mit den Anteilen in der KEP-Befragung. Weiter finden sich jeweils Informationen zum Anteil der SP-Antworten mit, im Vergleich zum heutigen Zustand, verändertem PW-Besitz. Eine Person gilt als Non-Trader, wenn sie Ihre PW-Nutzung für keine der vorlegten Situationen gegenüber der heutigen Nutzung geändert hat. Dabei wurden nur die Angaben der interviewten Person, nicht aber die der weiteren Haushaltsmitglieder berücksichtigt.

Wie schon beim schriftlichen Teil repräsentieren auch die Teilnehmer des mündlichen SP die Schweizer Grundgesamtheit gut. Aufgrund einer überproportionalen Nachrekrutierung im Kanton Tessin ist der Anteil italienisch sprechender Personen leicht zu hoch. Der Anteil besser gebildeter Personen, sowie höheren Einkommens sind, wie bereits im schriftlichen Teil, wiederum leicht übergewichtet. Die Abweichungen liegen aber in einem Rahmen, der keine Umgewichtung notwendig macht.

Tabelle 30 Allgemeine soziodemographische Charakteristika der Befragten: Teilnehmer strategische SP

		Mündliche Befragung		KEP	Ø Non-Trader <sup>9</sup>		
		Anzahl	[%]	[%]	SP5	SP6	SP7
Alter	Unter 25 Jahre	53	12.9	9.0	66.7	41.7	27.3
	25 – 45 Jahre	160	39.0	38.3	67.1	31.6	27.8
	45 – 65 Jahre	148	36.1	40.2	81.7	32.4	33.3
	Über 65 Jahre	44	10.7	12.5	77.5	45.5	32.1
	k.A.	5	1.2		75.0	0.0	-
Geschlecht	männlich	231	56.3	55.2	75.1	29.6	34.1
	weiblich	179	43.7	44.8	70.8	37.6	24.4
	k.A.	-	-				
Sprache	deutsch	321	78.0	81.6	79.7	38.9	34.3
	französisch	49	12.0	13.7	63.0	27.3	16.7
	italienisch	40	10.0	4.7	37.8	23.8	6.3
Schulbildung	normale Schulpflicht	25	6.1	4.5	64	23.1	44.4
	Berufslehre/Gewerbeschule	175	42.7	45.4	72.8	31.9	26.3
	Mittelschule/tertiäre Bildung	209	51.0	50.1	74.5	36.0	32.7
	k.A.	1	0.2	-		0.0	-
Personen im Haushalt	1	78	19.0	17.5	73.7	41.9	23.3
	2	124	30.2	34.8	76.4	36.2	34.3
	3	79	19.3	15.7	67.1	29.0	23.5
	4	91	22.2	21.9	72.3	33.3	34.0
	5	28	6.8	7.3	79.3	16.7	37.5
	6	6	1.5	1.9	50.0	33.3	33.3
	6 und mehr	4	1	0.7	100	0.0	0.0
Einkommen	Weniger als 36'000 CHF/Jahr	61	14.9	4.4	72.3	36.4	30.8
	36'000 – 72'000 CHF/Jahr	104	25.4	23.8	67.0	32.7	20.8
	72'000 – 108'000 CHF/Jahr	118	28.8	30.1	76.7	30.4	37.5
	Mehr als 108'000 CHF/Jahr	77	18.8	24.7	77.2	34.3	27.9
	Keine Angabe	50	12.2	14.6	75.6	32.4	34.6

<sup>9</sup> Als Trader gelten Entscheider die für SP5 und SP7 Ihren PW-Besitz (Änderung des Typs, Ab-/Anschaffung) bei SP6 Ihre KM-Leistung (auch Umschichtung bei gleich bleibender Leistung) verändert haben

Auch bezüglich der Erwerbstätigkeit und des Beschäftigungsverhältnisses repräsentieren die Teilnehmer des strategischen SP die KEP-Grundgesamtheit gut (Tabelle 30). Ebenso gestaltet sich die Aufteilung der nichterwerbstätigen Personen zufriedenstellend und allfällige Befürchtungen einer verhältnismässig zu hohen Antwortbereitschaft von Pensionierten können, trotz einem leicht erhöhten Anteil, entkräftet werden.

Bezüglich der Reaktion auf die veränderte Situation zeigt sich, dass trotz Preisänderungen der variablen Kosten bis Faktor 2 knapp  $\frac{3}{4}$  der Befragten nicht bereit sind Ihre PW-Nutzung zu ändern. Die Befragten reagieren in SP6 und SP7 stärker als im Sp5. Aufgrund des klar differierenden Kriteriums zwischen Tradern und Non-Tradern zwischen SP5/7 und SP6 und der anderen Fragestellung lassen sich die Werte von SP6 aber nicht direkt vergleichen. In SP7 führt die ändernde Wohnsituation die Befragten, im Vergleich zu SP5, eher dazu, dass die Befragten ihre Mobilitätswerkzeuge anpassen. Abweichungen des Antwortverhaltens nach soziodemographischen Gruppen lassen sich wenige ausmachen. Es scheint, dass ältere Personen eher weniger bereit sind Mobilitätsgewohnheiten zu ändern. Daneben reagieren italienisch sprechende Personen eher, was aber auch auf einen Befragereinfluss zurückzuführen sein könnte, da alle Interviews in italienischer Sprache vom selben Befragter durchgeführt worden sind.



Tabelle 31 Erwerbstätigkeit der Befragten: Teilnehmer strategische SP

		Mündliche Befragung		KEP	Ø Non-Trader		
		Anzahl	[%]	[%]	SP5 [%]	SP6 [%]	SP7 [%]
Erwerbstätigkeit	Vollzeit	205	50.0	51.4	70.7	23.6	29.5
	Teilzeit (< 37h/W)	90	22.0	20.7	73.0	40.5	25.5
	nicht berufstätig	114	27.8	27.9	77.7	45.1	35.0
	k.A.	1	0.2	-	100.0	0.0	0.0
Beschäftigungs- verhältnis	Selbst. ohne Angestellte	28	6.9	5.1	78.6	40.0	31.3
	Selbst. mit Angestellte	15	3.7	3.4	73.3	14.3	28.6
	Mitarbeiter im Familienbetrieb	-	-	0.3	-	-	-
	Arbeitnehmer als Lehrling	12	2.9	1.8	50.0	40.0	0.0
	Arbeitnehmer angestellt in der eigenen AG, GmbH	6	1.5	0.4	83.3	0.0	0.0
	Arbeitnehmer als Direktor, Prokurist, Chefbeamter	7	1.7	1.6	71.4	66.7	50.0
	Arbeitnehmer im mittleren und unteren Kader,	52	12.7	11.7	76.9	29.4	33.3
	Arbeitnehmer als Angestellter, Arbeiter, Praktikant	196	41.2	47.4	69.6	26.8	25.3
	Andere Stellung	10	2.4	0.3	80.0	25.0	100
Beschäftigung nicht berufstätige	Haushalt	22	5.2	7.0	76.2	57.1	14.3
	In Ausbildung	29	7.1	6.2	75.9	33.3	38.5
	Pensioniert	65	15.7	13.3	78.1	40.0	38.5
	arbeitslos	5	1.2	1.4	100.0	100.0	25.0
	k.A.	289	70.8	-	68.8	28.9	28.2

Die vorhandene Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen ist für die Reaktionen auf die SP-Situationen zentral. Umso wichtiger ist es deren Besitz zu betrachten (Tabelle 32). Wie bereits

bei der schriftlichen Befragung ist der Anteil an Personen, die immer über einen PW verfügen gegenüber dem KEP höher. Allerdings ist im Gegensatz zur schriftlichen Befragung der Anteil an ÖV-Abonnementbesitzern kleiner.

Tabelle 32 Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen: Teilnehmer strategische SP

		Mündliche Befragung		KEP	Ø Non-Trader		
		Anzahl	[%]	[%]	SP5	SP6	SP7
					[%]	[%]	[%]
PW Verfügbarkeit	immer	290	70.7	64.4	70.4	28.6	26.2
	Gelegentlich	77	18.8	20.4	77.6	42.4	34.1
	nie	43	10.5	15.1	83.7	56.3	47.8
Anzahl PW im Haushalt	0	53	13	14.5	90.4	68.2	39.3
	1	213	52.1	47.8	71.1	33.7	33.6
	2	119§	28.9	30.6	66.9	20.0	24.2
	3	20	4.9	5.3	80.0	33.3	15.4
	4 und mehr	5	1.2	1.9	100.0	0.0	0.0
Abonnementsbesitz	GA	51	12.4	13.1	88	50.0	76.0
	Halbtax	138	33.7	41.6	75.2	35.1	24.1
	Kein Abonnement	165	40.4	45.3	70.2	37.8	34.1

### Räumliche Verteilung

Eine gute Übersicht über die räumliche Verteilung der Teilnehmenden bietet Abbildung 22. Es zeigt sich, dass die Wohnorte der Befragten gut über alle Regionen der Schweiz verstreut liegen.

Abbildung 22 Räumliche Verteilung der Teilnehmerwohnorte strategisches SP

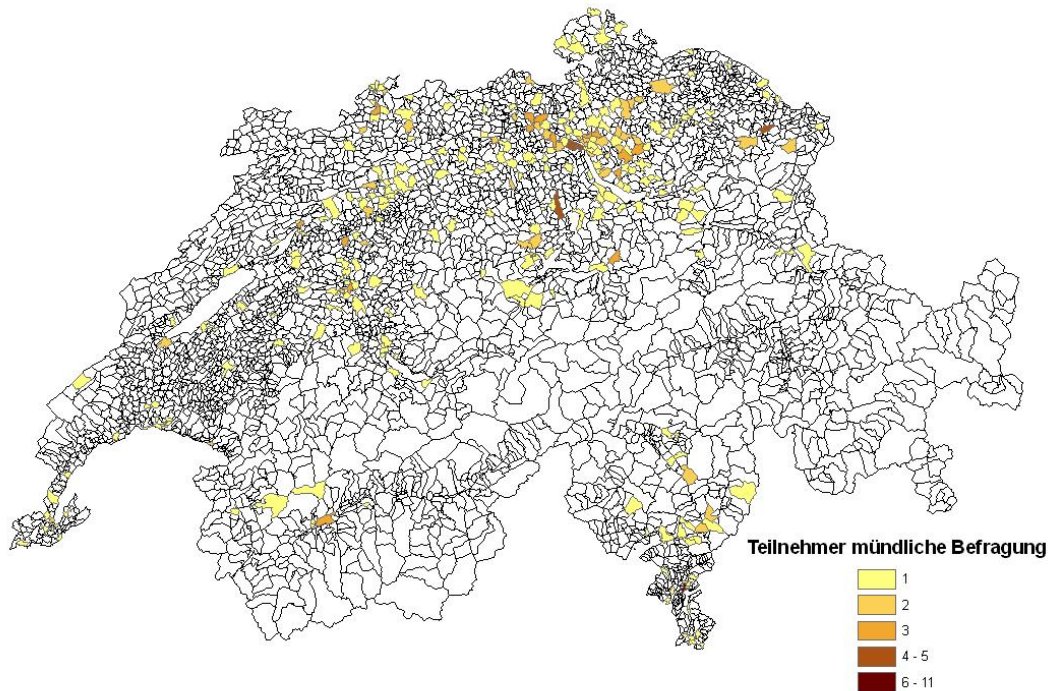


Tabelle 33 weist aus, dass Bewohner von Grosszentren samt Umland leicht überproportional befragt wurden, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass hier Verkehrsprobleme akuter sind und das Interesse an einer Befragung entsprechend höher ist.

Tabelle 33 Gemeindetyp des Wohnorts der Befragten, schriftliche SP

	Schriftliche Befragung		KEP
	Anzahl	[%]	[%]
Grosszentrum	71	17.3	15.4
Nebenzentrum eines Grosszentrums	33	8.0	7.0
1. Gürtel grosse Agglomeration	61	14.9	12.7
2. Gürtel grosse Agglomeration	25	6.1	5.3
Zentrum mittlere/ kleine Agglomeration	35	8.5	9.6
1. Gürtel mittlere/ kleine Agglomeration	34	8.3	7.1
2. Gürtel mittlere/ kleine Agglomeration	46	11.2	10.7
Kleinzentrum	13	3.2	4.8
Wegpendlergemeinde	25	6.1	6.7
Industrielle/ tertiäre Gemeinde	30	7.3	8.7
Semiagraische Gemeinde	28	6.8	7.8
Argraische Gemeinde	6	1.5	2.4
Touristische Gemeinde	3	0.7	1.8

## 8 Modellergebnisse: SP über die Präferenz für ein Mobility Pricing System

Wie in Abschnitt 6.2 beschrieben, diente das politische SP dazu, den Befragten die Möglichkeit zu geben, ihre politische Einstellung betreffend Mobility Pricing zum Ausdruck zu bringen. Verschiedene Gestaltungsvarianten für ein Mobility Pricing System wurden vorgestellt und die Befragten mussten jeweils entscheiden, ob sie dieses neue System oder das bisherige mit Mineralölsteuer und Autobahnvignette bevorzugen. Im Folgenden werden zunächst einige deskriptive Auswertungen der Ergebnisse dieses SPs vorgestellt. Anschliessend wird das daraus geschätzte Modell vorgestellt und interpretiert.

### 8.1 Deskriptive Analyse

Aus dem Rücklauf der insgesamt 985 Personen, die das politische SP beantwortet haben, ergaben sich insgesamt 5709 verwertbare SP-Experimente. Wie in Tabelle 34 dargestellt, wurde davon in 50.2 % der Situationen das bestehende System bevorzugt, in 49.8 % hingegen das vorgeschlagene neue System mit Mobility Pricing. Dies zeigt, dass in der Schweizer Bevölkerung Mobility Pricing Systeme nicht generell abgelehnt oder befürwortet werden, sondern, dass die Zustimmung sehr stark von der Gestaltung des Systems abhängt.

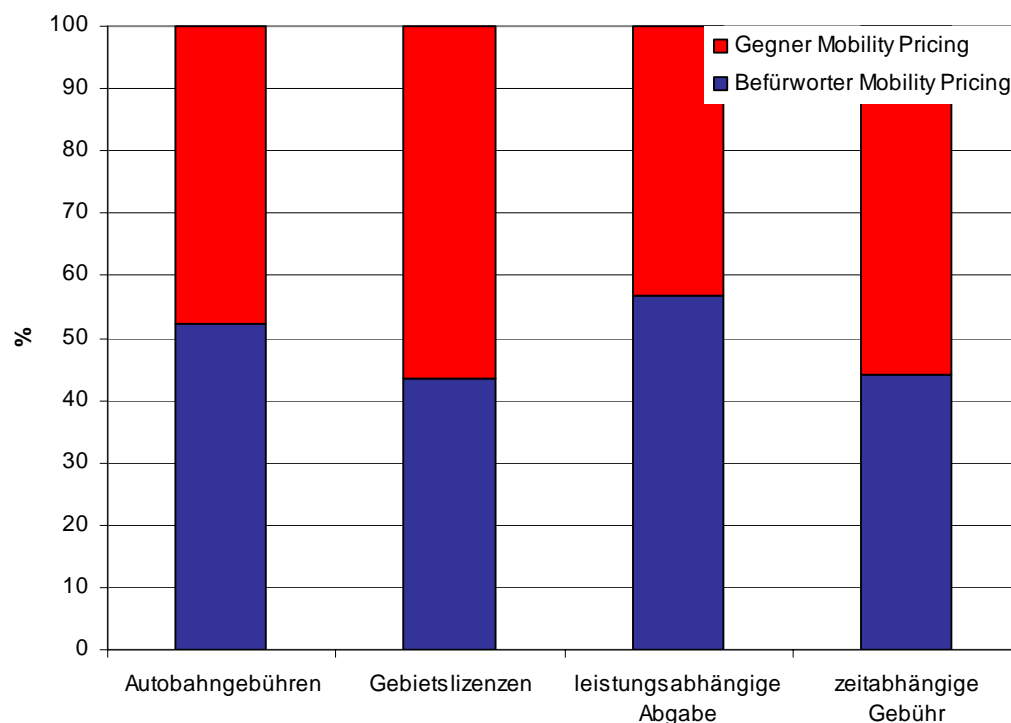
Tabelle 34 Befürwortung und Ablehnung der vorgestellten Mobility Pricing Systemen

Finanzierungssystem	Anzahl	Anteil [%]
Auswahl: Bestehendes System	2868	50.2
Auswahl: System mit Mobility Pricing	2841	49.8
Summe	5709	100

Als wichtige Gestaltungsmerkmale im Hinblick auf die Akzeptanz eines Systems werden in der Literatur die Art des Pricings und der Verwendungszweck der Einnahmen genannt. Aus diesem Grund sind in den Abbildungen Abbildung 23 bis Abbildung 28 der Anteil an Zustimmung oder Ablehnung des Mobility Pricing Systems je nach Gestaltungsmerkmal aufgetragen. Durch diese Analyse können noch keine direkten Einflüsse ermittelt werden, da die Auswahl der Befragten auch stark von den übrigen Gestaltungsmerkmalen abhängt. Aber es gibt eine erste Tendenz, welche Gestaltungsmerkmale bevorzugt werden. Genaueres kann erst im Rahmen der Modellschätzungen ermittelt werden.

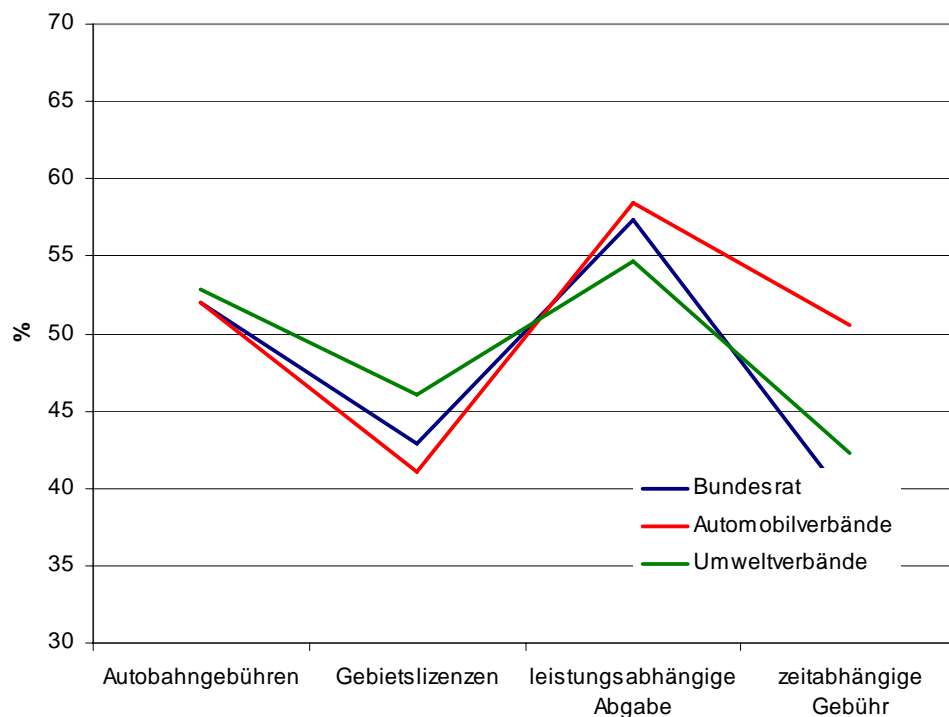
Abbildung 23 zeigt den Anteil der Befragten, die für respektive gegen das vorgeschlagene Mobility Pricing System gestimmt haben, wenn sie mit der jeweiligen Art des Mobility Pricings konfrontiert wurden. Es zeigt sich, dass Mobility Pricing Modelle mit Autobahngebühren oder kilometerabhängigen Abgaben im Durchschnitt über alle Befragten eher bevorzugt werden, während Gebietslizenzen und tageszeitabhängige Gebühren zu einer Ablehnung des vorgeschlagenen Systems führen. Dies dürfte vor allem darin begründet liegen, dass das Konzept von Autobahngebühren und leistungsabhängigen Gebühren einfach und leichtverständlich ist. Autobahngebühren kennen die meisten Befragten bereits aus Urlaubsreisen nach Italien oder Frankreich. Ausserdem ist es intuitiv verständlich, dass jemand mehr bezahlen soll, wenn er dafür auf einer besseren und schnelleren Strasse fahren kann. Leistungsabhängige Gebühren stellen darüber hinaus einen Anreiz dar, die Gesamtfahrleistung zu senken und so insgesamt die Verkehrsbelastung zu senken. Ein weiterer Grund für die schlechte Akzeptanz der Gebietslizenzen und zeitabhängigen Gebühren kann auch sein, dass sie vergleichsweise schlecht vorstellbar waren, zumal im Fragebogen keine konkreten Beispiele genannt wurden, wo und wann diese Gebühren installiert werden sollen.

Abbildung 23 Befürworter und Gegner des Mobility Pricings nach Art des Mobility Pricing



Im nächsten Schritt wurde in Abbildung 24 untersucht, welchen Einfluss der im Einführungstext genannte Initiator des Mobility Pricing System auf die Verteilung der Entscheidungen hat. Aufgetragen wird wiederum der Anteil der Personen, die sich in einer Situation mit der jeweiligen Art des Mobility Pricings, für das neue System entschieden hätten. Es ist festzustellen, dass es keine grossen prozentualen Abweichungen für die Präferenz in Abhängigkeit vom Initiator gibt. Dennoch gibt es einige feine Unterschiede, die darauf schliessen lassen, dass die Motivation, aus der heraus ein Mobility Pricing System eingeführt wird, Einfluss auf die Akzeptanz der verschiedenen Arten des Mobility Pricings hat. Die jeweilige Motivation der einzelnen Initiatoren wurde im Begleitschreiben dargelegt.

Abbildung 24 Befürworter des Mobility Pricings nach Art des Mobility Pricing und Initiator

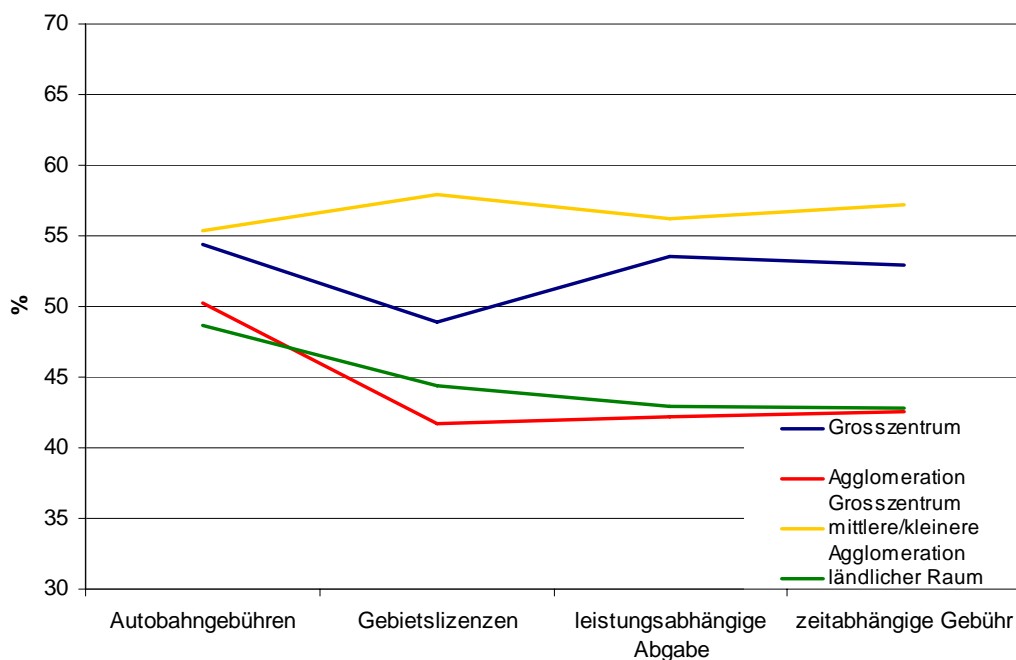


Das wichtigste Ziel der Umweltverbände beispielsweise war die Reduzierung der externen Kosten sowie Stau, Lärm und Schadstoffemissionen. Dies sind bis zu einem gewissen Grad lokale Phänomene, die am besten mit Gebietslizenzen bekämpft werden können. Entsprechend war die Zustimmung für Gebietslizenzen für den (hypothetischen) Initiator Umweltverbände grösser als für anderen Initiatoren. Zeitabhängige Gebühren wurden am ehesten von den Befragten gutgeheissen, denen als (hypothetischer) Initiator die

Automobilverbände vorgestellt wurden, deren wichtigstes Ziel es ist, Staus zu verringern. Staus treten vor allen Dingen durch Überlastung des Strassennetzes in den Spitzenstunden auf. Daher sind zeitabhängige Gebühren ein wirksames Mittel zur Verringerung dieser Staus.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der die Akzeptanz verschiedener Arten des Mobility Pricings beeinflusst, ist der Wohnort der Befragten, respektive dessen Gemeindetyp. Für die in Abbildung 25 dargestellte Analyse wurden die Wohnorte in vier Kategorien von Gemeindetypen eingeteilt: Grosszentren, Agglomerationen der Grosszentren, mittlere und kleine Zentren und deren Agglomerationen und den ländlichen Raum.

Abbildung 25 Befürworter des Mobility Pricings nach Art des Mobility Pricing und Wohnort



Wie zu erwarten, zeigen die Bewohner der Grossstädte insgesamt eine relativ hohe Akzeptanz für die verschiedenen Arten des Pricings mit Ausnahme der Gebietslizenzen. Diese werden höchstwahrscheinlich in den Grosszentren installiert und betreffen somit deren Einwohner direkt und unausweichlich.

Die Zustimmung der Bewohner der Agglomerationen der Grosszentren sowie des ländlichen Raums ist zu allen Arten des Mobility Pricings nicht sehr hoch. Einzig Systeme mit

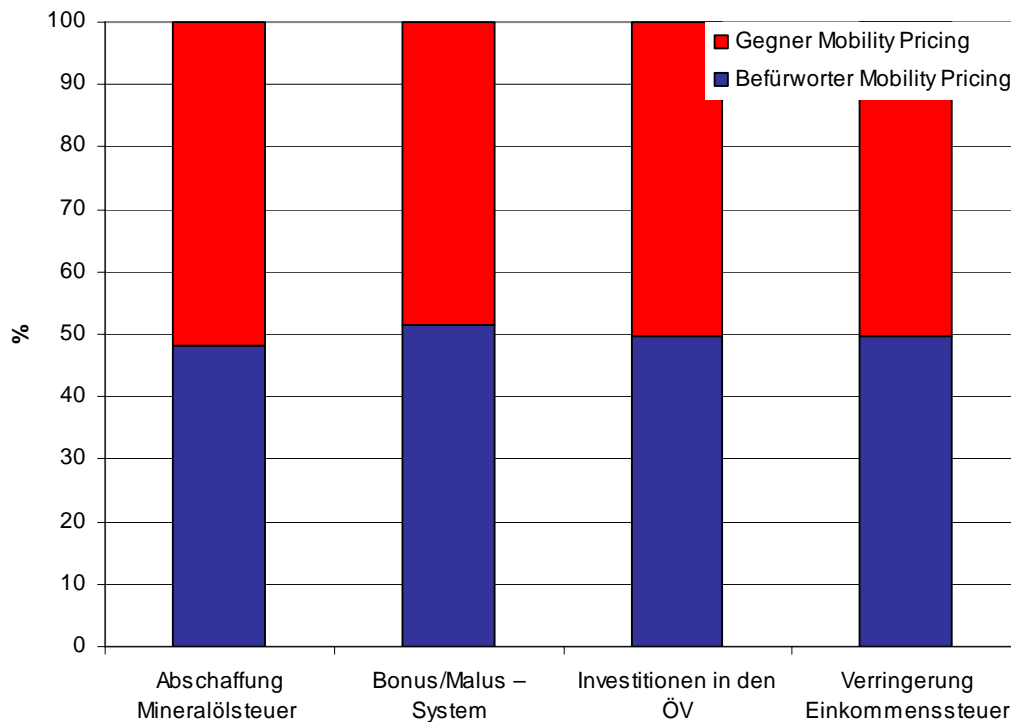


Autobahngebühren werden in etwa 50% der Situationen angenommen. Die geringste Zustimmung finden die Gebietslizenzen. Diese Gruppen von Befragten sind am stärksten auf das Auto angewiesen. Insbesondere die Bewohner der Agglomerationen pendeln in die Grosszentren zur Arbeit und könnten damit weder Gebietslizenzen noch zeitabhängige Gebühren umgehen. Zudem haben diese Gruppen die höchste Jahresfahrleistung und sind daher auch von leistungsabhängigen Gebühren am meisten betroffen.

Die höchsten Zustimmungsraten für jede Art von Mobility Pricing zeigen die Befragten, die in mittleren und kleineren Zentren und deren Agglomerationen leben. Sie wählen die Mobility Pricing Alternative in mehr als 55% der Fälle und ihre bevorzugte Art des Pricings sind Gebietslizenzen. Es ist anzunehmen, dass diese Befragten vom Mobility Pricing nicht im gleichen Masse betroffen sind wie die anderen Gruppen, vor allem in Bezug auf ihre Pendlerfahrten. Sie werden die Möglichkeit haben, dem Pricing auszuweichen, es wird jedoch ihr Verkehrsverhalten beeinflussen.

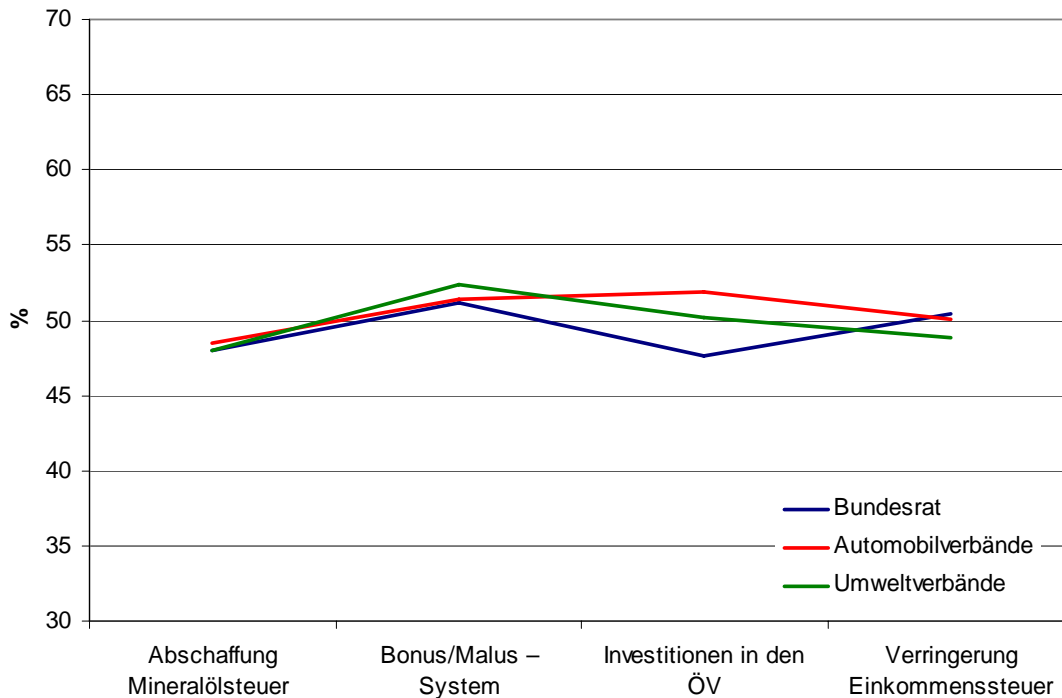
Ein in der Literatur häufig aufgeführter Aspekt, der die Akzeptanz eines Mobility Pricing Systems beeinflusst, ist die Verwendung der eingenommenen Gelder. Im Rahmen der Befragung wurde den Befragten jeweils eine Kombination von zwei Verwendungszwecken pro Entscheidungssituation vorgelegt, bei denen aus insgesamt vier verschiedenen Verwendungszwecken ausgewählt wurde. Für die Auswertung in Abbildung 26 sowie die Modellschätzungen wurden die Auswirkungen der vier Verwendungszwecke zusammengefasst, unabhängig davon, in welcher Kombination sie auftraten, denn es konnte keine signifikante Interaktion zwischen den verschiedenen Verwendungszwecken festgestellt werden.

Abbildung 26 Befürworter und Gegner des Mobility Pricings nach Verwendungszweck



Aus Abbildung 26 ist ersichtlich, dass die Unterschiede im Einfluss der Verwendungszwecke auf die Akzeptanz nicht sehr gross sind. Gleichwohl sind diese Unterschiede signifikant, wie sich in den Modellschätzungen zeigt. Am schlechtesten bewertet wird eine Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette, die bereits eine einfache Form des Mobility Pricings darstellen. Die grösste Zustimmung fanden hingegen Systeme mit Bonus-Malus-Systemen und Investitionen in den ÖV. Die Abschaffung oder Verringerung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette scheint hingegen kein Verwendungszweck zu sein der zu einer Steigerung der Akzeptanz führt. Offensichtlich erachtet die Schweizer Bevölkerung diese Art des Pricings für sinnvoll.

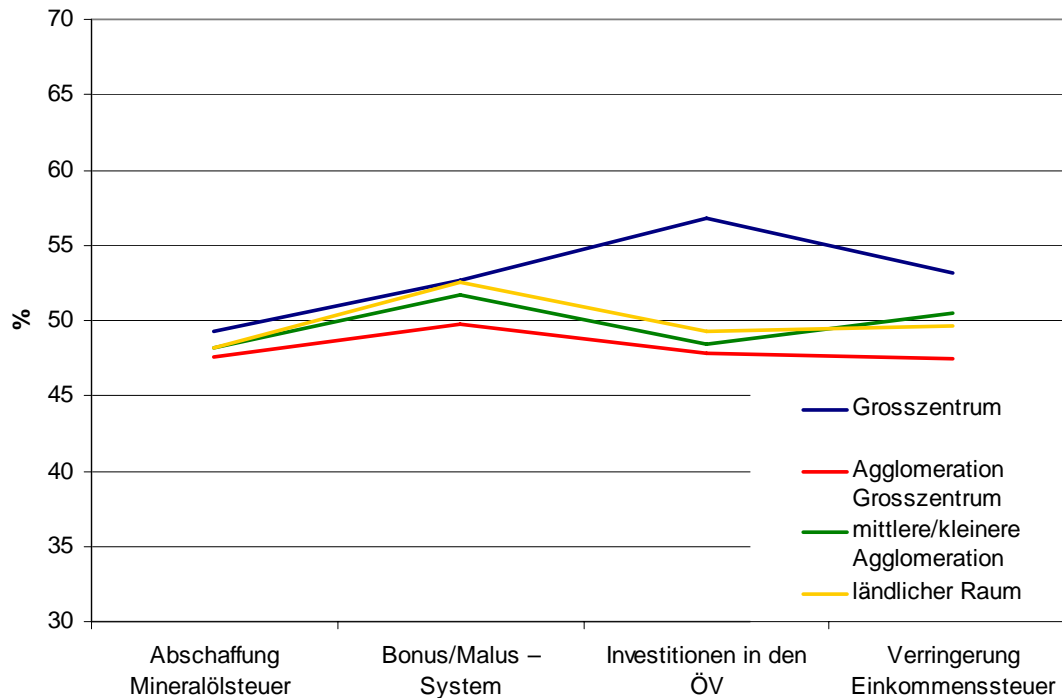
Abbildung 27 Befürworter des Mobility Pricings nach Verwendungszweck und Initiator



Interessante Unterschiede ergeben sich jedoch, wenn der Verwendungszweck differenziert nach den Initiatoren für das Mobility Pricing System betrachtet wird (siehe Abbildung 27). Wurden als Initiator die Umwelt- oder Automobilverbände angegeben, war die Zustimmung zu Verwendungszweck-Kombinationen mit Bonus-Malus-Systemen am grössten, gefolgt von Investitionen in den ÖV. Das Bonus-Malus-System ist eine einfache und elegante Art die Kosten verursachergerecht zu verteilen und Anreize zu setzen, die Jahresfahrleistung zu senken. Investitionen in den ÖV haben ebenfalls eine das Mobility Pricing unterstützende Wirkung. Durch eine Verbesserung des ÖV-Angebotes, wird die Bevölkerung zusätzlich motiviert, auf den ÖV umzusteigen. Zudem bleibt das eingenommene Geld im Transportsektor, was wiederum die Furcht mindert, dass das Pricing nur als neue Art der Einnahmequelle für allgemeine Staatsausgaben dient. Deswegen wird auch in der Literatur immer wieder belegt, dass die Verwendung der Einnahmen für Investitionen in den ÖV entscheidend für die Akzeptanz eines Mobility Pricing Systems ist. Auffällig ist daher, dass für den Initiator Bundesrat der Verwendungszweck Investitionen in den ÖV deutlich schlechter abschneidet als die übrigen. Die grösste Zustimmung fanden hier ein Bonus-Malus-System und eine Reduktion der Einkommenssteuer. Die Begründung für die relativ hohe

Zustimmung ist die gleiche wie zuvor. Zur Reduktion der Einkommenssteuer kann nur angemerkt werden, dass eine solche Massnahme in der Schweiz generell eine hohe Zustimmung findet und der Bundesrat der einzige Initiator ist, der dies erreichen kann.

Abbildung 28 Befürworter des Mobility Pricings nach Verwendungszweck und Wohnort



In Abbildung 28 ist die Zustimmung zum vorgeschlagenen Mobility Pricing System nach Verwendungszweck der Einnahmen und Wohnort der Befragten aufgetragen. Die Bewohner der Grosszentren bevorzugen eindeutig Investitionen in den ÖV, welche auch vornehmlich ihnen zugute kommen werden. Etwa gleich grosse Zustimmung finden eine Verringerung der Einkommenssteuer und ein Bonus-Malus-System. Wie in den übrigen Fällen auch, findet die Abschaffung der Mineralölsteuer die geringste Akzeptanz. Die Bevölkerung der mittleren und kleineren Zentren und ihrer Agglomerationen sowie der ländlichen Regionen verhält sich in ihren Antworten bezüglich des Verwendungszwecks der Einnahmen relativ ähnlich. Die bevorzugte Alternative ist das Bonus-Malus-System gefolgt von der Verringerung der Einkommensteuer. Ein anderes Antwortverhalten zeigen hingegen die Bewohner der Agglomerationen der Grossstädte. Wiederum zeigen sie insgesamt die geringste Akzeptanz für Mobility Pricing Systeme. Der bevorzugte Verwendungszweck ist auch hier das Bonus-

Malussystem. Dieses wird jedoch dicht gefolgt von den Investitionen in den ÖV und der Abschaffung der Mineralölsteuer.

## 8.2 Modellergebnisse

Die oben beschriebene deskriptive Analyse der Antworten zum politischen SP zeigt bereits interessante Zusammenhänge zwischen den Charakteristika der vorgeschlagenen Mobility Pricing Systeme und ihrer Akzeptanz. Sie sind jedoch darauf beschränkt, nur zwei Aspekte zur gleichen Zeit zu berücksichtigen. Der Einfluss aller Charakteristika, sowohl des Mobility Pricing Systems als auch der Befragten, auf das beobachtete Antwortverhalten kann am besten mit einem diskreten Entscheidungsmodell abgebildet werden. Die Grundannahme hinter einem diskreten Entscheidungsmodells ist, dass der Entscheidungsträger aus einer Menge voneinander verschiedener, diskreter Alternativen diejenige auswählt, die für ihn den grössten Nutzen hat.

Mit dem Entscheidungsmodell werden die Wahrscheinlichkeiten bestimmt, mit denen die einzelnen Alternativen ausgewählt werden. Dies geschieht auf Grundlage des Nutzens der einzelnen Alternativen, der wie folgt definiert ist:

$$U_i = V_i + \varepsilon_i = \beta * x_i + \varepsilon_i$$

$V_i$  stellt den beobachteten Teil des Nutzens dar. Er kann anhand eines Vektors  $x_i$  der Attribute der Alternativen und der soziodemographischen Merkmale des Entscheidungsträgers sowie eines Vektors  $\beta_i$  der persönlichen Geschmackparameter des Entscheidungsträgers beschrieben werden. Im Rahmen der Modellschätzungen werden die  $\beta$ -Parameter auf Grundlage der beobachteten Entscheidungen und des ebenfalls beobachteten Vektors  $x_i$  bestimmt. Sie spiegeln die Bewertung der einzelnen Attribute durch die Befragten wieder und geben so Aufschluss darüber welche Eigenschaften der Alternativen für den Befragten positiven Einfluss auf die Wahl einer Alternative hatten und welche einen negativen. Für den nicht-beobachtbaren, zufälligen Teil des Nutzens  $\varepsilon_i$  muss eine entsprechende Verteilung angenommen werden. Diese Verteilung definiert das Modell mit dem die Auswahlwahrscheinlichkeiten der Alternativen berechnet werden.

In dem hier vorliegenden Modell kommt das am häufigsten verwendete Modell, das Multinominale Logit Modell (MNL), zur Anwendung. Es wurde von McFadden (1974) eingeführt und von Ben-Akiva und Lerman (1985) erweitert. In diesem Modell wird angenommen, dass die zufälligen Nutzenbestandteile unabhängig Gumbel verteilt sind. Für

den beobachtbaren Teil der Nutzenfunktion wird ein linearer Zusammenhang zwischen den einzelnen Attributen angenommen. Die Nutzenfunktionen für das System ohne Mobility Pricing  $U_{oMN}$  sind wie folgt definiert:

Tabelle 35 Nutzenfunktionen politisches SP

---


$$\begin{aligned}
 U_{oMP} = & \text{Konstante}_{oMP} + \beta_{\text{Gebühren}} * \text{Gebühren}_{oMP} + \beta_{vAB} * \text{GeschwindigkeitAutobahn}_{oMP} \\
 & + \beta_{vLS} * \text{GeschwindigkeitLandstr}_{oMP} + \beta_{vSt} * \text{GeschwindigkeitStatd}_{oMP} + \varepsilon \\
 \\
 U_{mMP} = & \beta_{\text{AutoV}} * \text{Automobilverbände} + \beta_{\text{UmwV}} * \text{Umweltverbände} + \beta_{\text{ABG}} * \text{Autobahngebühren} \\
 & + \beta_{\text{LAG}} * \text{Leistungsabhängige\_Gebühren} + \beta_{\text{ZAG}} * \text{Zeitabhängige\_Gebühren} \\
 & + \beta_{\text{Gebühren}} * \text{Gebühren}_{mMP} + \beta_{\text{Bon\_Mal}} * \text{Bonus\_Malus\_System} + \beta_{\text{InvÖV}} * \text{Investitionen\_ÖV} \\
 & + \beta_{\text{EKS}} * \text{Reduktion\_Einkommenssteuer} + \beta_{vAB} * \text{GeschwindigkeitAutobahn}_{mMP} \\
 & + \beta_{vLS} * \text{GeschwindigkeitLandstr}_{mMP} + \beta_{vSt} * \text{GeschwindigkeitStadt}_{mMP} \\
 & + \beta_{\text{männl}} * \text{Männlich} + \beta_{\text{Alter}} * \text{Alter} + \beta_{\text{Deutsch}} * \text{Deutsch} + \beta_{\text{Franz}} * \text{Französisch} \\
 & + \beta_{\text{PiHH}} * \text{Haushaltsgrösse} + \beta_{\text{Eink}} * \text{Einkommen} + \beta_{\text{Erwerb}} * \text{Erwerbstätigkeit} + \beta_{\text{PW}} * \text{PW - Besitz} \\
 & + \beta_{\text{PWkm}} * \text{PW - km} + \beta_{\text{GA}} * \text{GABesitzer} + \beta_{\text{Agglo}} * \text{Agglomeration\_Grosszentrum} \\
 & + \beta_{\text{mitt\_Aggl}} * \text{mittlere\_Agglomeration} + \beta_{\text{Land}} * \text{Ländlicher\_Raum} + \varepsilon
 \end{aligned}$$


---

Zur Schätzung des Modells wurde die Software BIOGEME (Bierlaire, 2005) verwendet. Das Ergebnis der Schätzung sind die  $\beta$ -Parameter (Geschmackparameter) der Nutzenfunktion. Sie sind in Tabelle 36 zusammengefasst. Das Modell wurde unter Einbezug des so genannten Panel-Effektes geschätzt. Dieser berücksichtigt, dass Antworten der gleichen Person einen genau bestimmbar Anteil an Ähnlichkeit aufweisen. Dieser Effekt wird anhand eines normal verteilten Zufallsterms bestimmt, dessen Standardabweichung im Rahmen der Ergebnisse ausgegeben wird

Tabelle 36 Modellergebnisse politisches SP

Variable	Ausprägung	Parameter	
Konstante kein Mobility Pricing		1.44	*
Standardabweichung Panel Term		1.96	*
Gebühren		-6.19	*
Initiator	Automobilverbände	0.14	
	Umweltverbände	0.12	
Art des Mobility Pricings	Autobahngebühren	0.66	*
	Leistungsabhängige Gebühr	1.10	*
	Zeitabhängige Gebühr	0.10	
Verwendungszweck der Einnahmen	Bonus-Malus-System	0.18	
	Investitionen in den ÖV	0.70	*
	Verringerung Einkommenssteuer	0.26	*
Geschwindigkeiten	Autobahn	0.01	*
	Andere Strassen	-0.01	
	In der Stadt	0.05	*
Geschlecht	Männlich	-0.13	
Alter		0.02	*
Sprache	Deutsch	-0.17	
	Französisch	-0.88	*
Haushaltsgrösse		-0.03	
Einkommen		-0.14	
Erwerbstätigkeit	Vollzeit beschäftigt	0.53	*
PW-Besitz		-0.34	*
Fahrleistung [1000 km/Jahr]		-0.03	*
Public Transport Subscription	GA-Besitzer	0.14	
	Agglomeration Grosszentrum	0.07	
	Mittlere/kleinere Agglomeration	0.26	
	Ländlicher Raum	0.27	
Anzahl Beobachtungen		5910	
Finale log-likelihood		-3294	
Adjusted rho-square:		0.16	

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Die Ergebnisse der Modellschätzung zeigen, dass der wichtigste Faktor für die Akzeptanz eines Mobility Pricing Systems das gewählte Kostenniveau ist. Wie zu erwarten sinkt die Akzeptanz eines Systems mit steigenden Kosten.

Die verschiedenen Arten des Mobility Pricings wurden im Modell als Dummy-Variablen gegen die Basis-Alternative Gebietslizenzen kodiert. Damit wird ermittelt, in wie weit sich die Bewertung der übrigen Arten des Mobility Pricings von jener der Gebietslizenzen unterscheidet und ob diese besser oder schlechter bewertet werden. Es zeigt sich, dass sowohl die Autobahngebühren als auch die leistungsabhängige Abgabe signifikant besser bewertet werden als die Gebietslizenzen. Zwischen der zeitabhängigen Gebühr und den Gebietslizenzen konnte hingegen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Auf die gleiche Weise wurden die vier angegebenen Verwendungszwecke als Dummy-Variablen kodiert. Basis-Alternative ist hier der Verwendungszweck Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette, welcher die geringste Zustimmung erhielt. Den grössten positiven Einfluss auf die Akzeptanz des Systems hatten die Investitionen in den ÖV, gefolgt von einer Reduzierung der Einkommenssteuer und dem Bonus-Malus-System.

Bezüglich der Verbesserung der durchschnittlichen Geschwindigkeiten in der Spitzenstunde hatten die Verbesserungen für Autobahnen und diejenigen für die städtischen Strassen einen signifikanten positiven Einfluss auf die Akzeptanz. Im Gegensatz dazu konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Initiatoren des Mobility Pricing Systems festgestellt werden. Diese waren als Dummy-Variablen gegen die Basis-Alternative Bundesregierung kodiert worden.

Werden die soziodemographischen Charakteristika der Befragten betrachtet, so zeigt sich, dass Befragte mit höherem Alter und Vollzeitbeschäftigte eher ein Mobility Pricing System akzeptieren, während PW-Besitzer und insbesondere solche mit einer hohen Jahresfahrleistung dieses wie zu erwarten eher ablehnen. Kein signifikanter Einfluss konnte bezüglich Haushaltsgrösse, Geschlecht, Besitz von ÖV Abonnements oder Einkommen festgestellt werden. Auch Interaktionsterme zwischen Einkommen und Pricing Level waren nicht signifikant. Entgegen der ersten Intuition hat also das Einkommen, keinen Einfluss auf die Akzeptanz eines Mobility Pricing Systems, wie bereits von Rienstra, Rietveld and Verhoef (1999) festgestellt wurde. Bezüglich des Wohnortes der Befragten hatte die entsprechende Sprachregion einen signifikanten Einfluss. Die Akzeptanz für Road Pricing ist in der französisch- und deutschsprachigen Schweiz geringer als im italienischsprachigen Teil, welcher die Basis-Alternative dieser Dummy-Variablen darstellt. Auch die Gemeindekategorien wurden als Dummy-Variablen kodiert. Basis-Alternative war hier das Grosszentrum. Doch entgegen den Ergebnissen aus der deskriptiven Analyse in Abschnitt 8.1 konnte kein signifikanter Einfluss der Gemeindekategorie auf die Entscheidung festgestellt werden, wenn alle anderen Faktoren mitberücksichtigt werden.



## 9 Modellergebnisse: Taktische Entscheidungen

Ebenso wie für die Ergebnisse des politischen SPs wurden auch zur Auswertung der übrigen drei SPs diskrete Entscheidungsmodelle verwendet. Diese bilden das Verhalten der Befragten in Bezug auf die Wahl der Route, des Verkehrsmittels und der Abfahrtszeit unter Einbezug eines Mobility Pricing Systems ab. Die Bestimmung des optimalen Modells erfolgte dabei in einem schrittweisen Prozess. Wiederum wurde BIOGEME zur Schätzung der Modelle verwendet.

Zunächst wurden jeweils für die Routenwahl im MIV (anhand der Befragungsergebnisse aus dem SP2-Experiment) und für die Verkehrsmittelwahl (anhand der Befragungsergebnisse aus den Experimenten SP3 und SP4) einzelne Modelle mit linearer Nutzenfunktion bestimmt. Diese beiden Modelle wurden zu einem kombinierten Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell zusammengefasst, um robustere Ergebnisse zu erhalten. Anschliessend wurden eine Vielzahl von nichtlinearen Modellen sowohl für das Routenwahlmodell und das Verkehrsmittelwahlmodell als auch für das kombinierte Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell getestet. Dabei wurde die Modellgüte bei jedem dieser Schritte deutlich verbessert. Basierend auf dem finalen, nichtlinearen Modell wurden dann die Zeitwerte für die einzelnen Kostenkomponenten und Verkehrsmittel sowie die Elastizitäten bestimmt. Zum Abschluss wurde das gefundene Modell separat für die einzelnen Fahrtzwecke geschätzt. Im Folgenden wird das kombinierte Routen und Verkehrsmittelwahlmodell vorgestellt. Die Einzelmodelle sind im Anhang zu finden, die Aussagen dieser Modelle sind die gleichen wie die des kombinierten Modells.

### 9.1 Das kombinierte Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell

Wie im politischen SP stehen dem Befragten im MIV Routenwahlexperiment zwei Alternativen zur Verfügung, von denen er eine auswählen muss. Die erste Alternative ist eine Route ohne Mobility Pricing, die einzigen zu berücksichtigen Kosten sind die Treibstoffkosten. Weitere Attribute, die diese Route beschreiben sind Abfahrtszeit, Fahrzeit und Verlässlichkeit. Letztere beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verspätung von mehr als 10 Minuten auftritt. Die Route mit Mobility Pricing ist ebenso durch die Abfahrtszeit, Fahrzeit und Treibstoffkosten beschrieben. Hinzu kommen Gebühren in unterschiedlicher Höhe, entweder in Form einer Gebühr für die gesamte Strasse oder nur für

eine Fahrspur der Strasse. Diese Attribute sowie soziodemographische Merkmale der Befragten wie beispielsweise Alter und Jahresfahrleistung wurden ebenfalls als lineare Variable in die Nutzenfunktion aufgenommen. Dabei wurden verschiedene Varianten getestet und nur diejenigen Variablen beibehalten, für die signifikante Parameter geschätzt werden konnten

Die Abfahrtszeit der alternativen Routen wurde im SP-Experiment im Unterschied zur berichteten Abfahrtszeit aus dem KEP ausgewiesen, welche als Wunschabfahrtszeit interpretiert wurde. Daraus lässt sich die Abweichung der Abfahrtszeit der Alternative zur Wunschabfahrtszeit ermitteln. Ziel der Modellierung ist es nun, die Bewertung dieses Unterschiedes durch die Befragten zu ermitteln. Auf der Grundlage von Vickrey (1969) haben Hess, Polak, Daly, Hyman (2005) eine solche Bewertung ermitteln, indem sie eine Bestrafung für eine Verfrühung respektive eine Verspätung in Bezug auf die Wunschabfahrtszeit einführen. Die entsprechenden zeitlichen Verschiebungen werden als Attribute der Alternativen eingefügt. Der Parameter für die Verschiebungen entspricht der Bestrafung für eine Verfrühung oder Verspätung der Abfahrtszeit.

Aufgrund der politischen Natur der Befragung musste angenommen werden, dass die Antworten der Befragten trotz des vorgeschalteten politischen SPs aufgrund ihrer politischen Einstellung verzerrt ist. Daher wurde auf Grundlage des politischen SPs für jeden Befragten ein Wert ermittelt, der angibt, in wie viel Prozent der Situationen der Befragte im politischen SP das System mit Mobility Pricing gewählt hat. Diese Variable ist hochsignifikant und verbesserte die Modellgüte erheblich.

In der gleichen Weise wurden die Nutzenfunktionen für das Verkehrsmittelwahlmodell erstellt. Hier wurden die Datensätze aus dem SP3 und dem SP4 von Beginn an miteinander kombiniert betrachtet. Als wichtige soziodemographische Parameter erwiesen sich der PW- und Abonnement-Besitz, der Sprachraum, das Alter und die Erwerbstätigkeit. Die Verschiebung der Abfahrtszeit wurde auf die gleiche Weise modelliert wie in der Routenwahl, ebenso die Fahrtzeit und die verschiedenen Preiskomponenten. Hinzu kamen die ÖV-Merkmale Zugangszeit, Umsteigehäufigkeit, Intervall, sowie Verlässlichkeit. Die ÖV-Verlässlichkeit ist wie die MIV-Verlässlichkeit als die Wahrscheinlichkeit einer Verspätung von mehr als 10 Minuten definiert.

Die Parameter des Routenwahl- sowie des Verkehrsmittelwahlmodells hatten die zu erwartenden Vorzeichen und waren in der Modellschätzung signifikant. Daraufhin wurden die beiden Modelle zu einem kombinierten Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell

zusammengesetzt. Dabei blieben die Nutzenfunktionen unverändert, die  $\beta$ -Parameter wurden jetzt aber, falls möglich, für die Alternativen beider Modelle gemeinsam geschätzt. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Verteilung der Störterme im Modell wurden Skalierungsparameter eingesetzt.

Die Ergebnisse der Schätzung des kombinierten Routen- und Verkehrsmittelwahlmodells sind in Tabelle 37 zu sehen. Die Konstanten, die die generelle Präferenz für eine Alternative widerspiegeln, wurden separat für die beiden Modelle definiert. Beide Konstanten erwiesen sich als signifikant und zeigen eine generelle Präferenz der Befragten für die Route ohne Pricing respektive den MIV. Insgesamt werden die Parameter aus den Einzelschätzungen sowohl bezüglich des Vorzeichens als auch bezüglich des relativen Verhältnisses der Parameter zueinander bestätigt.

Die soziodemographischen Parameter zeigen, dass ältere Personen eher dazu neigen, die Route mit Mobility Pricing oder die ÖV-Alternative zu wählen. Das gleiche gilt für Personen mit ÖV-Abonnementen. In Gegensatz dazu bevorzugen PW-Besitzer sowie Personen mit hoher Jahresfahrleistung die Route ohne Mobility Pricing sowie die MIV-Alternative in der Verkehrsmittelwahl. Im Vergleich zu den Befragten aus dem Tessin zeigen die Befragten aus den deutsch- und französischsprachigen Teilen der Schweiz eine grössere Neigung zur MIV-Nutzung. Auf die Routenwahl hatte der Sprachraum der Befragten hingegen keinen signifikanten Einfluss. Ebenso konnte kein signifikanter Einfluss für das Geschlecht festgestellt werden.

Tabelle 37 lineares Modell: SP 2, 3 und 4 Routen- Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl

Verkehrsmittel	Variable	Parameter	
IV	Konstante_MIV	0.37	*
	Konstante_Route ohne Pricing	4.79	*
	IV-Reisezeit [h]	-1.73	*
	Treibstoffkosten [CHF]	-0.06	*
	Maut [CHF]	-0.13	*
	Parkgebühren [CHF]	-0.24	*
	Verfrühung_Verkehrsmittelwahl [h]	-0.55	*
	Verfrühung_Routenwahl [h]	0.35	*
	Verspätung [h]	-0.82	*
	IV-Verlässlichkeit**	-0.04	*
	PW-Besitz	0.48	*
	Jahresfahrleistung [1000 km]	0.03	*
	Sprache französisch	-0.13	
	Sprache deutsch	-0.55	*
Präferenz für MP im Sp1	6.47	*	
OEV	ÖV-Reisezeit [h]	-1.51	*
	ÖV-Kosten [CHF]	-0.05	*
	Zugangszeit [h]	-2.74	*
	Intervall [h]	-0.54	*
	Umsteigezahl	-0.26	*
	Verfrühung_Verkehrsmittelwahl [h]	-0.55	*
	Verspätung [h]	-0.82	*
	ÖV-Verlässlichkeit**	-0.02	*
	Alter	0.01	*
	GA-Besitzer	1.23	*
Halbtax-Besitzer	0.60	*	
	Vollzeiterwerbstätig	0.07	
Anzahl Beobachtungen		13552	
Finale Log-Likelihood		-6171.83	
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.34	
Skalierungsparameter SP2 Modell		1.00	
Skalierungsparameter SP3 Modell		1.22	
Skalierungsparameter SP4 Modell		1.12	

(\*) signifikant auf 95% Niveau  
(\*\*) Anteil Fahrten mit einer Verspätung von mindestens 10 min

Bezüglich der Bestrafungen für eine Verschiebung der Abfahrtszeit wurden verschiedene Varianten getestet. Die beste Modellgüte wies eine Formulierung mit drei Bestrafungsparametern auf. So gibt es einen Bestrafungsparameter für eine Verfrühung der

Abfahrtszeit in der Routenwahl, einen Parameter für die Verfrühung der Abfahrtszeit in der Verkehrsmittelwahl und einen gesamthaften Verspätungsparameter für beide Modelle. Bemerkenswert ist, dass der Parameter für die Verfrühung in der Routenwahl positiv ist, während der Parameter für die Verfrühung in der Verkehrsmittelwahl sowie der Parameter für die Verspätung negative Vorzeichen haben. Dies unterstreicht die unterschiedliche Wahrnehmung einer verfrühten Abfahrtszeit in den verschiedenen Entscheidungssituationen. Wenn eine Person zwischen einer Fahrt mit dem PW oder dem ÖV wählen muss, dann möchte sie, wie zu erwarten, nur ungern früher abfahren als zu ihrer Wunschabfahrtszeit. Steht jedoch bereits fest, dass er mit dem PW fahren wird, so ist die Situation eine ganz andere. In dieser Situation muss die Person nicht nur die Abweichung zwischen der Abfahrtszeit bewerten, sondern auch die Zeit, die er im Stau verbringen wird. Wenn ein Entscheidungsträger die Route ohne Mobility Pricing wählt und damit Stauzeiten in Kauf nimmt, so will er trotzdem sicherstellen, dass er rechtzeitig an seinem Zielort ankommt. Daher bevorzugt er eine frühere Abfahrtszeit. Diese Abneigung gegen eine zu späte Ankunft am Zielort wird auch noch einmal durch den Parameter für die Bestrafung einer verspäteten Abfahrtszeit unterstrichen, die in der Regel auch eine Verspätung am Zielort verursacht. Dieser Parameter ist betragsmässig sogar doppelt so gross wie der für die Bestrafung der zu frühen Abfahrtszeit.

Ausserdem zeigen die Ergebnisse, dass die unterschiedlichen Kostenkomponenten Treibstoffkosten, Maut, Parkkosten unterschiedlich bewertet werden. Die Befragten reagieren weniger stark auf Kosten, die für sie unvermeidbar sind, wie Treibstoffkosten. Mautkosten hingegen können durch längere Fahrtzeiten umgangen werden, Parkkosten beispielsweise durch längere Suchzeiten oder Zugangszeiten zu Fuss. Daher haben diese Kostenkomponenten höher negative Parameter.

## 9.2 Nichtlineare Modelle

Aufgrund der Erfahrungen von Axhausen, Koenig, Abay, Bates und Bierlaire (2004) wurden auch nichtlineare Formulierungen der Kosten- und Zeitkomponenten getestet. Basierend auf einer Studie von Mackie, Wardman, Fowkes, Whelan, Nellthorp and Bates (2003) Axhausen et al. (2004) hatte sich gezeigt, dass die Kostenparameter nichtlinear in Bezug auf das Einkommen und die Reisedistanz reagieren. Mackie et al. (2003) hatten eine Reihe von britischen Zeitkostenstudien analysiert und waren zu folgender Formulierung gekommen:

$$\beta_{Kosten} * \left( \frac{Einkommen}{MittelwertEinkommen} \right)^\lambda * Einkommen * \left( \frac{Dis\ tan\ z}{MittelwertDis\ tan\ z} \right)^\lambda * Dis\ tan\ z * Kosten$$

Diese Formulierung wurde von Axhausen et al. (2004) bestätigt. Die Nichtlinearitätsparameter  $\lambda$  werden simultan mit den übrigen Parametern geschätzt. Für die vorliegende Studie wurde die Formulierung für die Kostenparameter leicht angepasst. Anstelle der Reisedistanz wurde die Reisezeit berücksichtigt:

$$\beta_{Kosten} * \left( \frac{Einkommen}{MittelwertEinkommen} \right)^{\lambda_{Einkommen}} * \left( \frac{Reisezeit}{Mittelwert Reisezeit} \right)^{\lambda_{Reisezeit}} * Kosten$$

Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass auch die Reisezeitparameter nichtlinear in Bezug auf die Gesamtkosten reagieren. Die Formulierung für die Nutzenfunktion der Reisezeit lautet:

$$\beta_{Reisezeit} * \left( \frac{Kosten}{MittelwertKosten} \right)^{\lambda_{Kosten}} * Reisezeit .$$

Die Nichtlinearität des Reisezeitparameters wird jeweils bezüglich der Gesamtkosten einer Alternative berechnet. Dies umfasst für die MIV-Fahrten sowohl die Treibstoffkosten als auch die Maut und die Parkkosten. Die daraus resultierenden Nutzenfunktionen sind in Tabelle 38 aufgeführt. Sie stellen die endgültigen Nutzenfunktionen für das kombinierte Routen-, Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahlmodell dar.

Tabelle 38 Nutzenfunktionen für das kombinierte Routen- Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahlmodell

---

Routenwahlmodell

$$U_{R1} = \text{Konstante}_{R1} + \beta_{VerlIV} * \text{Verlässlichkeit}_{R1} + \beta_{Früh} * \text{Verfrühung}_{R1} + \beta_{Spät} * \text{Verspätung}_{R1}$$

$$+ \beta_{Reisezeit} * \left( \frac{Kosten}{MittelwertKosten} \right)^{\lambda_{Kosten}} * Reisezeit$$

$$+ \beta_{Treibstoff} * \left( \frac{Einkommen}{MittelwertEinkommen} \right)^{\lambda_{Eink-Tr}} * \left( \frac{Reisezeit}{Mittelwert Reisezeit} \right)^{\lambda_{RZ-Tr}} * \text{Treibstoffkosten}$$
  

$$U_{R2} = \beta_{Alter} * \text{Alter} + \beta_{PWkm} * \text{PW - km} + \beta_{Früh} * \text{Verfrühung}_{R2} + \beta_{Spät} * \text{Verspätung}_{R2}$$

$$+ \beta_{PolPräf} * \text{Präferenz Im PolitischenSP} + \beta_{Reisezeit} * \left( \frac{Kosten}{MittelwertKosten} \right)^{\lambda_{Kosten}} * Reisezeit$$

$$+ \beta_{Treibstoff} * \left( \frac{Einkommen}{MittelwertEinkommen} \right)^{\lambda_{Eink-Tr}} * \left( \frac{Reisezeit}{Mittelwert Reisezeit} \right)^{\lambda_{RZ-Tr}} * \text{Treibstoffkosten}$$

$$+ \beta_{Maut} * \left( \frac{Einkommen}{MittelwertEinkommen} \right)^{\lambda_{Eink-M}} * \left( \frac{Reisezeit}{Mittelwert Reisezeit} \right)^{\lambda_{RZ-M}} * \text{Maut}$$


---

## Verkehrsmittelwahlmodell

$$\begin{aligned}
U_{MIV} = & \text{Konstante}_{IV} + \beta_{PW} * PW - \text{Besitz} + \beta_{PWkm} * PW - km + \beta_{Französisch} * \text{Französisch} + \beta_{Deutsch} * \text{Deutsch} \\
& + \beta_{Früh} * \text{Verfrühung}_{IV} + \beta_{Spät} * \text{Verspätung}_{IV} \\
& + \beta_{Reisezeit\_MIV} * \left( \frac{\text{Kosten}}{\text{MittelwertKosten}} \right)^{\lambda_{Kosten\_MIV}} * \text{Reisezeit} \\
& + \beta_{Treibstoff} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink\_Tr}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ\_Tr}} * \text{Treibstoffkosten} \\
& + \beta_{Maut} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink\_M}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ\_M}} * \text{Maut} \\
& + \beta_{Parken} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink\_P}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ\_P}} * \text{Parkkosten}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U_{PüT} = & \beta_{Alter} * \text{Alter} + \beta_{Erwerb} * \text{Erwerbstätig} + \beta_{GA} * \text{GABesitzer} + \beta_{HT} * \text{HalbtaxBesitzer} \\
& + \beta_{Früh} * \text{Verfrühung}_{ÖV} + \beta_{Spät} * \text{Verspätung}_{ÖV} + \beta_{Zugang} * \text{Zugangszeit} \\
& + \beta_{Umstieg} * \text{Umsteigehäufigkeit} + \beta_{Intervall} * \text{Intervall} + \beta_{VerlÖV} * \text{Verlässlichkeit}_{ÖV} \\
& + \beta_{ZeitÖV} * \text{Reisezeit}_{ÖV} + \beta_{ÖV\_Kost} * \text{ÖV} - \text{Fahrpreis} \\
& + \beta_{Reisezeit\_ÖV} * \left( \frac{\text{Kosten}}{\text{MittelwertKosten}} \right)^{\lambda_{Kosten\_ÖV}} * \text{Reisezeit} \\
& + \beta_{ÖV\_Kosten} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{Eink\_ÖV}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ\_ÖV}} * \text{ÖV} - \text{Kosten}
\end{aligned}$$

Die Ergebnisse für die Schätzungen des kombinierten Routen-, Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitmodells sind in Tabelle 39 dargestellt. Es war bezüglich Modellgüte und Aussagekraft das Beste der getesteten Modelle. Die Ergebnisse zeigen tendenziell die gleichen Parametereigenschaften wie im linearen Modell. Wie zuvor wurden zwei Konstanten bestimmt die eine allgemeine Bevorzugung einer Alternative angeben, die nicht durch die übrigen Parameter erklärt wird. Wiederum ist eine generelle Präferenz für die Route ohne Mobility Pricing und für den MIV festzustellen. Im Vergleich zum linearen Modell ist die Konstante für den MIV betragsmässig geringer und nicht mehr signifikant auf dem 95% Niveau. Das heisst ein grösserer Anteil des Entscheidungsverhaltens konnte durch die übrigen Parameter erklärt werden.

In Bezug auf die soziodemographischen Charakteristika der Befragten werden der ÖV und die Route mit Mobility Pricing wiederum von älteren Befragten und Besitzern von ÖV-Abonnements bevorzugt, der MIV und die Route ohne Mobility Pricing hingegen von PW-Besitzern und Befragten mit einer hohen Jahresfahrleistung. Wiederum bevorzugen die Befragten aus dem Tessin den MIV stärker als diejenigen aus dem deutsch- oder französischsprachigen Teil, während kein Einfluss auf die Routenwahl feststellbar ist. Das Geschlecht hatte ebenfalls keinen Einfluss auf die Auswahl in den Entscheidungssituationen.

Tabelle 39 Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl

Verkehrsmittel	Variable	Parameter	
MIV	Konstante_MIV	0.21	
	Konstante_Route ohne Pricing	4.80	*
	IV-Reisezeit [h]	-2.26	*
	Treibstoffkosten [CHF]	-0.08	*
	Maut [CHF]	-0.17	*
	Parkgebühren [CHF]	-0.21	*
	Verfrühung_Verkehrsmittelwahl [h]	-0.35	*
	Verfrühung_Routenwahl [h]	0.30	*
	Verspätung [h]	-0.78	*
	IV-Verlässlichkeit**	-0.04	*
	PW-Besitz	0.52	*
	Jahresfahrleistung [1000 km]	0.03	*
	Sprache französisch	-0.15	*
	Sprache deutsch	-0.52	*
Präferenz für MP im Sp1	6.50	*	
OEV	ÖV-Reisezeit [h]	-1.90	*
	ÖV-Kosten [CHF]	-0.10	*
	Zugangszeit [h]	-2.61	*
	Intervall [h]	-0.56	*
	Umsteigezahl	-0.26	*
	Verfrühung_Verkehrsmittelwahl [h]	-0.35	*
	Verspätung [h]	-0.78	*
	ÖV-Verlässlichkeit**	-0.02	*
	Alter	0.01	*
	GA-Besitzer	1.33	*
	Halbtax-Besitzer	0.62	*
Vollzeiterwerbstätig	0.03		
Nichtlinearitätsparameter	$\lambda$ _Kosten_IV	-0.10	*
	$\lambda$ _Kosten_ÖV	-0.28	*
	$\lambda$ _Einkommen_Treibstoff	-0.02	
	$\lambda$ _Einkommen_Maut	-0.15	*
	$\lambda$ _Einkommen_Parkkosten	-0.28	*
	$\lambda$ _Einkommen_ÖV	-0.26	*
	$\lambda$ _Reisezeit_Treibstoff	-0.33	*
	$\lambda$ _Reisezeit_Maut	-0.35	*
	$\lambda$ _Reisezeit_Parkkosten	-0.27	*
$\lambda$ _Reisezeit_ÖV	-0.19	*	
Anzahl Beobachtungen	13552		
Finale Log-Likelihood	-6084.63		
Adj. Pseudo Rsq (B)	0.35		
Skalierungsparameter SP2 Modell	1.00	fixed	
Skalierungsparameter SP3 Modell	1.91		
Skalierungsparameter SP4 Modell	1.98		

(\*) signifikant auf 95% Niveau

(\*\*) Anteil an Fahrten mit einer Verspätung von mindestens 10 min



Auch die Parameter für die Bestrafung von verfrühten und verspäteten Abfahrtszeiten zeigen das gleiche Muster wie im linearen Modell einschliesslich der unterschiedlichen Bewertung der Verfrühung der Abfahrtszeit je nach Entscheidungssituation. Wie sich in der Verkehrsmittelwahl zeigt, möchten die Schweizer Bürger so genau wie möglich zu ihrer Wunschzeit abfahren und jede Abweichung davon, sei sie früher oder später, wird bestraft. Wenn es aber darum geht eine unbepreiste Route zu wählen und damit eine Route mit Stau, dann ist ihnen eine pünktliche Ankunft wichtiger als eine Abfahrtszeit nahe der Wunschabfahrtszeit. Dies deutet auf eine generell starke Abneigung gegen zu spätes Kommen hin. Diese Interpretation wird durch die Tatsache bestärkt, dass die Bestrafung für eine verspätete Abfahrtszeit doppelt so hoch ist wie für eine zu frühe Abfahrtszeit. Dazu passt auch die Bewertung der Verlässlichkeit im MIV und im ÖV. Je unzuverlässiger die Route ohne Mobility Pricing in der Routewahl ist, umso häufiger wird die Route mit Mobility Pricing gewählt. Ebenso wird bei zunehmender Unzuverlässigkeit im ÖV die MIV-Route stärker bevorzugt.

Einen bedeutenden Einfluss auf die Wahl der Route mit oder ohne Mobility Pricing hat darüber hinaus auch die politische Einstellung der Befragten die in dieser Modellschätzung annäherungsweise durch die Einführung des Terms für die Präferenz für Mobility Pricing im politischen SP dargestellt wurde. Befragte, die im politischen SP eher ein Mobility Pricing System bevorzugt haben wählen mit einer grösseren Wahrscheinlichkeit auch die Route mit Mobility Pricing in der Routenwahl. Darüber hinaus verbessert dieser Term die Modellgüte erheblich und er hat Einfluss auf die übrigen Parameter. Es stellt sich also die Frage, wie in früheren Studien mit diesem Effekt umgegangen wurde.

Bezüglich der nicht-linearen Formulierung der Kosten- und Zeitparameter bestätigen die Modellergebnisse wiederum die Abhängigkeit der Bewertung dieser Grössen vom Einkommen und der Reisezeit respektive den Kosten. Mit steigendem Einkommen sowie mit steigender Reisezeit werden zusätzliche Kosten weniger stark bestraft. Das gleiche gilt für zusätzliche Reisezeit bei steigenden Kosten. Der Effekt, dass die Maut und Parkkosten wesentlich negativer bewertet werden, da sie im Vergleich zu Treibstoffkosten eher vermeidbare Kosten sind, bestätigt sich jedoch auch hier. Die nicht-linearen Kosten- und Zeitparameter haben darüber hinaus entscheidenden Einfluss auf die Zeitwerte und Elastizitäten. Diese werden daher im nächsten Abschnitt ausführlich beschrieben und interpretiert.

Tabelle 40 Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl - Gesamtkosten

Verkehrsmittel	Variable	Parameter	
MIV	Konstante_MIV	0.29	
	Konstante_Route ohne Pricing	4.94	*
	IV-Reisezeit [h]	-2.13	*
	IV-Kosten [CHF]	-0.15	*
	Verfrühung_Verkehrsmittelwahl [h]	-0.30	*
	Verfrühung_Routenwahl [h]	0.15	
	Verspätung [h]	-0.74	*
	IV-Verlässlichkeit**	-0.04	*
	PW-Besitz	0.45	*
	Jahresfahrleistung [1000 km]	0.03	*
	Sprache französisch	-0.12	
	Sprache deutsch	-0.46	*
	Präferenz für MP im Sp1	6.37	*
	OEV	ÖV-Reisezeit [h]	-1.81
ÖV-Kosten [CHF]		-0.10	*
Zugangszeit [h]		-2.12	*
Intervall [h]		-0.48	*
Umsteigezahl		-0.23	*
Verfrühung_Verkehrsmittelwahl [h]		-0.30	*
Verspätung [h]		-0.74	*
ÖV-Verlässlichkeit**		-0.02	*
Alter		0.01	*
GA-Besitzer		1.12	*
Halbtax-Besitzer		0.54	*
Vollzeiterwerbstätig	0.04		
Nichtlinearitätsparameter	$\lambda$ _Kosten_IV	-0.14	*
	$\lambda$ _Kosten_ÖV	-0.27	*
	$\lambda$ _Einkommen_IV	-0.17	*
	$\lambda$ _Einkommen_ÖV	-0.28	*
	$\lambda$ _Reisezeit_IV	-0.36	*
	$\lambda$ _Reisezeit_ÖV	-0.24	*
Anzahl Beobachtungen	13552		
Finale Log-Likelihood	-6104.92		
Adj. Pseudo Rsq (B)	0.35		
Skalierungsparameter SP2 Modell	1.00		fixed
Skalierungsparameter SP3 Modell	1.91		
Skalierungsparameter SP4 Modell	1.98		

(\*) signifikant auf 95% Niveau

(\*\*) Anteil Fahrten mit einer Verspätung von mindestens 10 min

Tabelle 40 zeigt eine weitere Version des kombinierten nichtlinearen Modells der Routen-, Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl. Hier sind die MIV-Kostenkomponenten zu einer Kostenvariablen zusammengefasst worden. Durch dieses Modell wurde noch einmal die

Stabilität der Modellparameter unter Beweis gestellt. Abgesehen von den Parametern für die MIV-Kosten und den entsprechenden Nichtlinearitätstermen haben die Parameter nicht nur die gleichen Vorzeichen sondern auch in etwa den gleichen Wert. Auch die Kostenparameter und die Nichtlinearitätsterme weisen die gleichen Vorzeichen auf, wie im Modell mit den Einzelkosten für den MIV. Betragsmässig liegen sowohl der Parameter für die MIV-Kosten als auch die Nichtlinearitätsparameter für Einkommen und Reisezeit in Bezug auf die MIV-Kosten zwischen dem für die Treibstoffkosten und dem für die Maut. Dies gilt auch für den Zeitkostenwert von 13.97 CHF/h für den MIV. Der Zeitkostenwert für den ÖV ist mit 17.28 CHF/h mit dem aus dem Modell der Einzelkosten vergleichbar. Dass der Zeitwert für den MIV kleiner ist als derjenige für den ÖV liegt insbesondere daran, dass der Betrag der Gesamtkosten für den MIV wesentlich höher ist als derjenige der ÖV-Kosten. Höhere Kosten haben aufgrund der nichtlinearen Modellformulierungen einen niedrigeren Zeitwert zur Folge, wie im folgenden Abschnitt ausführlich erläutert wird.

### 9.3 Zahlungsbereitschaft

In Tabelle 42 sind zunächst einmal die Zahlungsbereitschaften für verschiedene Kenngrössen aufgeführt. Dabei ist zu beachten, dass diese Zahlungsbereitschaften nur für das Stichprobenmittel gelten. Aufgrund der nichtlinearen Funktionen für die Kosten und die Reisezeit können die Zahlungsbereitschaften nicht einfach ohne Umrechnung auf andere Personengruppen oder Verkehrssituationen übertragen werden. Für Projektstudien oder Ähnliches muss eine Umgewichtung entsprechend der nichtlinearen Formeln erfolgen.

Table 41 Statistiken der Variablen der Alternativen

Variable	Min	Mittelwert	Max	St. Abweichung
Reisezeit MIV [h]	0.095	0.707	6.588	0.678
Reisezeit ÖV [h]	0.167	1.009	8.083	0.974
Treibstoffkosten [CHF]	0.115	3.608	29.996	4.185
Maut [CHF]	0.1	4.899	60.6	6.370
Parkkosten [CHF]	0	1.794	5	2.063
ÖV-Kosten [CHF]	0.2	11.713	102.4	13.323
Verlässlichkeit (Route ohne Pricing)* [%]	3.3	5.902	20	9.526
Verlässlichkeit ÖV* [%]	0	7.480	10	8.285
Verfrühung Verkehrsmittelwahl [h]	0	0.203	12.5	0.471
Verfrühung Routenwahl [h]	0	0.141	12.25	0.354
Verspätung	0	0.100	1.779	0.171
Umsteigehäufigkeit ÖV	0	0.861	5	1.053
Intervall ÖV	0.167	0.597	2	0.496

(\*)Anteil Fahrten mit einer Verspätung von mindestens 10 Minuten

Damit die in Table 41 angegebenen Zahlungsbereitschaften entsprechend interpretiert, sind in Tabelle 42 noch einmal die statistischen Daten der Variablen, die die Alternativen beschreiben, gegeben. Dies umfasst den Minimalen Wert über alle SP-Wege, den maximalen Wert, den Mittelwert sowie die Standardabweichung. Dabei soll an dieser Stelle noch einmal daran erinnert werden, dass die Treibstoffkosten ohne den Anteil der Mineralölsteuer am heutigen Preis angenommen wurden. Die Mineralölsteuer wurde vollständig in die Mautpreise integriert. Aus diesem Grund liegen die Kosten für die Maut im Durchschnitt über denen für Treibstoff. Dies ist ebenfalls bei der Interpretation der Zahlungsbereitschaften zu berücksichtigen.

Tabelle 42 Indikatoren der Zahlungsbereitschaft

Zahlungsbereitschaft für das Stichprobenmittel	
MIV-Reisezeit / Treibstoffkosten [CHF/h]	27.8
MIV-Reisezeit / Maut [CHF/h]	13.6
MIV-Reisezeit / Parkkosten [CHF/h]	10.8
ÖV-Reisezeit / ÖV-Kosten [CHF/h]	19.5
Intervall / ÖV-Kosten [CHF/h]	5.7
Umsteigen / ÖV-Kosten [CHF/Umsteigevorgang]	2.7
MIV-Verlässlichkeit / Treibstoffkosten [CHF/Wkt%*]	0.4
MIV Verlässlichkeit / Maut [CHF/Wkt%*]	0.2
ÖV-Verlässlichkeit / ÖV-Kosten [CHF/Wkt%*]	0.2
Relative Verhältnisse der Parameter	
MIV-Reisezeit / ÖV-Reisezeit	1.2
Anzahl Umsteigen / ÖV-Reisezeit [min/Umsteigevorgang]	8.2
ÖV-Zugangszeit / ÖV-Reisezeit	1.4

(\*) Anteil Fahrten mit einer Verspätung von mindestens 10 Minuten

Nichtsdestotrotz geben die relativen Verhältnisse der Parameter erste interessante Aufschlüsse bezüglich der Modellergebnisse. Die Verhältnisse sind mit vorherigen Studien wie zum Beispiel Vrtic, Axhausen, Rossera und Maggi (2003) verglichen worden und haben sich als konsistent mit den Ergebnissen dieser Studien erwiesen. Lediglich die monetäre Bewertung der Verlässlichkeit ist ein wenig höher als bei den vorherigen Studien. Dies liegt wohl vor allem daran, dass durch eine Befragung zum Thema Mobility Pricing die Verlässlichkeit eine viel grössere Bedeutung im Bewusstsein der Befragten und damit auch in ihrer Bewertung bei der Auswahl der Alternativen spielt. Diese Interpretation wird dadurch gestützt, dass alle ÖV-Merkmale leicht niedrigere monetäre Bewertungen aufweisen als zuvor. Ihnen wurde nicht die gleiche Beachtung geschenkt wie es in einer Studie der Fall ist, in der die Bewertung des ÖVs das angeführte Hauptaugenmerk der Untersuchung ist.

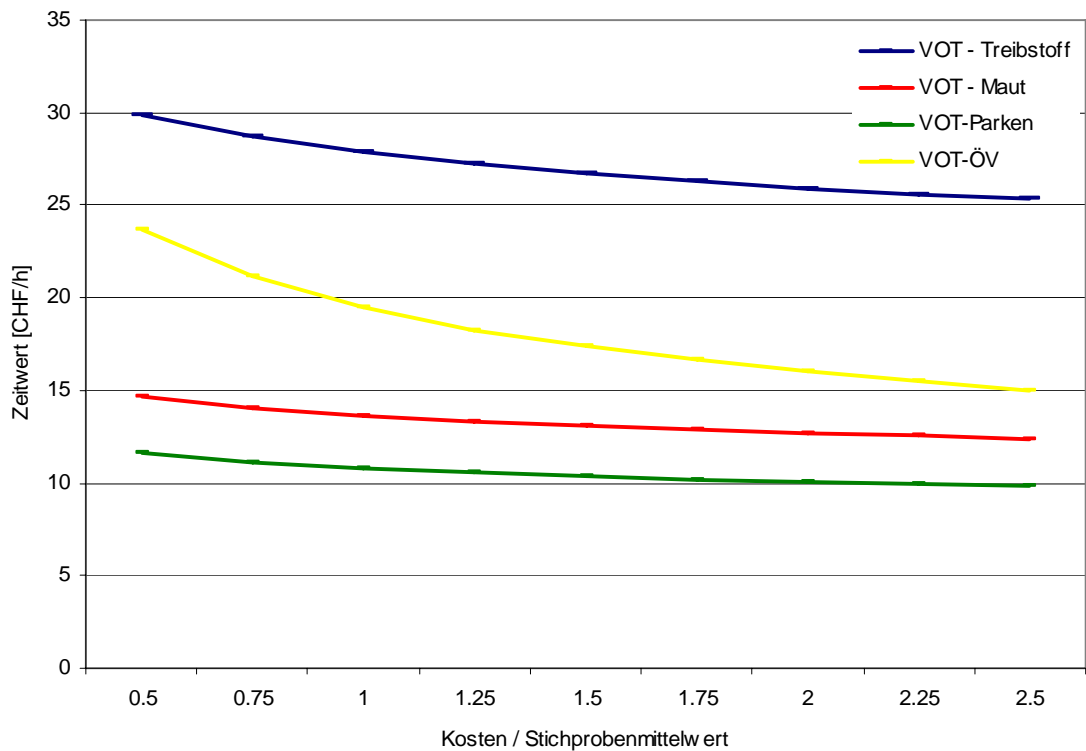
Die sicherlich wichtigsten relativen Verhältnisse in dieser Tabelle und in der gesamten Mobility Pricing Studie sind die Zeitwerte, das heisst die Verhältnisse zwischen den Parametern für die MIV- und ÖV-Reisezeit und den verschiedenen Kostenkomponenten. Tabelle 44 zeigt die Zeitwerte für die insgesamt vier Kostenkomponenten Treibstoff, Maut, Parkkosten und ÖV-Kosten. Da jedoch wie bereits angesprochen sowohl die Reisezeiten als auch die Kostenkomponenten nichtlinear definiert wurden, müssen auch die Zeitwerte unter Berücksichtigung dieser Nichtlinearitäten dargestellt werden.

Die Berechnung der Zeitwerte ergibt sich dadurch, dass der nichtlineare Term für die Reisezeit durch den nichtlinearen Term für die Kosten geteilt wird. So ergibt sich folgende Formel für die Zahlungsbereitschaft in CHF/h:

$$\text{Zeitwert} = \frac{\beta_{\text{Reisezeit}} * \left( \frac{\text{Kosten}}{\text{MittelwertKosten}} \right)^{\lambda_{\text{Kosten}}} * \text{Reisezeit}}{\beta_{\text{Kosten}} * \left( \frac{\text{Einkommen}}{\text{MittelwertEinkommen}} \right)^{\lambda_{\text{Einkommen}}} * \left( \frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{\text{Reisezeit}}} * \text{Kosten}}$$

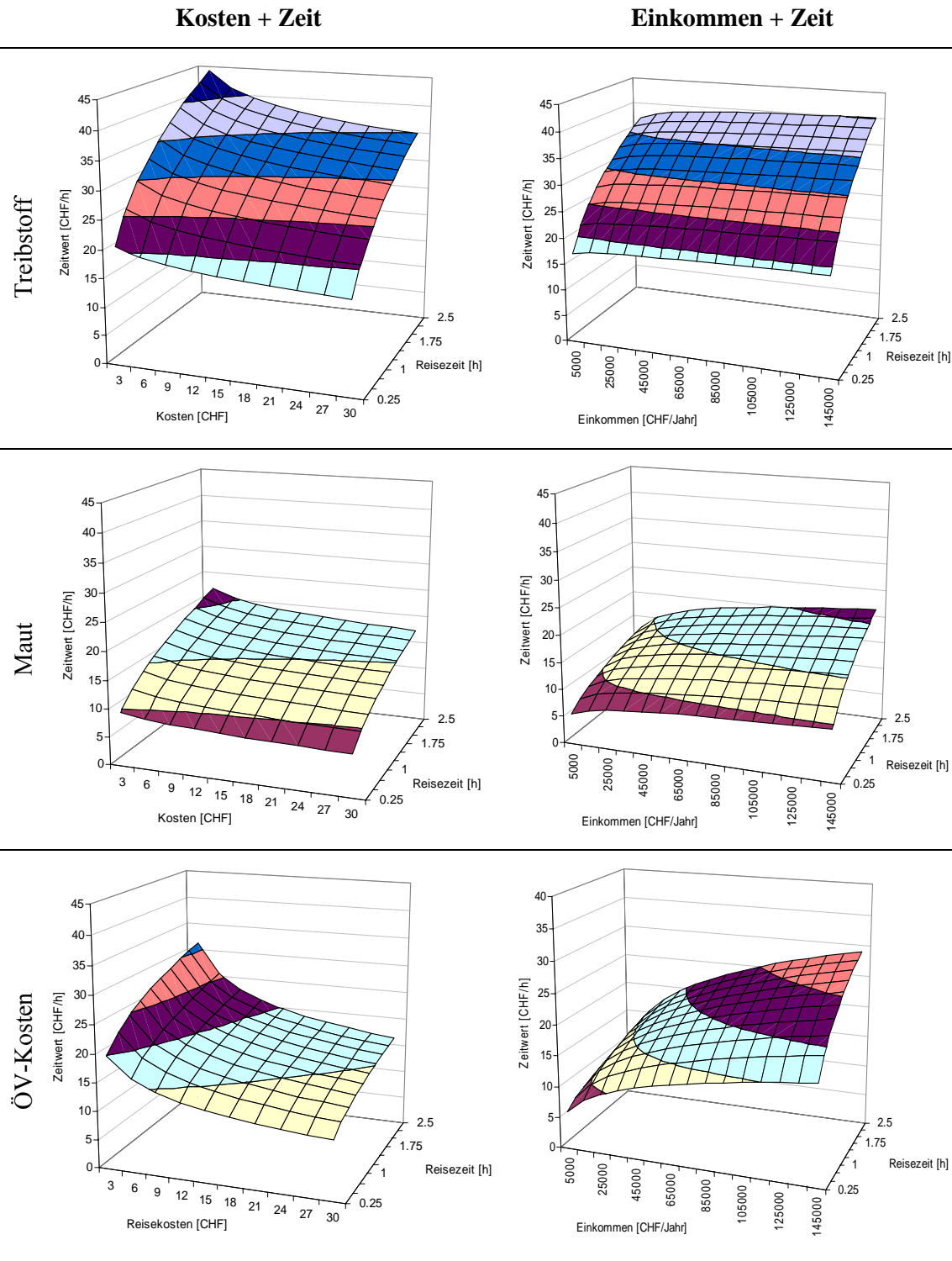
Abbildung 29 gibt einen Überblick von der Abhängigkeit des Zeitwertes vom Kostenniveau einer einzelnen Fahrt. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Kosten so variiert, dass sie zwischen ½ mal und 2½ mal so hoch sind wie die Kosten des berichteten Weges. Der Mittelwert der Gesamtkosten für einen Weg liegt bei etwa bei 10 CHF. Die Zeitwerte sind nun in Abhängigkeit dieser Kosten aufgetragen. Es ist deutlich zu sehen, dass die Zahlungsbereitschaft exponentiell abnimmt. Sie tut dies für den ÖV in noch stärkerem Masse als für den MIV.

Abbildung 29 Abhängigkeit des Zeitwertes von den Kosten



Die Zeitwerte, auch bezeichnet als die Zahlungsbereitschaften für eingesparte Reisezeit verändern sich jedoch nicht nur in Abhängigkeit vom Kostenniveau. Wie in der Definition der nichtlinearen Terme der Nutzenfunktion zu sehen war, haben vielmehr auch das Einkommen des Befragten und die Reisezeit der beurteilten Fahrt sowie die betrachtete Kostenart einen entscheidenden Einfluss. Aus diesem Grund sind in Abbildung 30 die Zahlungsbereitschaften für Treibstoff, Maut und ÖV-Kosten einmal in Abhängigkeit von den entstehenden Kosten und der Reisezeit und einmal in Relation zu Einkommen und Reisezeit dargestellt. Natürlich sind die Zeitwerte immer abhängig von allen drei Kostenarten, eine vierdimensionale Darstellung ist aber aufgrund ihrer hohen Komplexität nur schlecht geeignet, die Zusammenhänge darzustellen.

Abbildung 30 Zeitwerte in Abhängigkeit von Kosten und Zeit bzw. Einkommen und Zeit



Wie schon in Abbildung 29 ist zu sehen, dass die Zeitwerte mit steigenden Kosten fallen. Dieser Effekt lässt sich vor allem mit der übergeordneten Budgetbeschränkung erklären, die ein Reisender hat. Je näher der Betroffene an seine Budgetbeschränkung herankommt, umso mehr Reisezeitersparnisse erwartet er für das gleiche Geld. Damit sinkt seine Zahlungsbereitschaft. Steigt jedoch die Reisezeit so steigt mit ihr auch der Zeitwert. Längere Reisen sind in der Regel auch mit höheren Budgets verbunden und zusätzliche Ausgaben werden nicht mehr so hart bestraft wie bei kürzeren Reisen, insbesondere da sie prozentual einen kleineren Teil am Gesamtpreis der Reise ausmachen. Ähnliches kann beobachtet werden, wenn die Zeitwerte in Abhängigkeit vom Einkommen und der Reisezeit aufgetragen werden. Wie schon in vorherigen Studien (z. B. Axhausen et al., 2004) gezeigt wurde, führt ein höheres Einkommen nämlich zu einer höheren Zahlungsbereitschaft.

Werden die Zeitwerte der verschiedenen Kostenarten miteinander verglichen, so zeigt sich, dass das Verhalten bezüglich Kosten, Reisedistanz und Einkommen ähnlich ist. Unterschiedlich ist aber, wie schon durch den Vergleich der Zeitwerte am Stichprobenmittel aufgezeigt wurde, das Niveau auf dem die Zeitwerte angesiedelt sind. Die Zeitwerte für die Maut sind erheblich niedriger als für diejenigen für die Treibstoffkosten. Wie bereits ausgeführt, ist dies darauf zurückzuführen, dass Verkehrsteilnehmer bei kurzfristigen, taktischen Entscheidungen weniger stark auf Kosten reagieren, die ihnen unausweichlich erscheinen als auf vermeidbare Kosten wie Maut oder Parkkosten, die die durch Umwege oder andere Parkplatzwahl verhindert werden können. In diese Erklärung passt auch das Phänomen, dass der Anstieg der Zeitwerte mit Bezug zum Einkommen für die Treibstoffkosten weniger steil verläuft als für die Kosten, die durch Maut verursacht werden.

Unter der Annahme dass alle drei Kostenkomponente im MIV gleich bewertet und als eine gesamte Kostenausgabe summiert werden, ergibt sich hier für die MIV-Verkehrsteilnehmer eine Zahlungsbereitschaft von 14 CHF / h. Da die MIV-Kosten in diesem Fall wesentlich über den ÖV-Kosten liegen, ist die Zahlungsbereitschaft im MIV tiefer als im ÖV.

#### 9.4 Elastizitäten

Eine weitere wichtige Auswertung der Modellergebnisse stellt die Berechnung der Reisezeit- und Kostenelastizitäten dar. Eine Elastizität gibt ganz allgemein an, wie sich die Veränderung einer Variablen auf eine Variable auswirkt, die direkt von ihr anhängig ist. In einem Logit-Modell ist dies gleichbedeutend mit der prozentualen Änderung der Auswahlwahrscheinlichkeit einer Alternative bei Änderung eines Attributes dieser Alternative. Damit steht beispielsweise eine Mautelastizität von -0.29 in der



Verkehrsmittelwahl für eine Verringerung der Wahrscheinlichkeit, dass eine Person den MIV wählt um 2.9% falls sich die Maut um 10% erhöht. Dies kann auch direkt auf die Gesamtnachfrage angewandt werden, das heisst bei einer Mautelastizität von -0.29 führt eine Erhöhung der Maut um 10% zu einer Reduzierung der MIV-Fahrten um 2.9%. Eine Elastizität wird wie folgt berechnet:

$$E_i = \frac{\delta P_i}{\delta x_i} * \frac{x_i}{P_i}$$

Dabei ist  $\frac{\delta P_i}{\delta x_i}$  die partielle Ableitung der Auswahlwahrscheinlichkeit  $P_i$  der Alternative  $i$  nach der betrachteten Variablen  $x_i$ .

Aufgrund der nichtlinearen Funktionsformen der Kosten und Reisezeitparameter müssen diese Nichtlinearitäten auch bei der Berechnung der Elastizitäten berücksichtigt werden. Für die Reisezeit mit der Nutzenfunktion

$$\beta_{Reisezeit} * \left( \frac{Kosten}{MittelwertKosten} \right)^{\lambda_{Kosten}} * Reisezeit$$

ergibt sich darum folgende allgemeine Formel für die direkte Reisezeitelastizität. Sie wird jeweils für die einzelnen Alternativen getrennt berechnet.

$$E_{Reisezeit} = \beta_{Reisezeit} * (1 - P) * \left( \frac{Kosten}{MittelwertKosten} \right)^{\lambda_{Kosten}} * Reisezeit$$

Im Gegensatz zur direkten Elastizität gibt die Kreuzelastizität an, wie sich die Auswahlwahrscheinlichkeit der anderen Alternative ändert, wenn das gleiche Attribut der ersten Alternative verändert wird. Für die Reisezeit sieht sie wie folgt aus:

$$E_{Reisezeit} = -\beta_{Reisezeit} * P * \left( \frac{Kosten}{MittelwertKosten} \right)^{\lambda_{Kosten}} * Reisezeit$$

Für die Kostenelastizitäten der verschiedenen Kostenparameter gilt folgenden Formel, die ebenfalls individuell auf jede Alternative und Kostenart angewandt wird:

$$E_{Kosten} = \beta_{Kosten} * (1 - P) * \left( \frac{Einkommen}{MittelwertEinkommen} \right)^{\lambda_{Einkommen}} * \left( \frac{Reisezeit}{Mittelwert Reisezeit} \right)^{\lambda_{Reisezeit}} * Kosten$$

Die Formel für die entsprechende Kreuzelastizität lautet:

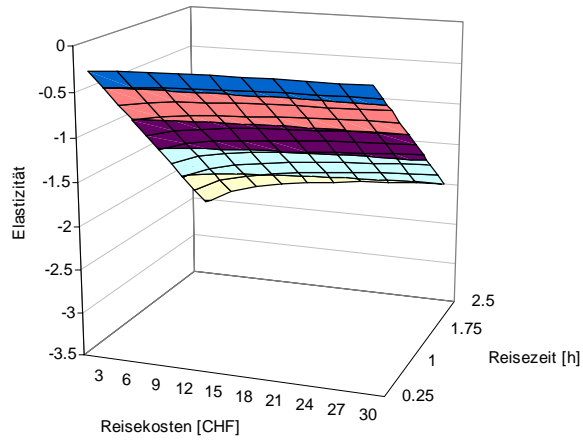
$$E_{Kosten} = -\beta_{Kosten} * P * \left( \frac{Einkommen}{MittelwertEinkommen} \right)^{\lambda_{Einkommen}} * \left( \frac{Reisezeit}{Mittelwert Reisezeit} \right)^{\lambda_{Reisezeit}} * Kosten$$

Mit diesen Formeln als Grundlage können nun die Elastizitäten der einzelnen Variablen der Nutzenfunktion berechnet werden. Abbildung 31 und Abbildung 32 zeigen den Verlauf der direkten Reisezeit- respektive Kostenelastizitäten. Die Abhängigkeit der Kostenelastizitäten vom Einkommen wurde dabei nicht dargestellt. Die Elastizitäten wurden für ein mittleres Einkommen von 78393 CHF berechnet. Die Elastizitäten haben alle ein negatives Vorzeichen, das heisst eine Erhöhung der Reisezeiten oder der Kosten für eine Alternative führt immer zu einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit, dass diese ausgewählt wird. Darüber hinaus ist deutlich zu sehen, dass sowohl die Reisezeit- als auch die Kostenelastizitäten mit zunehmenden Kosten betragsmässig steigen, mit zunehmender Reisezeit hingegen betragsmässig abnehmen. Wie bei den Zeitwerten liegt dies an den Budgetbeschränkungen. Je näher eine Person an ihre Budgetgrenze kommt, desto stärker reagiert sie auch auf kleine Veränderungen, während eine grössere Reisezeit auch das Budget erhöht.

Bezüglich der unterschiedlichen Kostenkomponenten ist wiederum deutlich zu sehen, dass die Befragten auf Kosten, die durch Maut verursacht werden, viel stärker reagieren als auf Kosten für Treibstoff. Dadurch ist der Verlauf der Elastizitätsfunktion für den Treibstoff wesentlich flacher. Der Vergleich der Reiselastizitäten im MIV und ÖV zeigt zudem, dass die Befragten auf Reisezeitveränderungen im MIV stärker reagieren als im ÖV.

Abbildung 31 Direkte Reisezeitelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit

MIV



OEV

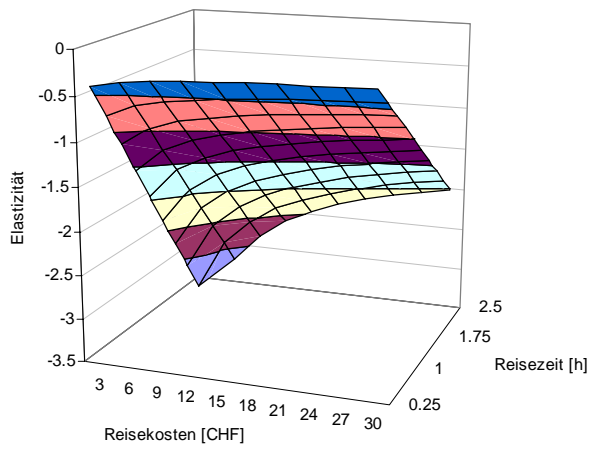
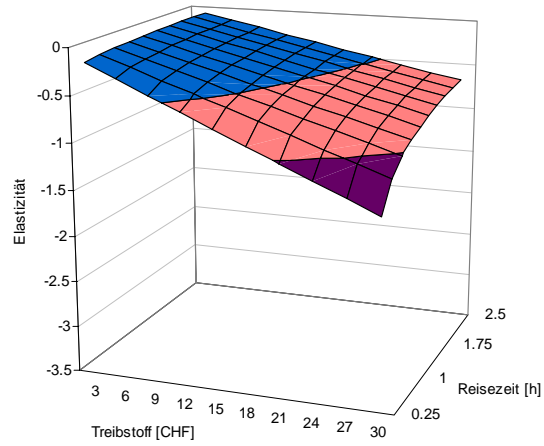
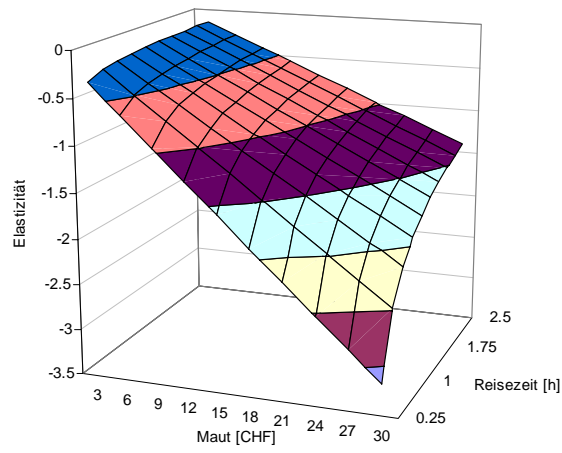


Abbildung 32 Direkte Kostenelastizität in Abhängigkeit von Kosten und Zeit

Treibstoff



Maut



ÖV-Kosten

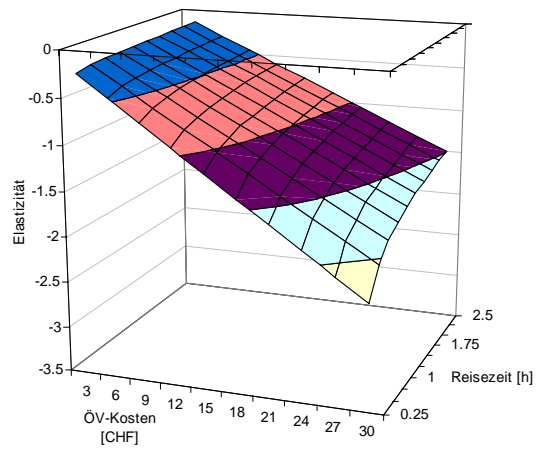


Tabelle 43 zeigt ein Beispiel für die Berechnung der Elastizitäten in der Verkehrsmittelwahl. Eingesetzt wurden für die Reisezeiten und Kosten, soweit vorhanden, die Werte aus dem KEP. Die mittlere Fahrtzeit im MIV beträgt 33 min, im ÖV 43 min. Die mittleren Treibstoffkosten liegen bei 4.40 CHF, die mittleren Mautkosten bei 3.08 CHF, die Parkkosten bei 1.79 CHF und die ÖV-Kosten bei 7.04 CHF. Für das Einkommen wurde angenommen, dass es dem durchschnittlichen Einkommen der Befragten entspricht. Alle anderen Mittelwerte wurden ebenfalls aus den Befragungsdaten übernommen. So konnten die Nutzen der Alternative und daraus die Auswahlwahrscheinlichkeiten berechnet werden. Diese betragen in dem vorliegenden Beispiel jeweils 50%. Diese Werte wurden für die einzelnen Verkehrsmittel und Kostenkomponenten in die oben angegebenen Formeln eingesetzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 43 zu sehen.

Es ist zu beachten, dass die so ermittelten Werte keine allgemeingültigen Werte für die Elastizitäten darstellen. Sie gelten speziell für das hier beschriebene Beispiel. Für eine Übertragung auf andere Untersuchungsgebiete und/oder Szenarien müssen die Werte für alle sich verändernden Variablen angepasst werden.

Tabelle 43 Beispielszenario: Direkten Elastizitäten für KEP Wege

	Reisezeit	Treibstoffkosten	Maut	Parkkosten	ÖV-Kosten
MIV	-0.62	-0.18	-0.26	-0.19	
ÖV					-0.35

Es ist wiederum zu sehen, dass die Befragten unterschiedlich stark auf die einzelnen Kostenkomponenten reagieren. So sind die Elastizitäten für die Maut und die Parkgebühren betragsmässig höher als die Elastizitäten für die Treibstoffkosten. Sie sind aber auch abhängig vom absoluten Betrag der Werte im Beispielszenario. Wäre zum Beispiel der Mittelwert der Parkkosten so hoch wie derjenige der Maut, so würde sich für die Parkkostenelastizität ein deutlich höherer Wert ergeben als für die Mautelastizität.

Auf ähnliche Weise könnten auch die Elastizitäten für die erhobene Routenwahl-Stichprobe berechnet werden. Für die dort angebotenen Alternativen (Routen) mit und ohne Road Pricing wurde eine mittlere Elastizität für die variablen Kosten von -0.5 berechnet. Diese Elastizität zeigt nur die Nachfragereaktion auf die in der Befragung vorgelegten Angebotsverhältnisse und kann nicht auf die realen (und nicht mit dem Stichprobenmittelwert identischen) Anwendungen übertragen werden. Hier müssen neben den Kostenveränderungen bzw. den Kostendifferenzen vor allem die Zeitdifferenzen zwischen den Routen berücksichtigt werden.

Die durch die Angebots- bzw. Kostenveränderungen verursachten Routenwahlveränderungen können nur durch die Anwendung von Umlegungsmodellen berechnet werden. Die hier geschätzten Modellparameter werden in die Umlegungsmodelle und die dort vorhandenen Routenwahlansätze implementiert.

## 9.5 Fahrtweckspezifische Modelle

Als letzter Schritt der Modellschätzungen für die taktischen Entscheidungen wurde das Modell separat für die einzelnen Fahrtzwecke geschätzt. Die Fahrtzwecke wurden im Rahmen der KEP Befragung von den Befragten berichtet und ihnen in der Einführung zum Fragebogen noch einmal in Erinnerung gerufen. Dieser Fahrtzweck hatte daher Gültigkeit für alle SP-Experimente eines Befragten.

Auf Basis dieser Fahrtzwecke wurde die Stichprobe in vier fahrtweckspezifische Teilstichproben zerlegt und das kombinierte Routen- Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahlmodell für diese Teilstichproben geschätzt. Um stabile Modellergebnisse zu erhalten und die Modelle für die verschiedenen Fahrtzwecke vergleichbar zu machen, wurden die Kostenparameter für Treibstoff, Maut, Parken und ÖV-Tickets sowie die Nichtlinearitätsparameter  $\lambda$  jeweils auf den Wert festgesetzt, der das Ergebnis der Modellschätzung über alle Fahrtzwecke war. Damit verändern sich die Auswirkungen des Einkommens und der Reisezeit auf die Wahrnehmung der Kosten sowie die Bewertung der Kosten über die Fahrtzwecke nicht, was plausibel ist. Was sich jedoch erheblich unterscheidet ist die Bewertung der Reisezeit. Daher wurde dieser Parameter jeweils separat für die einzelnen Modelle geschätzt. Daraus ergeben sich dann auch unterschiedliche Zeitwerte und Reisezeitelastizitäten für die einzelnen Fahrtzwecke. Die Ergebnisse der Modellschätzung sind in Tabelle 44 dargestellt. Die Parameter haben die zu erwartenden Vorzeichen und die Modellgüte ist bei einigen Fahrtzwecken sogar noch höher als für das Gesamtmodell.

Die Reisezeitparameter verhalten sich über die verschiedenen Fahrtzwecke so, wie aus früheren Studien zu erwarten ist. Das Vorzeichen aller Reisezeitparameter ist negativ, das heisst zusätzliche Reisezeit wird bestraft, allerdings unterschiedlich stark für die verschiedenen Fahrtzwecke und Verkehrsmittel. Im MIV ist der Betrag des Reisezeitparameters am grössten für den Fahrtzweck Nutzfahrt und am kleinsten für den Fahrtzweck Freizeit. Das heisst Personen mit Fahrtzweck Nutzfahrt reagieren am stärksten auf eine Verlängerung der Reisezeit und haben damit den grössten Zeitwert, Personen im Fahrtzweck Freizeit den kleinsten. Im ÖV hingegen verhalten sich die Reisezeitparameter ein wenig anders. Am stärksten auf die Reisezeit reagiert haben hier die Personen mit dem Fahrtzweck Pendler, gefolgt von der Nutzfahrt. Den betragsmässig kleinsten Reisezeitparameter hat wiederum die

Freizeit. Beide Verhaltensmuster entsprechen genau denjenigen, die in vorherigen Zeitwertstudien (siehe Axhausen et al., 2004) beobachtet wurden.

Tabelle 44 Fahrtzweckspezifische Modelle der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl

VM	Variable	Gesamt	Pendler	Einkauf	Nutzfahrt	Freizeit
MIV	Konstante_VMW	0.21	0.02	0.74	-1.91 *	0.18
	Konstante_RW	4.80 *	4.75 *	2.98 *	4.30 *	4.81 *
	IV-Reisezeit	-2.26 *	-2.20 *	-2.42 *	-3.05 *	-1.91 *
	Treibstoffkosten	-0.08 *			fixed	
	Maut	-0.17 *			fixed	
	Parkgebühren	-0.21 *			fixed	
	Verfrühung_VMW	-0.35 *	-0.19	0.32	0.21	-0.38 *
	Verfrühung_RW	0.30	0.33	0.82	0.48	0.24
	Verspätung	-0.78 *	-0.24 °	-0.73 *	-0.52 °	-1.28 *
	IV-Verlässlichkeit	-0.04 *	-0.04 *	-0.02 *	-0.04 *	-0.03 *
	PW-Besitz	0.52 *	0.46 *	0.65 *	0.64 *	0.38 *
	PW-km	0.03 *	0.02 *	0.00	0.02 *	0.05 *
	Sprache französisch	-0.52 *	-0.10	-0.42	1.09 *	-0.03
	Sprache deutsch	-0.15	-0.37	-0.02 *	0.88	-0.73 *
Präferenz für MP im Sp1	6.49 *	5.92 *	4.76 *	6.54 *	6.80 *	
ÖV	ÖV-Reisezeit	-1.90 *	-2.64 *	-1.63 *	-2.03 *	-1.61 *
	ÖV-Kosten	-0.10 *			fixed	
	Zugangszeit	-2.61 *	-1.75 *	-1.28 *	-4.43 *	-2.68 *
	Intervall	-0.56 *	-0.46 *	-0.64 *	-0.97 *	-0.48 *
	Umsteigezahl	-0.26 *	-0.16 *	-0.25 *	-0.34 *	-0.29 *
	Verfrühung_VMW	-0.35 *	-0.19	0.32	0.21	-0.38 *
	Verspätung	-0.78 *	-0.24 °	-0.73 *	-0.52 °	-1.28 *
	ÖV-Verlässlichkeit	-0.02 *	-0.01	0.00	-0.07 *	-0.01
	Alter	0.01 *	0.02 *	0.01 *	0.00	0.01 *
	GA-Besitzer	1.33 *	0.54 *	1.97 *	2.28 *	1.44 *
Halbtaxabo-Besitzer	0.62 *	0.14	0.96 *	1.18 *	0.65 *	
Erwerbstätig	0.03	-0.02	0.06	-0.59 *	-0.08	
Nicht linear itätsparameter	$\lambda$ _Kosten_IV	-0.10 *			fixed	
	$\lambda$ _Kosten_ÖV	-0.28 *			fixed	
	$\lambda$ _Einkommen_Treibstoff	-0.02			fixed	
	$\lambda$ _Einkommen_Maut	-0.15 *			fixed	
	$\lambda$ _Einkommen_Parkkosten	-0.28 *			fixed	
	$\lambda$ _Einkommen_ÖV	-0.26 *			fixed	
	$\lambda$ _Reisezeit_Treibstoff	-0.33 *			fixed	
	$\lambda$ _Reisezeit_Maut	-0.35 *			fixed	
$\lambda$ _Reisezeit_Parkkosten	-0.27 *			fixed		
$\lambda$ _Reisezeit_ÖV	-0.19 *			fixed		
Anzahl Beobachtungen	13552	3408	1993	2375	5776	
Finale Log-Likelihood	-6084.63	-1523.08	-757.83	-1029.11	-2604.71	
Adj. Rsq (B)	0.35	0.34	0.43	0.36	0.34	
Skalierungsparameter SP2 (fixed)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Skalierungsparameter SP3	1.91	1.56	1.38	1.01	1.05	
Skalierungsparameter SP4	1.98	1.75	1.61	0.97	1.01	

(\*) signifikant auf 95% Niveau, (°) signifikant auf dem 90% Niveau, (°) signifikant auf dem 80% Niveau

Wie zuvor wurden für jedes Modell zwei Konstanten bestimmt die eine allgemeine Bevorzugung einer Alternative angeben, welche nicht durch die übrigen Parameter erklärt wird. In der Routenwahl ist für alle Fahrtzwecke eine allgemeine Bevorzugung der Route ohne Mobility Pricing festzustellen, die in etwa so gross ist wie beim Modell über alle Fahrtzwecke. In der Verkehrsmittelwahl hingegen ergibt sich im Fahrtzweck Nutzfahrt eine Besonderheit. Im Gegensatz zum Modell über alle Fahrtzwecke und zu den übrigen Fahrtzwecken ist hier eine allgemeine Bevorzugung des ÖV zu beobachten. Zudem ist die Verkehrsmittelwahl-Konstante nur für diesen Fahrtzweck auf dem 95% Niveau signifikant.

Bezüglich der soziodemographischen Charakteristika ist bis auf wenige Ausnahmen bei allen Fahrtzweckmodellen das gleiche Verhalten festzustellen wie im Modell über alle Fahrtzwecke. Ältere Befragte und Besitzer von ÖV-Abonnements bevorzugen den ÖV und die Route mit Mobility Pricing. PW-Besitzer und Befragte mit hoher Fahrleistung entscheiden sich hingegen bevorzugt für den MIV und die Route ohne Mobility Pricing. Darüber hinaus wählen die Befragten aus dem Tessin häufiger den MIV als diejenigen aus dem deutsch- oder französischsprachigen Teil. Eine Ausnahme bildet für dieses soziodemographische Charakteristikum wiederum der Fahrtzweck Nutzfahrt. Hier wird der MIV von den Befragten aus dem deutsch- oder französischsprachigen Teil der Schweiz weniger gut bewertet als von den Befragten aus dem Tessin.

Die Parameter für die Bestrafung einer verfrühten Abfahrtszeit sind für die einzelnen Fahrtzwecke nicht signifikant auf dem 95% Niveau, mit Ausnahme der Verkehrsmittelwahl im Freizeitverkehr. Dies lässt sich vor allem mit den kleineren Stichproben für die einzelnen Fahrtzwecke erklären. Diese können dazu führen, dass sich der Einfluss eines Charakteristikums nicht mehr mit Sicherheit voraussagen lässt. Im Fahrtzweck Nutzfahrt erfährt eine Verschiebung der Abfahrtszeit auf einen früheren Zeitpunkt jedoch eine ebenso grosse Bestrafung wie im Modell über alle Fahrtzwecke. Die Verschiebung der Abfahrtszeit auf einen späteren Zeitpunkt wird jedoch für alle Fahrtzwecke bestraft. Allerdings ist der Parameter für die Nutzfahrt nur auf dem 90% Niveau signifikant und der Parameter für die Pendler auf dem 80% Niveau. Der Parameter für die Verlässlichkeit des ÖV in der Verkehrsmittelwahl ist jedoch nur für die Nutzfahrt signifikant. Ebenso wie im Modell über alle Fahrtzwecke führt eine grössere Unzuverlässigkeit im ÖV zu einer Bevorzugung der MIV-Alternative. In der Routenwahl zeigt sich hingegen für alle Fahrtzwecke, dass eine steigende Unzuverlässigkeit auf der Route ohne Mobility Pricing zu einer Bevorzugung der Route mit Mobility Pricing führt.



Der Parameter für den Einfluss der politischen Einstellung auf das Verhalten in der Routenwahl ist weiterhin für alle Fahrtzwecke hochsignifikant und zeigt wie im Modell über alle Fahrtzwecke, dass Personen, die im politischen SP häufiger das System mit Mobility Pricing gewählt haben auch häufiger die Route mit Mobility Pricing im Routenwahl-Experiment wählen.

## 9.6 Anwendungsbeispiele

Mit den geschätzten Modellparametern wird in einem weiteren Schritt anhand von kleineren Anwendungsbeispielen die Wirkungen von Reisekostenveränderungen auf die Routenwahl, Verkehrsmittelwahl und Wahl der Abfahrtszeit geprüft. Als Grundlagedaten werden die vorhandenen Daten des Nationalen Personenverkehrsmodells verwendet.

### *Wirkungen des Mobility Pricing auf die Abfahrtszeit*

Für die Schätzung der Abfahrtszeitveränderungen durch die Einführung von dynamischen Preisen sind neben der Kostenkomponente vor allem die Veränderungen der Reisezeiten wichtige Einflussfaktoren. Im heutigen schweizerischen Verkehrssystem wird die Abfahrtszeit vor allem durch die gewünschte Ankunftszeit, benötigte Reisezeit und die Verlässlichkeit der Verkehrssysteme bestimmt. Dabei wird im MIV sowohl die Reisezeit als auch die Verlässlichkeit vor allem durch die Überlastungen der vorhandenen Kapazitäten zu bestimmten Tageszeiten, determiniert. Weitere Einflussfaktoren wie Verkehrsunfälle oder Baustellen werden von den Verkehrsteilnehmern bei der Bewertung nicht in den Vordergrund gestellt. Im ÖV wird die Verlässlichkeit vor allem durch die Häufigkeit einer Verbindung geschätzt.

Für die Modellierung von Abfahrtszeitveränderungen müssen solche Einflussfaktoren quantifiziert und bewertet werden. Durch die Einführung von Mobility Pricing als dynamische Kostenkomponente während des Tages werden die gesamten Nutzen bzw. generalisierten Kosten einzelner Zeitintervalle verändert. Die Folge von solchen Angebotsveränderungen ist, in Abhängigkeit vom Fahrtzweck und der Situation, unter anderem auch eine Anpassung der Abfahrtszeit der Verkehrsteilnehmer.

Im hier betrachteten Testbeispiel wird eine Quell-Ziel-Beziehung (Zürich-Winterthur) mit in Spitzenzeiten überbelastetem Strassennetz (mit Stau) betrachtet. Die Tagesganglinie wurde aus den Automatischen Verkehrszählungen 2000 übernommen. Berechnet werden die

Auswirkung von Angebotsveränderungen auf die Abfahrtszeit. Dabei werden zwei verschiedene Situationen getestet: In der ersten Situation wird die Reisezeit durch Entfernen des Staus (beispielsweise durch Erhöhung der Kapazität) verkürzt ohne dass die Reisekosten erhöht werden. In der zweiten Situation wird wiederum die Reisezeit verkürzt, diesmal jedoch durch Einführung von Mobility Pricing und damit erhöhten Reisekosten. In beiden Fällen wird angenommen, dass das Gesamtverkehrsaufkommen über den Tag konstant bleibt. Für die Berechnung der Nachfrageveränderungen wurde der Pivot-Point-Modellansatz (Ortuzar und Willumsen, 1995) verwendet.

Der Ansatz hat folgende Form:

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

wobei:

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

$P'_k$  Anteile für Alternative k im Planfall

$P_k^0$  Anteile für Alternative k im Referenzfall

Dieser Ansatz wird auch bei der Schätzung von Verkehrsmittelwahlveränderungen angewendet.

Für die Berechnung des Nutzens werden neben den veränderten Reisezeiten sowie daraus berechneten Stauzeiten bzw. Verspätungswahrscheinlichkeiten auch unterschiedliche Mobility Pricings nach einzelnen Zeitintervallen im MIV angenommen:

- 00:00 bis 05:00, 22:00 bis 24:00 - keine Gebühr
- 05:00 bis 06:00, 09:00 bis 16:00, 19:00 bis 22:00 – 2 CHF/Fahrt
- 06:00 bis 09:00, 16:00 bis 19:00 – 5 CHF/Fahrt

Es wurde angenommen, dass die Verkehrsteilnehmer die berechneten Stauzeiten als Verspätung betrachten und dementsprechend auch bewerten. Bei dieser Annahme muss beachtet werden, dass dies nicht vollständig dem Verkehrsverhalten entspricht, da die Verkehrsteilnehmer die Stauzeiten auch im Voraus bei der Planung der Abfahrtszeit

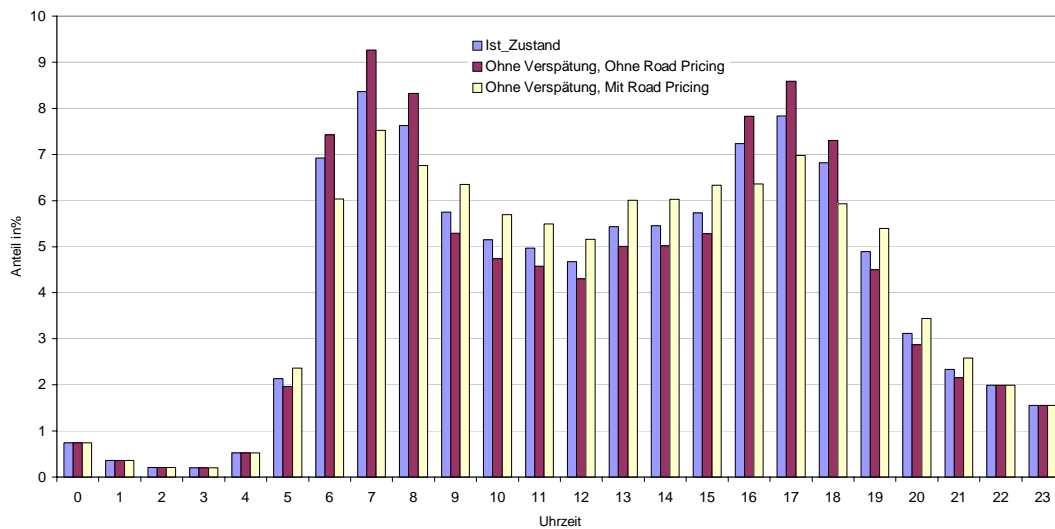
kalkulieren. Damit kann das hier getestete Beispiel als extreme Variante betrachtet werden. Bei der konkreten Anwendung wäre eine Sensitivitätsbetrachtung einzubeziehen.

Die berechneten Anteile am Tagesverkehr der einzelnen Stundenintervalle für die drei betrachteten Zustände sind in Abbildung 33 dargestellt. Die drei Zustände sind wie folgt definiert:

- Zustand heute (Ist-Zustand)
- Zustand ohne Verspätung und ohne Mobility Pricing
- Zustand ohne Verspätung und mit Mobility Pricing

Der Zustand ohne Verspätung und ohne Mobility Pricing würde eine Angebotsverbesserung ohne Erhöhung der Reisekosten bedeuten, der Zustand ohne Verspätung und mit Mobility Pricing hingegen eine Angebotsverbesserung mit Erhöhung der Reisekosten.

Abbildung 33 Anwendungsbeispiel: Veränderung der Tagesganglinie durch die unterschiedlichen Verkehrsangebote und Reisekosten der einzelnen Zeitintervalle



Der berechnete Nachfrageanteil der einzelnen Stunden auf die gesamte Tagesnachfrage zeigt eine logische Anpassung der Abfahrtszeit in Abhängigkeit des veränderten Nutzens bzw. der generalisierten Kosten. In diesem Beispiel werden die Veränderungen vor allem durch die angenommene Reisezeitveränderung und die daraus entstandene Verspätungswahrscheinlichkeit sowie die veränderten Reisekosten bestimmt.

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass das verbesserte Verkehrsangebot (Zustand ohne Verspätung und ohne Road Pricing) ohne Erhöhung der Reisekosten zu einer Erhöhung der Verkehrsnachfrage zu den Spitzenzeiten führt. Dementsprechend reduziert sich die Verkehrsnachfrage ausserhalb der Morgen- und Abendspitzenzeit.

Die Einführung des Mobility Pricings (Zustand ohne Verspätung und mit Road Pricing) führt trotz verbesserter Angebotsqualität (ohne Verspätung) zu einer Erhöhung der generalisierten Kosten und dementsprechend zu weiteren Nachfrageverschiebungen auf der betrachteten Zeitachse. Ein höheres Road Pricing in den Spitzenzeiten als in den übrigen Zeitintervallen hat eine Abflachung der Tagesganglinien bzw. eine teilweise Verdrängung der Verkehrsnachfrage auf Zeitintervalle ausserhalb derjenigen mit höherem Road Pricing zur Folge.

Dieses Beispiel zeigt, dass mit den geschätzten Modellparametern, und unter Betrachtung des Tagesverkehrs als Randsummenbedingung, die Auswirkungen von veränderten Angebots- bzw. Kostenverhältnissen einzelner Zeitintervalle modelliert werden können. Es ist zu beachten, dass bei der konkreten Anwendung einige hier getroffene Annahmen genauer diskutiert bzw. überprüft werden müssen.

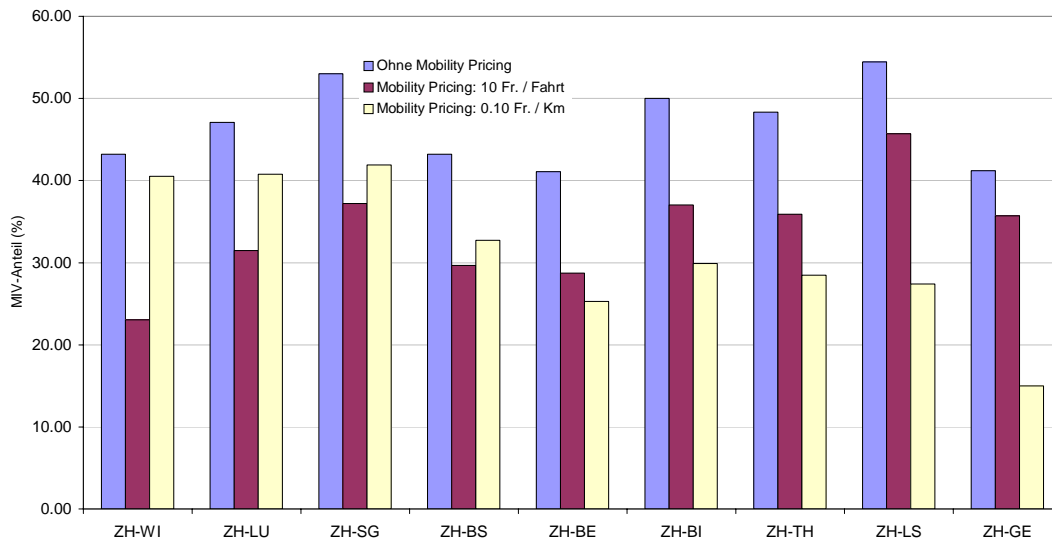
#### *Auswirkungen des Mobility Pricings auf die Verkehrsmittelwahl*

Die Auswirkungen des Mobility Pricings auf die Verkehrsmittelwahl werden ebenfalls durch die Anwendung eines Pivot-Point-Modellansatzes berechnet. Als Beispiel werden hier neun unterschiedlichen Quell-Ziel-Beziehungen betrachtet. Es werden zwei unterschiedliche Kostenerhöhungen analysiert:

- Ein pauschales Road Pricing von 10 CHF/Fahrt
- Kilometerabhängiges Road Pricing von 0.10 CHF/km

Die ermittelten Verkehrsmittelwahlveränderungen auf den einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen sind in Abbildung 34 dargestellt.

Abbildung 34 Anwendungsbeispiel: Veränderung der Verkehrsmittelwahl-Anteile durch die Einführung von Road Pricing



Es ist zu sehen, dass die Verkehrsmittelwahlveränderungen sehr stark von der Weglänge bzw. dem gesamten Nutzens des Weges sowie dem Anteil des Road Pricings am gesamten Nutzen abhängig sind. So führt z.B. die Einführung des Road Pricings von 10 CHF/Fahrt für die Quell-Ziel-Beziehung Zürich-Winterthur zu einer deutlich höheren Modal-Split-Veränderung als bei den Beziehungen Zürich-Lausanne oder Zürich-Genf.

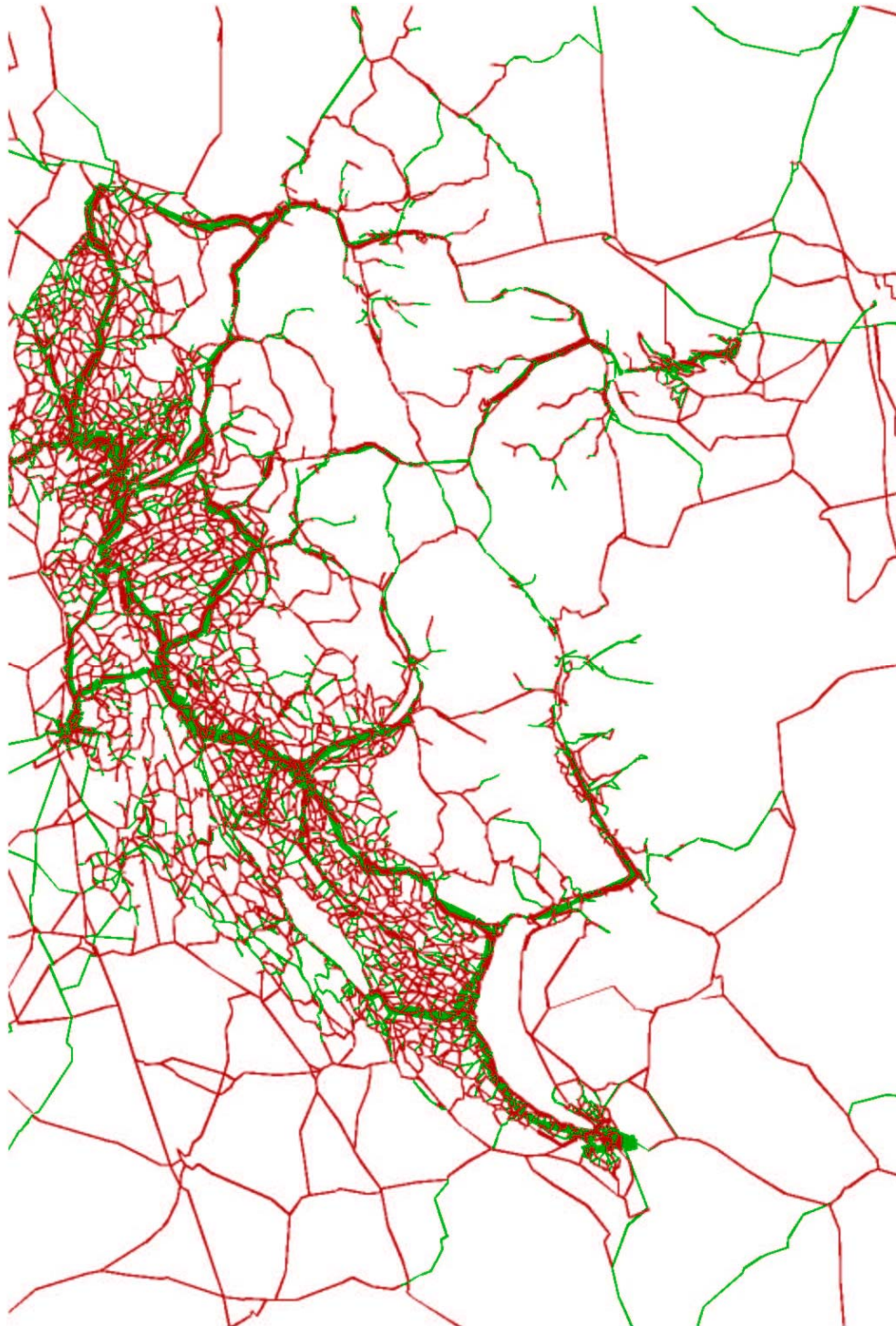
Andererseits führt die Einführung des km-abhängigen Road Pricings vor allem zu einer starken Erhöhung der Reisekosten auf längeren Wegen. Hier verändert sich der Anteil der MIV-Fahrten auf der Strecke Zürich-Winterthur deutlich weniger als auf längeren Quell-Ziel-Beziehungen.

Aus diesem Beispiel lassen sich mögliche Wirkungen des Mobility Pricing Systems schon grob prognostizieren. Für eine Anwendung muss die Struktur der MIV-Fahrten in der Schweiz berücksichtigt werden. Somit können in Abhängigkeit von festgelegten politischen Zielen sowohl das Mobility Pricing System als auch die Kostenhöhe als Instrumente überprüft und optimiert werden.

### *Auswirkungen von Mobility Pricing auf das Routenwahlverhalten*

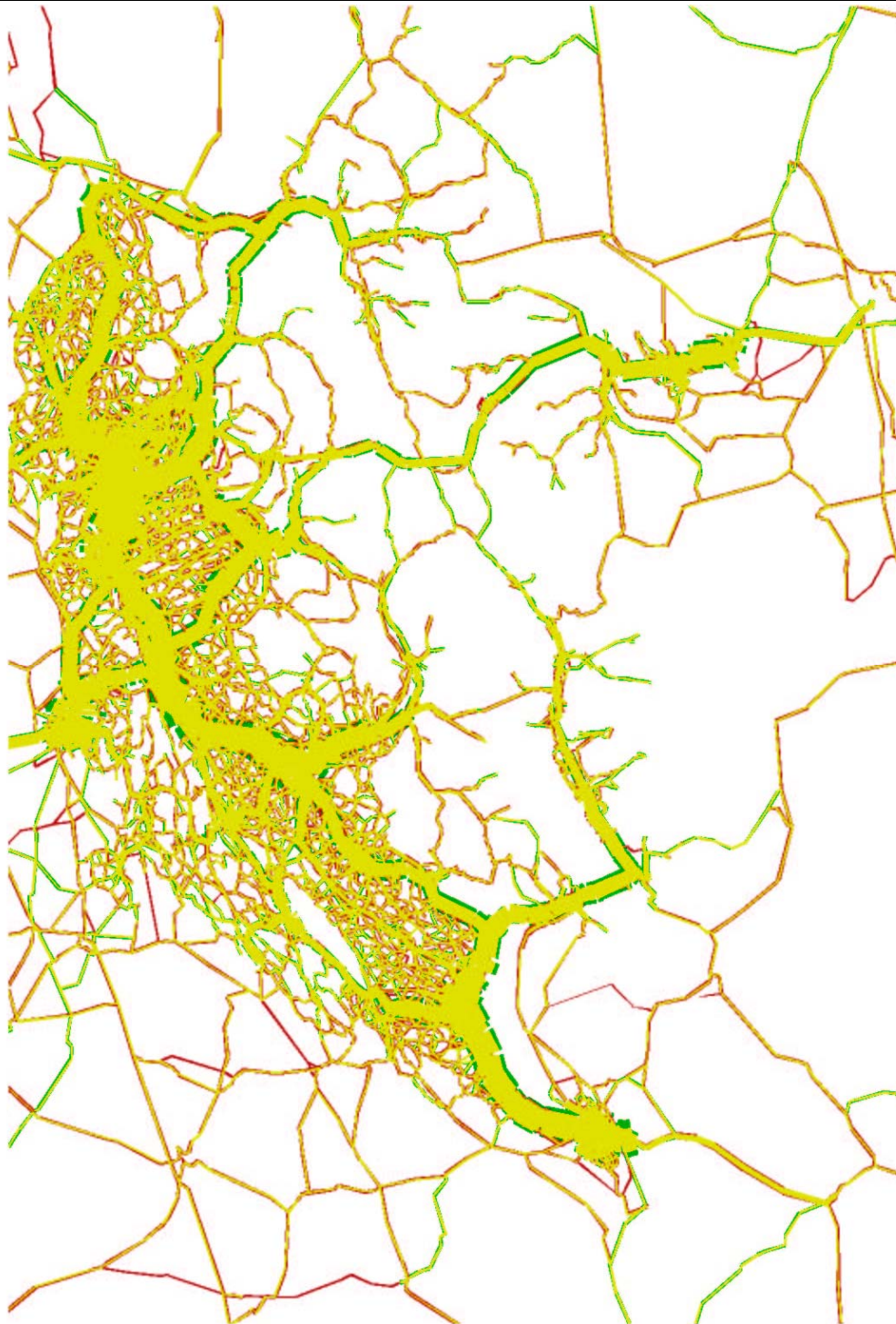
Die möglichen Wirkungen von Mobility Pricing auf das Routenwahlverhalten wurden durch die Anwendung des Nationalen Personenverkehrsmodells analysiert. In diesem Beispiel wurde die Einführung von zusätzlichen Gebühren auf dem Autobahnnetz getestet. Es wurde eine fixe Gebühr von 0.10 CHF pro Autobahn-Kilometer angenommen. Als Umlegungsmethode wurde das stochastische Nutzergleichgewicht verwendet. Es wurden zwei Umlegungen mit dem nationalen Personenverkehrsmodell: jeweils eine mit und ohne Road Pricing auf dem Autobahnnetz. Für die Nachfrageaufteilung wurden die durch die Stated Preference Befragung geschätzten Parameter angewendet. Die Differenzen der Netzbelastungen in Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigen die Routenwahlveränderungen und dadurch entstandene Veränderungen in den Netzbelastungen durch die Einführung des Road Pricings. Abbildung 35 stellt diese absolut dar, Abbildung 36 in Relation zur Belastung im Ausgangszustand. Es ist zu sehen, dass die Einführung von Autobahngebühren vor allem eine Unterdrückung der Fahrten auf das untergeordnete Strassennetz zur Folge hat. Die Anzahl Fahrten die auf das untergeordnete Strassennetz verlagert werden ist natürlich stark von der Angebotsqualität und den Zeitdifferenzen zwischen den vorhandenen Alternativen abhängig.

Abbildung 35 Routenwahlveränderungen: Differenzen der Netzbelastungen durch die Einführung des Mobility Pricings auf dem Autobahnnetz (0.1 Fr./Km)



Rot = Zunahme (relativ), grün = Abnahme (relativ)

Abbildung 36 Routenwahlveränderungen: Differenzen der Netzbelastungen durch die Einführung des Mobility Pricings auf dem Autobahnnetz (0.1 Fr./Km)



gelb= Belastung ohne Mobility Pricing , rot= Zunahme (relativ), grün= Abnahme (relativ)



## 10 Modellergebnisse: Strategische Entscheidungen

Anders als bei der schriftlichen Befragung, welche einen *Stated-Choice*-Ansatz verfolgt, sind die strategischen Entscheide als *Stated-Preference*-Fragen gestaltet. Dies hat insofern Auswirkungen auf die Auswertungen, als dass das MNL-Modell nicht direkt durch die Fragestellung definiert ist. Um dennoch mit MNL-Modellen arbeiten zu können, wird der Besitz der einzelnen Mobilitätswerkzeuge unter Berücksichtigung der Kenngrößen der jeweiligen Situation, der Soziodemographie sowie der Wahl weiterer Mobilitätswerkzeuge jeweils separat modelliert.

Aufgrund der Fragebogengestaltung bietet es sich an, die Daten von SP5 und SP7 (Mobilitätswerkzeugbesitz) zusammenzulegen und gemeinsam auszuwerten. Die grössere Datenmenge erhöht die Verlässlichkeit der Aussagen und ermöglicht, dass auch selten gewählte Alternativen statistisch modellierbar sind.

SP6 (Mobilitätswerkzeugbenutzung) zielt primär auf die Aufteilung der Verkehrsleistung auf verschiedene Strassentypen sowie die Transportmodi IV und ÖV bei veränderten Kosten und Geschwindigkeiten ab. Zur Analyse werden hierbei Methoden der linearen Regression verwendet.

Die Modelle der diskreten Entscheidungen von SP5 und SP7 wurden mit der Software BIOGEME geschätzt, die Regressionen von SP6 mit dem Statistikpaket SPSS, Version 13.

### 10.1 Deskriptive Analyse des Mobilitätswerkzeugbesitz der berücksichtigten Haushalte

Anhand einer deskriptiven Analyse des heutigen Mobilitätswerkzeugbesitzes der befragten Personen sollen bestehende Abhängigkeiten erkannt werden, anhand derer die MNL-Modelle formuliert werden können. Dazu wird in Tabelle 45 für nominal skalierte Variablen der Besitzanteil, in Tabelle 46 für verhältnisskalierte Variablen der Mittelwert separiert nach gewähltem Mobilitätswerkzeug ausgewiesen. Ein Vergleich mit dem Besitzanteil über alle Befragten lässt dabei erste Schlüsse über den Einfluss einzelner Variablen auf den Mobilitätswerkzeugbesitz zu. Dabei ist aber zu beachten, dass damit keine Aussage über Einflussstärke der einzelnen Variablen untereinander möglich ist. Daneben bergen

Korrelationen (bspw. Wohnlage und Distanz zur Haltestelle) die Gefahr von Fehlinterpretationen.

Aufgrund der Angaben zur Anzahl der Personenwagen im Haushalt und deren Benutzung durch die Haushaltsmitglieder konnte eine gegenüber dem Fragebogen neue Mobilitätswerkzeugklasse definiert werden: Wird ein Personenwagen von mehreren Personen benutzt, werden diese Personen neu der Klasse ‚Personenwagen gem. benutzt‘ zugeordnet.

Tabelle 45 Mobilitätswerkzeugbesitz: prozentuale Anteile nach Klassen

Variable		PW allein benutzt	PW gem. benutzt	Verbundsabo	GA	Halbtax	keine ÖV-Karte	Total Befragte
Alle		58.6	7.3	13.6	15.0	30.0	41.5	819
PW	allein benutzt	100	0	5.6	7.3	31.0	56.0	480
	mitbenutzt	0	100	36.7	11.7	21.7	30.0	60
	kein	0	0	22.2	29.0	29.9	19.0	279
Geschlecht	männlich	58.8	7.5	11.9	16.9	31.8	39.3	478
	Weiblich	58.4	7.0	15.8	12.3	27.3	44.6	341
Parkmöglichkeit am Arbeitsplatz	gratis	70.4	6.8	8.2	12.1	27.9	51.8	355
	kostenpflichtig	61.1	8.4	16.8	24.2	19.1	39.7	131
	Keine Möglichkeit	35.6	11.1	32.6	22.2	28.1	17.0	135
	Keine Arbeit	51.5	5.1	8.1	9.1	41.9	40.9	198
Parkmöglichkeit zu Hause	Gratis	47.9	0.0	12.5	37.5	22.9	27.1	48
	Garage	60.6	8.4	12.3	13.1	33.0	41.7	619
	Strasse, kostenpflichtig	50.0	11.1	20.8	12.5	19.4	47.2	72
	Strasse, gratis	57.5	0.0	17.5	18.8	20.0	43.8	80
Tägliche Verpflichtung	Ja	51.3	5.0	8.0	9.0	42.2	40.7	199
	Nein	61.0	8.1	15.3	16.9	26.0	41.8	620
Erwerbstätigkeit	Vollzeit	61.9	7.5	15.9	13.5	28.7	41.9	415
	Teilzeit	55.6	9.9	13.5	12.9	27.5	46.2	171
	Keine Arbeit	54.7	5.2	9.5	19.4	34.1	37.1	232
Wohnlage	City	45.2	5.8	20.2	22.1	27.9	29.8	104
	Stadtgebiet	50.9	11.4	19.2	16.2	21.6	43.1	167
	Vorort/Agglomeration	59.4	4.7	15.6	9.0	29.2	46.2	212
	ländlich	66.1	7.4	7.4	16.1	35.1	41.4	336

Tabelle 46 Mobilitätswerkzeugbesitz: prozentuale Anteile nach Klassen

Variable		PW allein benutzt	PW gem. benutzt	Verbundsabo	GA	Halbtax	keine ÖV-Karte	Total
Alter [J]	Mittelwert	44.65	31.4	38.8	41.3	46.63	42.56	43.14
Alter <sup>2</sup> [J]	Mittelwert	2226.7	1104.6	1709.2	1992.9	2401.0	2051.2	2118.35
Monatliches Haushaltseinkommen [CHF]	Mittelwert	7176	4285	6124	7705.2	7471	6549	6966.5
ln(monatliches Haushaltseinkommen) [CHF]	Mittelwert	8.7	8.1	8.5	8.7	8.8	8.6	8.68
Taktfolgezeit [Min]	Mittelwert	33.93	29.04	17.53	24.97	27.60	38.58	30.25
Distanz zur Haltestelle [Meter]	Mittelwert	441.06	304.63	410.52	331.45	404.95	405.98	394.91
Unterschied Reisezeit IV- ÖV zur Arbeit [min]	Mittelwert	-14.88	-6.01	-7.80	-6.8	-10.0	-14.3	-10.95
Unterschied Reisezeit IV- ÖV zum Einkauf [min]	Mittelwert	-12.31	-7.16	-5.41	-6.83	-10.86	-11.3	-9.69

Die obigen Daten sollen an dieser Stelle nicht einzeln besprochen werden, zumal sie vor allem zur intuitiven Anschauung der Modellierungsergebnisse, welche später vorgestellt werden, dienen sollen. Allerdings sei bemerkt, dass die weitere Aufteilung des Personenwagenbesitzes in ‚alleine benutzt‘ und ‚gemeinsam benutzt‘ anlässlich der unterschiedlichen Anteile/Mittelwerte sinnvoll erscheint. Weiter sei auf die Problematik hingewiesen welche sich aus mangelnder Streuung einzelner Variablen ergibt: Beispielsweise verfügen über 75% der Befragten über einen Garagenplatz. Dadurch wird die Aussage über die Signifikanz der Variablen ‚Parkmöglichkeit am Wohnort‘ schwierig, da die zum Vergleich verfügbare Datenmenge klein ist. Man stelle sich vor, dass 99%der Befragten über einen Garagenplatz verfügten. Intuitiv merkt man, dass ein Vergleich mit dem verbliebenen einen Prozent statistisch unsicher ist.

Aufgrund der hier aufgeführten Daten und Erfahrungen aus vergangenen Studien (Axhausen, Beige, Bernard, 2004) wurden separat für jeden Mobilitätswerkzeugtyp mehrere Logit-Modelle geschätzt, mit dem Ziel die Wahl mittels statistisch signifikanter Variablen zu erklären. Der Untersuchungsfokus lag dabei auf dem Einfluss von Kostenvariablen, wie sie

sich durch die Einführung von Road Pricing Massnahmen ergeben könnten. Anhand dieser Ergebnisse können in Folge Aussagen über das Gewicht einzelner Variablen gemacht sowie Elastizitäten errechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass der Wertbereich der jeweiligen Variablen die Grenzen der Prognose bestimmt. So können beispielsweise Aussagen bezüglich sich ändernder variabler Kosten für Personenwagen nur im Bereich bis zu einem Anstieg von 100% gemacht werden, da der Versuchsplan als grössten Faktor 2 ausweist (Tabelle 24).

Einen ersten Einblick ob und wie die Befragten auf die neuen Situationen reagieren geben Tabelle 47 und die Tabelle 48. Darin werden die Wahlanteile der Mobilitätswerkzeuge in der Befragung gegenüber der aktuellen Wahl aufgetragen.

Tabelle 47 Kreuztabelle: Anteile PW-Besitz heute gegenüber Befragung

		Wahl in Befragung		
		Kein PW	Gemeinsam	Allein
aktuelle Wahl	Kein PW	94.2%	1.1%	4.7%
	Gemeinsam	14.9%	75.9%	9.1%
	Allein	9.6%	1.2%	89.3%

Dabei wird klar, dass Personen die heute keinen PW haben, die geringste Wahrscheinlichkeit haben etwas daran zu ändern. Eine ebenfalls hohe Trägheit ihren Mobilitätswerkzeugbesitz zu ändern legen Personen die heute einen Personenwagen für sich allein beanspruchen zu Tage. Personen die sich ein Fahrzeug teilen ändern ihre Verhaltensweise am ehesten, repräsentieren zugleich aber auch mit Abstand die kleinste Gruppe.

Tabelle 48 Kreuztabelle: Anteile ÖV-Kartenbesitz

		Wahl in Befragung			
		Keine Karte	Verbund	GA	Halbtax
aktuelle Wahl	Keine Karte	80.2%	10.8%	4.7%	4.3%
	Verbund	4.5%	89.0%	3.1%	3.5%
	GA	1.1%	2.8%	91.6%	4.5%
	Halbtax	2.1%	7.8%	6.7%	83.4%

Die Bereitschaft den ÖV-Kartenbesitz zu ändern sinkt mit steigenden Kosten des Abonnements. Personen die heute ein GA besitzen halten eher daran fest als Verbundkarten-

und Halbtaxbesitzer. Personen ohne ÖV-Karte ändern am ehesten ihre Besitzverhältnisse und legen sich ein Abonnement zu.

## 10.2 Mobilitätswerkzeugbesitz in Abhängigkeit von Wohnlage, Verkehrsangebot und Kosten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Logit-Modelle des Mobilitätswerkzeugbesitzes ausgewiesen. Für alle wählbaren Optionen werden die Modellform und die Werte der entsprechenden Variablen ausgewiesen. Die schlussendlich gewählten Modelle sind dabei immer das Ergebnis eines Suchprozesses mit den determinanten Signifikanzen einer Variable, Modellgüte, Datenumfang und Abhängigkeit mehrerer Variablen. So umfassen die im Folgenden ausgewiesenen Modelle nur signifikante Variablen, es sei denn es handle sich um komplementäre Variablen signifikanter Dummies. Um dem Untersuchungsfokus Rechnung zu tragen wurden auch nicht signifikante Kostenvariablen in die Nutzenfunktion übernommen und sind in grau gedruckt.

### 10.2.1 Personenwagenbesitz

#### *Allein benutzt*

Tabelle 49 enthält die Nutzenfunktion des Logit-Modells zur Erklärung des allein benutzten Personenwagens. Alle Parameter haben das erwartete Vorzeichen und sind, bis auf die ÖV-Kosten, signifikant. Aufgrund des nicht signifikanten Einflusses fanden die Variablen Haltestellendistanz und Parkmöglichkeit zu Hause (Problematik oben beschrieben) keinen Eingang in die untenstehende Modellformulierung.

Tabelle 49 Nutzenfunktionen des Modells Personenwagenbesitz, allein benutzt

---


$$\begin{aligned}
U_{\text{PW allein benutzt}} = & \beta_{\text{rel. Veränderung PW}} * \text{rel. Veränderung var. Kosten PW} \\
& + \beta_{\text{rel. Veränderung ÖV}} * \text{rel. Veränderung Kosten ÖV} \\
& + \beta_{\Delta IV - \text{ÖV Arbeit}} * \text{Reisezeitdifferenz IV - ÖV, Arbeit} \\
& + \beta_{\Delta IV - \text{ÖV Reisezeit Einkauf}} * \text{Reisezeitdifferenz IV - ÖV, Einkauf} \\
& + \beta_{\text{Distanz Haltestelle}} * \text{Distanz Haltestelle} \\
& + \beta_{\text{PP Arbeit gratis}} * \text{gratis Parkplatz bei der Arbeit} \\
& + \beta_{\text{PP Arbeit gebührenpfl.}} * \text{kostenpflichtiger Parkplatz bei der Arbeit} \\
& + \beta_{\text{GA}} * \text{GA} + \beta_{\text{Halbtax}} * \text{Halbtax} \\
& + \beta_{\text{Abo regionaler Verkehrsbund}} * \text{Besitz Abonnement regionaler Verkehrsbund} \\
& + \beta_{\text{Kernstadt}} * \text{Kernstadt} + \beta_{\text{Stadtgebiet}} * \text{Stadtgebiet} + \beta_{\text{Agglomeration}} * \text{Agglomeration} \\
& + \beta_{\text{Alter}} * \text{Alter} + \beta_{\text{Einkommen}} * \text{Einkommen} \\
& + \beta_{\text{tägl. Verpflichtung}} * \text{tägliche Verpflichtung}
\end{aligned}$$


---

Die in Tabelle 50 ausgewiesenen Parameter sind immer in Bezug auf den Mittelwert der entsprechenden Variablen zu interpretieren und geben keine Auskunft über den absoluten Einfluss der Variable. Gemäss der in Tabelle 49 beschriebenen Formel geben sie multipliziert mit dem Wert der Variablen den Nutzenanteil gegenüber der Alternative ‚kein allein benutzter PW‘ an. Positive Parameter weisen also darauf hin, dass mit steigendem Wert der Variablen auch die Auswahlwahrscheinlichkeit grösser wird.

Tabelle 50 Modell Personenwagen, allein benutzt

Verkehrsmittel	Variable	Parameter	
MIV, allein benutzt	Multiplikator variable Kosten PW	-0.29	*
	Multiplikator variable Kosten ÖV	0.18	
	Reisezeitdifferenz IV-ÖV Einkauf	$-1.4 \cdot 10^{-2}$	*
	Reisezeitdifferenz IV-ÖV Arbeit	$-1.2 \cdot 10^{-2}$	*
	Distanz zur Haltestelle	$1.5 \cdot 10^{-4}$	*
	Parken bei der Arbeit: kostenlos	0.78	*
	Parken bei der Arbeit: kostenpflichtig	1.01	*
	GA	-2.42	*
	Halbtax	-0.80	*
	Besitz Abonnement regionaler Verkehrsverbund	-1.67	*
	Kernstadt	-0.19	*
	Stadtgebiet	-0.35	
	Agglomeration	-0.21	*
	Alter	0.02	*
	Einkommen	$3.8 \cdot 10^{-5}$	*
Tägliche Verpflichtung	0.30	*	
Konstante	0.43	**	
Anzahl Beobachtungen		8400	
Finale Log-Likelihood		-4716.99	
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.19	

(\*) signifikant auf 95% Niveau, (\*\*) signifikant auf 90% Niveau

Der Parameter der variablen Kosten hat einen signifikanten negativen Wert, woraus sich folgern lässt, dass bei steigenden Fahrtkosten der PW-Besitz abnimmt. Dabei ist zu beachten, dass die Variable als Faktor der relativen Veränderung der Kosten bestimmt ist.

Die Modellgüte ( $\rho^2 = 0.19$ ) bietet genügend Erklärungskraft um aussagekräftige Prognosen zu machen.

### Elastizität – Prognose

Mittels der Ergebnisse des Logit-Modells kann über die bekannte Formel deren Auswahlwahrscheinlichkeit bestimmt werden

$$P_{iq} = \frac{\exp(U_{iq})}{\sum_{Aj \in A(n)} \exp(U_{jq})}$$



Daraus folgt, dass nach der bekannten Formel Eigenelastizitäten berechnet werden können.

$$\text{Eigenelastizität} = \frac{\text{Veränderung} - \text{Anteil}[\%]}{\text{Veränderung} - \text{Variable}[\%]} = \beta_{kj} P_j (1 - P_j) \frac{X_{kj}}{P_j} = \beta_{kj} (1 - P_j) X_{kj}$$

Danach beträgt die Eigenelastizität auf variable PW-Kosten -0.157. Eine Elastizität auf ÖV-Kosten kann nicht gesichert angegeben werden, da der betreffende Parameter nicht signifikant ist. Wenn also beispielsweise die variablen PW-Kosten um 10% ansteigen, dann sinkt der PW-Besitz um -1.57%. Andererseits kann nicht mit genügender Sicherheit gesagt werden, dass sich eine Änderung der ÖV-Kosten auf den PW-Besitz auswirkt.

### *Gemeinsam benutzt*

Die deskriptive Analyse (Tabelle 45/Tabelle 46) gibt Hinweise darauf, dass der gemeinsame Besitz von Personenwagen anderen Regeln folgt als der alleinige Besitz. Daher wurden für beide Besitzarten separate Modelle geschätzt. Tabelle 51 zeigt dabei die Nutzenfunktion der empfohlenen Modellform.

Tabelle 51 Nutzenfunktionen des Modells Personenwagenbesitz, gemeinsam benutzt

---


$$\begin{aligned}
 U_{\text{PW mitbenutzt}} = & \beta_{\text{rel. Veränderung PW}} * \text{rel. Veränderung var. Kosten PW} \\
 & + \beta_{\text{rel. Veränderung ÖV}} * \text{rel. Veränderung Kosten ÖV} \\
 & + \beta_{\Delta \text{IV-ÖV Arbeit}} * \text{Reisezeitdifferenz IV - ÖV, Arbeit} \\
 & + \beta_{\text{Garage}} * \text{Parkgarage zu Hause} \\
 & + \beta_{\text{P zuhause gebührenpfl.}} * \text{Strassenrand gebührenpflichtig} \\
 & + \beta_{\text{Abo reg. Verkehrsbund}} * \text{Besitz Abonnement regionaler Verkehrsbund} \\
 & + \beta_{\text{Kernstadt}} * \text{Kernstadt} + \beta_{\text{Alter}} * \text{Alter} + \beta_{\text{Einkommen}} * \text{Einkommen} \\
 & + \beta_{\text{tägl. Verpflichtung}} * \text{tägliche Verpflichtung} + \beta_{\text{männlich}} * \text{Männlich}
 \end{aligned}$$


---

Im Gegensatz zum Modell für den alleinigen PW-Besitz wurden die Variablen GA-Besitz, Halbtaxbesitz; Reisezeitdifferenz IV-ÖV zum Einkauf, Taktfolgezeit sowie Parken bei der Arbeit aufgrund mangelnder Signifikanz nicht berücksichtigt. Zusätzlich haben dafür das Geschlecht und die Parkmöglichkeiten am Wohnort einen relevanten Einfluss.

Tabelle 52 Modell Personenwagen, gemeinsam benutzt

Verkehrsmittel	Variable	Parameter
	Multiplikator variable Kosten PW	0.26 *
	Multiplikator variable Kosten ÖV	-0.20
	Reisezeitdifferenz IV-ÖV Arbeit	$-1.18 \cdot 10^{-2}$ *
	Parken zu Hause: Garage	2.05 *
	Parken zu Hause Strassenrand, kostenpflichtig	1.80 *
	Besitz Abonnement regionaler Verkehrsverbund	0.70 *
	Kernstadt	-0.56 *
	Einkommen	$-2.10 \cdot 10^{-4}$ *
	Alter	-0.04 *
	Tägliche Verpflichtung	0.56 *
	männlich	0.28 *
	Konstante	2.46 *
Anzahl Beobachtungen		8400
Finale Log-Likelihood		-1706.2
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.71

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Durch das Berücksichtigen von jeweils nur einer Dummy-Variablen bezüglich Wohnort und Parkmöglichkeit zu Hause ändert sich die Interpretation: Bewohner der Kernstadt haben gegenüber den Bewohner der restlichen Gebiete (allg. Stadtgebiet, Agglomeration, ländlicher Raum) zusammen eine signifikant kleinere Auswahlwahrscheinlichkeit. Genauso haben Personen, die in Wohnungen mit Parkgaragen wohnen gegenüber der Gesamtheit anderer Parkmöglichkeiten eine höhere Wahrscheinlichkeit einen PW gemeinsam zu nutzen.

Der Parameter der PW-Kosten ist im Gegensatz zum alleinigen PW-Besitz positiv, was besagt, dass mit zunehmenden Kosten, die Bereitschaft der Leute sich ein Fahrzeug zu teilen steigt. Die Modellgüte ist sehr hoch, was auf den geringen Anteil der zu erklärenden Wahl zurückzuführen ist.

### *Elastizität – Prognose*

Die nach der bekannten Formel berechnete Kostenelastizität beträgt +0.315. Das heisst, dass bei einem Anstieg der Kosten um 10% 3,15% mehr PW gemeinsam benutzt werden als im Ist-Zustand. Aufgrund des heute vergleichsweise geringen Anteils gemeinsam benutzter Fahrzeuge wirkt sich eine Kostenerhöhung, unter Berücksichtigung des gleichzeitigen

Sinkens der alleinigen PW-Besitzquote, aber insgesamt negativ auf die Anzahl im Verkehr stehender Fahrzeuge aus, wie folgende Berechnung zeigt:

Von den 1000 Personen besitzen nach der Stichprobe 568 Personen alleine einen PW, 73 teilen sich einen Wagen (im Schnitt unter 1.96 Personen), insgesamt 37 PW gemeinsam benutzt also. Eine Erhöhung der Kosten um 10% führt zu 559 allein benutzten Fahrzeugen und 75 im Schnitt unter 2.11 Personen geteilten Fahrzeugen, also 36 Personenwagen. Insgesamt nimmt die Anzahl Personenwagen pro 1000 Personen um 1.64% von 605 auf 595 ab.

### 10.2.2 GA-Besitz

Zur Modellierung des GA-Besitzes wurden die drei angebotenen Möglichkeiten GA 2. Klasse, GA 1. Klasse und GA Junior zu einer Gruppe zusammengefasst. Aufgrund des starken Anteils der 2.Klass GA Besitzer (73.1%) wären die Stichproben zur getrennten Modellierung des GA junior resp. 1. Klass GA zu klein. Daneben zeigten sich bei der deskriptiven Analyse keine grösseren Verhaltensunterschiede: Die Besitzverhältnisse reagieren ähnlich träge auf Änderungen in den SP-Szenarien, wobei 1. Klass - und Junior GA-Besitzer noch eher zum Beibehalten des Abonnements neigen.

Routinemässig wurde bei allen Nutzenfunktionen ein Dummy für den Befragungstyp getestet, also ob es sich um SP5 (ändernde Kosten) oder SP7 (ändernde Wohnsituation) handelt. Diese waren für den PW-Besitz jeweils nicht signifikant und wurden daher auch nicht in die Nutzenfunktion eingebaut. Für den GA-Besitz erweist sich diese Variable aber als signifikant. Ein Grund dafür ist sicherlich, dass der heutige GA-Besitz derjenigen Personen, die nur SP5 beantwortet haben, geringer ist. Da die Befragten stark dazu neigen ihren bisherigen Mobilitätswerkzeugbesitz beizubehalten (Tabelle 48), ist der GA-Anteil in SP5 ebenfalls geringer. Weiter mag der Befragungsfokus die Kandidaten dazu gedrängt haben, dass sie in einer neuen Wohnsituation eher ÖV-Abonnemente auswählen, obwohl die Kostenvariablen hier gleich sind. Beide unerwünschten Effekte können aber mit der Beibehaltung der Dummy-Variablen ‚SP5‘ aufgefangen werden, so dass die anderen Parameter verlässlich geschätzt werden können.

Tabelle 53 Nutzenfunktionen GA

---


$$\begin{aligned}
 U_{GA} = & \beta_{rel.Veränderung PW} * rel.Veränderung var. Kosten PW \\
 & + \beta_{rel.Veränderung ÖV} * rel.Veränderung Kosten ÖV \\
 & + \beta_{eigenes Auto} * eigenes Auto + \beta_{mitbenutztes Auto} * mitbenutztes Auto \\
 & + \beta_{\Delta IV - \Delta \dot{V} Reisezeit Einkauf} * Reisezeitdifferenz IV - \dot{V}, Einkauf \\
 & + \beta_{kein P zuhause} * keine Parkmöglichkeit zu Hause + \beta_{Garage} * Parkgarage zu Hause \\
 & + \beta_{P zuhause gebührenpfl.} * Strassenrand gebührenpflichtig \\
 & + \beta_{P Arbeit gratis} * gratis Parkplatz bei der Arbeit \\
 & + \beta_{P Arbeit gebührenpfl.} * kostenpflichtiger Parkplatz bei der Arbeit \\
 & + \beta_{Kernstadt} * Kernstadt + \beta_{Stadtgebiet} * Stadtgebiet + \beta_{Agglomeration} * Agglomeration \\
 & + \beta_{Alter} * Alter + \beta_{Alter^2} * Alter^2 + \beta_{Alter, männlich} * Alter * Dummy_{männlich} \\
 & + \beta_{Einkommen} * Einkommen + \beta_{\ln(Einkommen)} * \ln(Einkommen) \\
 & + \beta_{tägl. Verpflichtung} * tägliche Verpflichtung + \beta_{SP5} * SP5
 \end{aligned}$$


---

Tabelle 54 weist die Parameterwerte des Modells zum GA-Besitz aus. Mit nicht linearen Formulierungen bezüglich des Alters und des Einkommens konnte durchwegs eine höhere Modellgüte erreicht werden. Die Altersfunktion hat bei 47.7 Jahren ihr Minimum, ein ähnlicher Funktionsverlauf konnte auch bei der Auswertung des Mikrozensus Axhausen, Beige und Bernard (2004) zeigen.

Tabelle 54 Modellergebnisse GA

Verkehrsmittel	Variable	Parameter
GA	Multiplikator variable Kosten PW	-0.125
	Multiplikator variable Kosten ÖV	0.103
	Eigenes Auto	-1.74 *
	Mitbenutztes Auto	-0.97 *
	Reisezeitdifferenz IV/ÖV Einkauf	0.01 *
	Parken zu Hause: Keine Möglichkeit	0.87 *
	Parken zu Hause: Garage	-0.44 *
	Parken zu Hause: Strassenrand, kostenpflichtig	-0.26
	Parken bei der Arbeit: kostenlos	-0.10
	Parken bei der Arbeit: kostenpflichtig	-0.57 *
	Kernstadt	-0.02
	Stadtgebiet	-0.42 *
	Agglomeration	-0.53 *
	Alter	-0.13 *
	Quadrat des Alters	$1.33 \cdot 10^{-3}$ *
	Alter männlich	$8.32 \cdot 10^{-3}$ *
	Einkommen	$2.10 \cdot 10^{-4}$ *
	LN(Einkommen)	-0.55 *
	Tägliche Verpflichtung	0.78 *
	SP5	-0.29 *
Konstante	5.04 *	
Anzahl Beobachtungen		8400
Finale Log-Likelihood		-3267.13
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.44

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Die Modellgüte ist mit einem  $\rho^2$  von 0.44 als sehr gut zu bewerten, die Resultate sind also verlässlich. Weiter zeigen alle signifikanten Parameter das erwartete Vorzeichen und liegen in bekannten Wertebereichen.

Die nicht signifikanten Parameter für die Kostenvariablen weisen darauf hin, dass die Kosten im Bereich, wie sie in den SP-Situationen verändert wurden, keinen Einfluss auf die Besitzverhältnisse des GA haben.

Die Parameter ‚Eigenes Auto‘ und ‚Mitbenutztes Auto‘ zeigen deutlich, dass das GA zum PW als Substitutionsgut auftritt.

Zusätzlich zur bekannten Modellformulierung, welche die relative Preisänderung betrachtet, wurde auch ein Modell mit absoluten Preisen geschätzt. Als Kosten der nicht gewählten Alternative wurden für Personen unter 25 Jahren die Kosten des Junior-GA gewählt. Personen über 25 Jahren wurden (bis auf die 18 heutigen 1. Klass Besitzer) die Kosten des 2.Klass-GA zugeordnet. Jedoch war auch mit einem derartig strukturierten Datensatz kein signifikanter Einfluss der Kosten auf den GA-Besitz erkennbar.

### 10.2.3 Abonnement Regionaler Verbund

Aus gleichen Gründen wie schon beim GA-Besitz die einzelnen auf dem Markt verfügbaren Alternativen zusammengefasst betrachtet wurden, wird auch bei dieser Modellierung keine Unterscheidung zwischen monatlich und jährlich bezahltem Abonnement gemacht, obschon hier die Aufteilung mit 33% zu 67% ausgewogener ausfällt als beim GA. Personen im Besitz einer Jahreskarte sind dabei etwas träger in der Reaktion auf die SP-Szenarien. Abgesehen davon, dass jeweils weniger Variablen signifikant sind, unterscheiden sich die getrennt geschätzten Modelle nur wenig. Daher wird hier das gemeinsame Modell aufgeführt. Ebenso wie beim GA-Besitz konnte festgestellt werden, dass in SP5 systematisch weniger Abonnemente gewählt wurden. Daher wurde wiederum eine entsprechende Dummy-Variable in der Nutzenfunktion berücksichtigt.

Tabelle 55 Nutzenfunktionen Abonnement regionaler Tarifverbund

---


$$\begin{aligned}
 U_{\text{Abo}} = & \beta_{\text{rel. Veränderung PW}} * \text{rel. Veränderung var. Kosten PW} \\
 & + \beta_{\text{rel. Veränderung ÖV}} * \text{rel. Veränderung Kosten ÖV} \\
 & + \beta_{\text{eigenes Auto}} * \text{eigenes Auto} + \beta_{\text{mitbenutztes Auto}} * \text{mitbenutztes Auto} \\
 & + \beta_{\text{IV-ÖV Reisezeit Einkauf}} * \text{Reisezeitdifferenz IV - ÖV, Arbeit} \\
 & + \beta_{\text{Takt}} \cdot \text{Taktfolgezeit} + \beta_{\text{Dist}} \text{Distanz zur Haltestelle} \\
 & + \beta_{\text{kein P zuhause}} * \text{keine Parkmöglichkeit zu Hause} + \beta_{\text{Garage}} * \text{Parkgarage zu Hause} \\
 & + \beta_{\text{P zuhause gebührenpfl.}} * \text{Strassenrand gebührenpflichtig} \\
 & + \beta_{\text{P Arbeit gratis}} * \text{gratis Parkplatz bei der Arbeit} \\
 & + \beta_{\text{P Arbeit gebührenpfl.}} * \text{kostenpflichtiger Parkplatz bei der Arbeit} \\
 & + \beta_{\text{Kernstadt}} * \text{Kernstadt} + \beta_{\text{Stadtgebiet}} * \text{Stadtgebiet} + \beta_{\text{Agglomeration}} * \text{Agglomeration} \\
 & + \beta_{\text{Alter}} * \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2} * \text{Alter}^2 + \beta_{\text{Alter, männlich}} * \text{Alter} * \text{Dummy}_{\text{männlich}} \\
 & + \beta_{\text{ln(Einkommen)}} * \text{ln(Einkommen)} \\
 & + \beta_{\text{tägl. Verpflichtung}} * \text{tägliche Verpflichtung} + \beta_{\text{SP5}} * \text{SP5}
 \end{aligned}$$


---

Wie beim GA-Besitz haben auch für Abonnemente regionaler Verbände die Kostenvariablen keinen signifikanten Einfluss auf deren Verbreitung. Auch bei den nach Monats- und Jahres Abonnementen getrennten Schätzungen zeigten sich die Kostenvariablen in keinem Fall signifikant.

Die Parameterwerte und deren Signifikanz sind in Tabelle 56 ersichtlich. Aufgrund der umgekehrten Vorzeichen der Parameter des Alters hat die Altersfunktion hier bei 45.2 ihr Maximum.

Weiter ist ersichtlich, dass das Abonnement eines regionalen Verkehrsverbands gegenüber dem PW sowohl als unvollkommenes Komplementär- als auch als Substitutionsgut auftritt: Personen die gemeinsam einen PW benutzen, besitzen eher ein solches Abonnement als Personen ohne PW, Personen die ein eigenes Fahrzeug haben hingegen eher nicht.

Tabelle 56 Modellergebnisse Abonnement regionaler Verkehrsverbund

Verkehrsmittel	Variable	Parameter
Abonnement regionaler Verkehrsverbund	Multiplikator variable Kosten PW	$-8.3 \cdot 10^{-2}$
	Multiplikator variable Kosten ÖV	-0.15
	Eigenes Auto	-0.68 *
	Mitbenutztes Auto	0.31 *
	Reisezeitdifferenz IV/ÖV Arbeit	$1.2 \cdot 10^{-2}$ *
	Taktfolgezeit	$2.4 \cdot 10^{-2}$ *
	Distanz zur Haltestelle	$2.1 \cdot 10^{-4}$
	Parken zu Hause: Keine Möglichkeit	-0.38 *
	Parken zu Hause: Garage	-0.12
	Parken zu Hause: Strassenrand, kostenpflichtig	-0.39 *
	Parken bei der Arbeit: kostenlos	-0.63 *
	Parken bei der Arbeit: kostenpflichtig	-0.37
	Kernstadt	0.63 *
	Stadtgebiet	0.47 *
	Agglomeration	0.42 *
	Alter	$3.5 \cdot 10^{-2}$ *
	Quadrat des Alters	$-3.9 \cdot 10^{-4}$ *
	ln(Einkommen)	-0.46 *
	Tägliche Verpflichtung	1.21 *
	männlich	-0.41 *
SP5	-0.48 *	
Konstante	-2.41 *	
Anzahl Beobachtungen	8400	
Finale Log-Likelihood	-3606.76	
Adj. Pseudo Rsq (B)	0.38	

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Die gute Modelgüte mit einem  $\rho^2$  von 0.38 macht eine verlässliche Anwendung möglich. Aufgrund der nicht signifikanten Kostenparameter ist davon auszugehen, dass Preisänderungen im hier angewendeten Band keine Auswirkungen auf den Besitz von Zeitkarten regionaler Verkehrsverbände haben.

#### 10.2.4 Halbtax

Tabelle 57 zeigt die empfohlene Nutzenfunktion zur Modellierung des Halbtax-Besitzes. In der deskriptiven Analyse wurde offensichtlich, dass das Halbtax, anders als das GA oder die Verbundkarte, nicht als Substitutionsgut zum PW auftritt, sondern sowohl von Personen mit als auch ohne PW ungefähr gleich häufig besessen wird. Einzig Personen die sich einen PW teilen verfügen etwas seltener über ein Halbtax. Weiter beeinflussen im Vergleich zu den anderen ÖV-Abonnementen weniger Variablen den Halbtax-Besitz.

Tabelle 57 Nutzenfunktionen Halbtax

---


$$\begin{aligned}
 U_{\text{HT}} = & \beta_{\text{rel. Veränderung PW}} * \text{rel. Veränderung var. Kosten PW} \\
 & + \beta_{\text{rel. Veränderung ÖV}} * \text{rel. Veränderung Kosten ÖV} \\
 & + \beta_{\text{eigenes Auto}} * \text{eigenes Auto} + \beta_{\text{kein PW}} * \text{kein PW} \\
 & + \beta_{\text{P Arbeit gratis}} * \text{gratis Parkplatz bei der Arbeit} \\
 & + \beta_{\text{P Arbeit gebührenpfl.}} * \text{kostenpflichtiger Parkplatz bei der Arbeit} \\
 & + \beta_{\text{Kernstadt}} * \text{Kernstadt} + \beta_{\text{Stadtgebiet}} * \text{Stadtgebiet} + \beta_{\text{Agglomeration}} * \text{Agglomeration} \\
 & + \beta_{\text{Alter}} * \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2} * \text{Alter}^2 + \beta_{\text{männlich}} * \text{Dummy}_{\text{männlich}} \\
 & + \beta_{\text{Einkommen}} * \text{Einkommen} + \beta_{\ln(\text{Einkommen})} * \ln(\text{Einkommen}) \\
 & + \beta_{\text{tägl. Verpfl.}} * \text{tägl. Verpflichtung}
 \end{aligned}$$


---

Wie bei den anderen beiden ÖV-Abonnementen haben auch hier die Kostenvariablen keinen Einfluss auf den Besitz, die entsprechenden Variablen sind nicht signifikant. Die Nutzenfunktion des Alters hat ihr Maximum bei 54.6 Jahren. Weiter ist ersichtlich, dass die Betrachtung des Halbtax als komplementäres Gut zum PW nicht zutrifft: Der Parameter ‚Kein PW‘ ist beinahe gleich hoch wie ‚eigener PW‘. Personen die einen PW gemeinsam nutzen (Vergleichsvariable) haben dagegen eine geringere Wahrscheinlichkeit ein Halbtax zu besitzen.



Tabelle 58 Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl

Verkehrsmittel	Variable	Parameter	
Halbtax	Multiplikator variable Kosten PW	-0.07	
	ÖV Kosten	0.03	
	Eigener PW	0.68	*
	Kein PW	0.60	*
	Parken bei der Arbeit: kostenlos	-0.09	*
	Parken bei der Arbeit: kostenpflichtig	-0.42	*
	Kernstadt	-0.47	*
	Stadtgebiet	-0.49	*
	Agglomeration	-0.28	*
	Alter	0.06	*
	Quadrat des Alters	$-5.4 \cdot 10^{-4}$	*
	Einkommen	$-9.1 \cdot 10^{-5}$	*
	LN(Einkommen)	0.77	*
	Tägliche Verpflichtung	-0.59	*
	Männlich	0.11	*
Konstante	8.22	*	
Anzahl Beobachtungen		8400	
Finale Log-Likelihood		-4752.92	
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.18	

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Die Modellgüte mit einem  $\rho^2$  von 0.18 ermöglicht eine verlässliche Anwendung. Wie schon für den Besitz der anderen beiden ÖV-Mobilitätswerkzeuge kann die signifikante Wirkung der Kostenkomponente nicht versichert werden.

### 10.3 Modellergebnisse SP6: Änderung der Jahresfahrleistung

Im zweiten Befragungsteil wurde die Reaktion auf nach Strassentyp separierten Preisänderungen bezüglich Mobilitätswerkzeugbesitz und deren Nutzung untersucht. Aufgrund der Änderung der Jahresfahrleistung können Preiselastizitäten errechnet werden, welche zur Plausibilisierung der Resultate aus den schriftlichen SPs herangezogen werden. Die Elastizitäten unterscheiden sich dadurch, dass sie aufgrund der Fragestellung keine differenzierte Betrachtung (beispielsweise Angebot alternativer Routen, Einfluss der Reisedistanz einzelner Wege) zulassen.

Als statistische Methode wird die multiple lineare Regression angewandt, wobei als abhängige Variable jeweils die Zu- oder Abnahme der Jahresverkehrsleistung auf einem Strassentyp figuriert. Die lineare Regression setzt voraus, dass die abhängigen Variablen untereinander unabhängig sind, sich also nicht gegenseitig beeinflussen. Dies führt im vorliegenden Fall dazu, dass als unabhängige Variable je Strassentyp nur die Änderung der Kilometerleistung oder die veränderten Kosten berücksichtigt werden können, da diese in einer Wechselbeziehung stehen, also nicht unabhängig sind. Da hier vor allem die Reaktionen auf Kostenveränderungen betrachtet werden soll, werden diese als unabhängige Variable gewählt.

Um sinnvolle Elastizitäten zu berechnen wurden zur Schätzung der Anpassung der Kilometerleistung auf Strassen, nur diejenigen Befragten berücksichtigt, die heute und/oder in der Befragung einen Personenwagen benutzen. Dies ist in 924 der 1188 Fälle gegeben. Die Berücksichtigung aller Fälle würde die Elastizitäten verkleinern, da nun zusätzlich auch Personen betrachtet würden, welche unabhängig vom Preis ohnehin nie einen Personenwagen benutzen. Genauso wurden zur Schätzung der Änderung der Verkehrsleistung auf dem ÖV-Netz nur die Fälle verwendet, bei denen heute und/oder in Befragung der öffentliche Verkehr benutzt wird, was in 841 Fällen gegeben ist.

Fährt eine Person heute einen PW und benutzte in der Befragung nur den ÖV wurde als Differenz der variablen Kosten die variablen Kosten für den heute benutzten PW mit dem entsprechenden Faktor der Kostenänderung multipliziert. Im umgekehrten Fall, dass jemand, der heute keinen PW benutzt, dies aber in der fiktiven Situation macht, werden als Kostenveränderung die variablen Kosten des in der Befragung benutzten Fahrzeugs durch den entsprechenden Faktor dividiert. Bei Personen die nur den Typ ihres Personenwagens ändern, berechnet sich die Kostenveränderung durch Subtraktion der Kilometerkosten des alten Typs von denjenigen des neuen Typs. Bei Wahl eines ökonomisch günstigeren Fahrzeuges können sich dadurch effektiv geringere Kosten ergeben. Dies ist daher korrekt, da die Regression die Reaktion auf effektive Kostenveränderung und nicht die Wahl des Personenwagens modelliert.

Die Mobilitätswerkzeuge GA und Abonnement eines regionalen Verkehrsverbunds bieten dem Benutzer abnehmende Grenzkosten: Je mehr eine Person fährt umso geringer werden die Kilometerkosten. Um diesen Effekt abzubilden wurde zur Berechnung der Kilometerkosten die angegeben Jahresverkehrsleistung durch die Abonnementskosten, wie in der stated response Situation angeboten, dividiert. Im Fall Halbtax oder kein Abonnement wurden die Kilometerkosten basierend auf einem Wert von CHF 0.3 respektive CHF 0.6 errechnet. Für

Personen die aufgrund der Situation ihr Abonnement abgeben würden, ergibt sich die Preisdifferenz aus Multiplikation der bisherigen Kilometerkosten mit dem Faktor der Kostenveränderung.

### 10.3.1 Veränderung der Jahresfahrleistung: Autobahnen

Die Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS, und umfasst sowohl die Situation beschreibende als auch soziodemographische Variablen, wobei nur die auf dem 95%-Niveau signifikanten Variablen Eingang in die vorgestellten Modelle fanden. Die Soziodemographischen Variablen sind Dummy-codiert und geben daher die Abweichung zum Mittelwert an. So sind Stadtbewohner beispielsweise (Tabelle 59) gegenüber dem Durchschnitt von Bewohnern anderer Wohnlagen eher bereit auf Autobahnfahrten zu verzichten. Wie die ebenfalls negativen Werte der Parameter der Autoverfügbarkeit zeigen, ist bei der Interpretation aber zu beachten, dass es sich bei der abhängigen Variable um die Veränderung der Fahrleistung handelt: Nur wo eine Fahrleistung vorhanden ist kann diese auch geringer werden.

Tabelle 59 Multiples Regressionsmodell: Jahresfahrleistung Autobahn

Einfluss	Variable	Parameter
Konstante		6261.46 *
Situationsbeschreibende Variablen	Veränderung PW-Kosten je 100km, Autobahn [Fr./100km]	-112.57 *
	Variable PW-Kosten je 100km, Überlandstrassen [Fr./100km]	57.29 *
	Veränderung PW-Kosten je 100km, ÖV Strassen [Fr./100km]	23.56 *
	Veränderung Geschwindigkeit, Autobahn [km/h]	90.07 *
	Veränderung Geschwindigkeit, Überlandstrassen [km/h]	-140.68 *
	Reisezeit zum Einkauf, ÖV [min]	49.71 *
	Taktfolgezeit [min]	31.05 *
	Reisezeit zur Arbeit, IV [min]	87.90 *
	Reisezeit zur Arbeit, ÖV [min]	-57.42 *
	Distanz zur Arbeit [km]	38.20 *
Soziodemographische Variablen	Vollzeit erwerbstätig	-2371.45 *
	teilzeit erwerbstätig	-1988.24 *
	In Ausbildung	1577.30 *
	pensioniert	-2151.46 *
	Autoverfügbarkeit: immer	-4127.11 *
	Autoverfügbarkeit: oft	-3327.87 *
	Halbtaxbesitz	-761.12 *
Kein ÖV-Abonnement	-1063.99 *	
Wohnlage: Stadtzentrum	-1888.31 *	
Anzahl Beobachtungen		8400
Finale Log-Likelihood		-4752.92
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.30

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Die Parameter zu den Kostenvariablen Autobahn, andere Strasse und ÖV sind mit den erwarteten Vorzeichen signifikant. Steigende Kosten auf den Autobahnen führen zu einer Abnahme der dortigen Verkehrsleistung, Preissteigerungen auf anderen Strassen und des ÖV haben einen Routen-/Moduswahleffekt zu Gunsten der Autobahn. Da Fahrten auf lokalen Strassen kaum auf Autobahnen verlegt werden können, ist der entsprechende Parameter insignifikant.

Unter Berücksichtigung der mittleren Kilometerkosten von 0.23 und der mittleren Jahresfahrleistung auf Autobahnen von 5746 Kilometer ergibt sich eine Preiselastizität von -

0.448. Die Kreuzelastizität Änderung der variablen Kosten der Benutzung von Überlandstrassen beträgt 0.228, diejenige der ÖV-Kosten 0.184. Der Wechsel der Routenwahl liegt den Befragten also näher als der Moduswechsel.

### 10.3.2 Veränderung der Jahresfahrleistung: ‚Überlandstrassen‘

Tabelle 60 listet die Resultate der Regression zur Erklärung der Veränderung der Jahrsfahrleistung auf ‚Überlandstrassen‘ auf. Daraus ist ersichtlich, dass sich neben veränderten Kosten der Benutzung von Überlandstrassen auch Kostenänderungen auf Autobahnen auf die Jahresfahrleistung auf Überlandstrassen auswirken. Daneben führt eine Erhöhung der Geschwindigkeit des öffentlichen Verkehrs auf regionalen Strecken zu weniger Nachfrage auf Überlandstrassen, eine Kreuzelastizität bezüglich sich verändernder ÖV-Kosten kann aber nicht beobachtet werden.

Tabelle 60 Multiples Regressionsmodell: Jahresfahrleistung Überlandstrassen

Einfluss	Variable	Parameter
Konstante		4962.86 *
Situationsbeschreibende Variablen	Veränderung PW-Kosten je 100km, Autobahn [Fr./100km]	44.69 *
	Veränderung PW-Kosten je 100km, Überlandstrassen [Fr./100km]	-99.45 *
	Veränderung ÖV-Kosten je 100km [Fr./100km]	10.34 *
	Reisezeit zum Einkauf PW	-54.55 *
	Distanz zur Arbeit [km]	15.62 *
	Distanz zur ÖV-Haltestelle	-0.69 *
	Veränderung Geschwindigkeit ÖV, national	86.19 *
	Veränderung Geschwindigkeit ÖV, regional	-129.84 *
Soziodemographische Variablen	Autoverfügbarkeit: immer	-2321.13 *
	Autoverfügbarkeit: oft	-2147.74 *
	teilzeitbeschäftigt	-1581.79 *
	männlich	-387.22 *
	GA	-792.18 *
	Halbtax	-1523.07 *
	Kein Abo	-1292.17 *
	Wohnlage: Stadtzentrum	-1373.95 *
Wohnlage: Stadtgebiet	-1455.02 *	
Wohnlage: Agglomeration	-626.33 *	
Anzahl Beobachtungen		8400
Finale Log-Likelihood		-4752.92
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.28

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Unter Berücksichtigung der mittleren Kilometerkosten von 0.23 und der mittleren Jahresfahrleistung von 3996 Kilometer auf Überlandstrassen ergibt sich eine Preiselastizität von -0.569. Die Kreuzelastizität auf Änderung der variablen Kosten der Autobahnbenutzung beträgt 0.255. Ein Vergleich mit dem Wert von -0.448 für die Elastizität der Nachfrage von Fahrten auf Autobahnen bei dortiger Änderung der variablen Kosten und der entsprechenden durchschnittlichen Kilometerleistung zeigt, dass die Autobahnfahrten nur zum Teil auf das Landstrassennetz umgelegt werden. Eine Preisänderung von 5 % auf Autobahnen führt zu 128 Jahreskilometern weniger auf Autobahnen und plus 51.05 Kilometern auf Landstrassen. Daneben werden pro Jahr und Person rund 85 Kilometer mehr per ÖV zurückgelegt (siehe Resultate Tabelle 60). Ein ähnliches Verhältnis der veränderten Routenwahl stellt sich bezüglich der Überlandstrassen ein: Eine fünfprozentige Erhöhung der variablen Kosten bei der Benutzung von Überlandstrassen beantwortet der Markt mit einer Abnahme der Jahresfahrleistungen auf Überlandstrassen von -113.60 Kilometern und einer Zunahme auf Autobahnen von 65.44 Kilometern. Allerdings scheinen Preisänderungen auf Überlandstrassen keine Auswirkung auf die Benutzung des ÖV zu haben. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass zu typisch auf Überlandstrassen zurückgelegten Strecken eine variable ÖV-Alternative seltener ist, als zu Autobahnstrecken.

### 10.3.3 Veränderung der Jahresfahrleistung: ‚Ortsstrassen‘

Tabelle 61 listet die Resultate der Regression zur Erklärung der Veränderung der Jahrsfahrleistung auf Ortsstrassen auf. Daraus ist ersichtlich, dass veränderte Kosten von Ortsstrassen Auswirkungen auf deren Benutzung haben. Weiter führen Preiserhöhungen auf Überlandstrassen zu Mehrverkehr auf lokalen Strassen. Daneben bewirkt eine Geschwindigkeitserhöhung des öffentlichen Verkehrs auf regionalen Strecken (S-Bahn) einen Nachfragerückgang auf Ortsstrassen. Ebenso kann eine, wenn auch sehr geringe, Kreuzelastizität bezüglich sich verändernder ÖV-Kosten beobachtet werden: je höher die Preise des ÖV umso intensiver werden Ortsstrassen benutzt.

Tabelle 61 Multiples Regressionsmodell: Jahresfahrleistung Ortsstrassen

Einfluss	Variable	Parameter
Konstante		1409.27 *
Situationsbeschreibende Variablen	Veränderung PW-Kosten je 100km, Ortsstrassen [Fr./100km]	-28.19
	Veränderung PW-Kosten je 100km [Fr./100km]	18.70 *
	Veränderung ÖV-Kosten je 100km [Fr./100km]	2.69 *
	Veränderung Geschwindigkeit ÖV, regional	-10.27 *
Soziodemographische Variablen	Autoverfügbarkeit: immer	-1060.68 *
	Autoverfügbarkeit: oft	1282.69 *
	Kein Abo	-437.60 *
	Wohnlage: Stadtzentrum	-656.20 *
	Wohnlage: Stadtgebiet	-355.79 *
	Wohnlage: Agglomeration	-327.94 *
Anzahl Beobachtungen		8400
Finale Log-Likelihood		-4752.92
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.14

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Unter Berücksichtigung der mittleren Kilometerkosten von CHF 0.23 und der mittleren Jahresfahrleistung von 3225 Kilometern auf Ortsstrassen ergibt sich eine Preiselastizität von -0.210. Die Kreuzelastizität auf Kostenänderungen des ÖV beträgt 0.040. Im Vergleich zu den Elastizitäten der Verkehrsnachfrage auf Autobahnen/Überlandstrassen führt dies zur Erkenntnis, dass die Nachfrage auf Ortsstrassen träger auf Preisänderungen reagiert: Hier werden bei gleicher Preisänderung weniger Fahrten auf andere Strassen umgelegt oder unterdrückt. So werden bei einem Anstieg von 5% der Variablen Kosten knapp 22.43 Kilometer pro Jahr weniger auf Ortstrassen gefahren, während ein Umlagerungseffekt in Folge von Preisänderungen von Ortsstrassen auf Überlandstrassen statistisch nicht nachgewiesen werden kann.

#### 10.3.4 Veränderung der Jahresfahrleistung: ÖV

Tabelle 62 listet die Resultate der Regression zur Erklärung der Veränderung der Jahrsfahrleistung auf dem ÖV-Netz. auf. Daraus wird klar, dass sich ändernde Kosten des ÖV von Auswirkungen auf dessen Nutzung haben. Weiter führen Preiserhöhungen auf Autobahnen zu einer grösseren ÖV-Nachfrage. Weiter ziehen Geschwindigkeitserhöhungen des lokalen und regionalen ÖV-Netzes eine erhöhte Nachfrage nach sich.

Tabelle 62 Multiples Regressionsmodell: Jahresfahrleistung ÖV

Einfluss	Variable	Parameter
Konstante		-988.57 *
Situationsbeschreibende Variablen	Veränderung PW-Kosten je 100km, Autobahn [Fr./100km]	124.02
	Veränderung ÖV-Kosten je 100km [Fr./100km]	-51.21 *
	Reisezeit zum Einkauf PW	93.60 *
	Distanz zur ÖV-Haltestelle	1.19 *
Soziodemographische Variablen	GA	-2778.18 *
	Wohnlage: Stadtgebiet	2077.41 *
	teilzeit angestellt	1167.44 *
Anzahl Beobachtungen		8400
Finale Log-Likelihood		-4752.92
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.23

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Unter Berücksichtigung der mittleren Kilometerkosten von CHF 0.34 und der mittleren Jahresfahrleistung von 6496 Kilometer mit dem ÖV ergibt sich eine Preiselastizität von -0.267. Die Kreuzelastizität auf Kostenänderungen auf Autobahnen beträgt 0.327.

### 10.3.5 Zusammenfassung Modellergebnisse SP6: Änderung der Jahresfahrleistung

Dieser Befragungsteil wurde vor allem zur Plausibilisierung der Resultate aus den schriftlichen SPs durchgeführt und kann aufgrund seiner hohen Aggregationsebene keine Aussagen über einzelne Entscheide machen. So werden beispielsweise das tatsächliche Angebot alternativer Routen oder der Einfluss der Reisedistanz einzelner Wege hier nicht betrachtet, was zur Bestätigung der aus den schriftlichen SP ermittelten mittleren Elastizitäten auch gar nicht nötig ist. So vermögen die aus SP6 berechneten Elastizitäten die Ergebnisse des schriftlichen Teils bestätigen, können aber darüber hinaus keine präziseren Aussagen machen.

## 10.4 Modellergebnisse Wohnstandortwahl

Im letzten Teil der Befragung hatten sich die Befragten, welche SP7a (Mobilitätswerkzeugbesitz bei veränderter Wohnlage) beantwortet haben, zwischen zwei der dort spezifizierten Situationen zu entscheiden (siehe auch Abbildung 21, Seite 145). Aufgrund



dieser können mit einem Logit-Modell Aussagen über den Einfluss einzelner Variablen auf den Wohnstandortentscheid gemacht werden. Bezüglich des Untersuchungsfokus ist dabei besonders relevant, ob und wie Transportkosten bei der Wohnstandortwahl eine Rolle spielen.

Die stated choice Situationen sind wie bereits in SP5 und SP7 (Mobilitätswerkzeugwahl) durch folgende Entscheidungsvariablen gegeben: Wohnlage, Art der Wohnung und deren Kosten, Reisezeit zu Arbeit und Einkauf mit ÖV und PW, ÖV-Taktfolgezeit, Haltestellendistanz sowie die zuvor zur Situation gewählten Mobilitätswerkzeuge. Weitere Variablen wie Alter oder heutige Wohnlage sind für den Befragten bei beiden angebotenen Varianten gleich und können somit nur in Interaktion mit den Entscheidungsvariablen zu Unterschieden zwischen den zur Wahl stehenden Situationen führen. So kann beispielsweise das Alter des Befragten nicht erklären ob er eher die eine oder andere Variante wählt. Wird das Alter aber in Interaktion mit der Wohnlage modelliert, könnte herausgefunden werden ob beispielsweise ältere Personen eher auf dem Land wohnen möchten.

Die Daten zur Wahl des Mobilitätswerkzeuges aus SP5 und SP7 wiesen auf eine grosse Trägheit der Befragten bezüglich der Reaktion auf veränderte Gegebenheiten hin. Dies führt zum Schluss, dass der Entscheid über den Besitz von Mobilitätswerkzeugen Gewohnheitsroutinen gehorcht und Anpassungen und veränderte Ausgangslagen nur beschränkt vorgenommen werden. Ähnliches ist auch für den Entscheid der Wohnstandortwahl zu erwarten: A priori ist davon auszugehen, dass der Entscheid des präferierten Wohnstandorts stark durch die heutige Wohnsituation geprägt ist. Um dieser Vermutung gerecht zu werden, wurde die Information der heutigen Wohnsituation bei der Modellierung entsprechend berücksichtigt.

Das in Tabelle 64 dargelegte Modell zur Erklärung der Wahl der Wohnsituation ist das Resultat eines explorativen Vorgehens mit den Determinanten Modellgüte, Anzahl signifikanter Variablen und Plausibilität der Aussage. Dabei wurde auch versucht mittels Budgeteffekten (Personen mit höheren Einkommen reagieren weniger affin auf Kostenveränderungen) sowie nicht-lineare Kostenfunktionen die Modellgüte zu verbessern. Derartige Modelle scheiterten aber immer wieder an der mangelnden Erklärungskraft. Die Ausprägungen zur Variable ‚Wohnlage‘ flossen dabei effektcodiert in das Modell ein. Anders als bei Dummy-codierten Variablen, gibt der Parameterwert nicht die Abweichung zu einer Ausprägung der Variablen an, sondern die Abweichung zum Durchschnitt aller Ausprägungen dieser Variablen. Daher wird auch für alle Ausprägungen ein Wert angegeben.

Tabelle 63 Nutzenfunktion Wohnstandortwahl

$$\begin{aligned}
U_{1,2} = & \beta_{\text{Miete}} * \text{Mietkosten pro Monat} + \beta_{\text{PW Kosten}} * \text{Kosten PW - Flotte} \\
& + \beta_{\text{ÖV Kosten}} * \text{Kosten ÖV} + \beta_{\text{Inertia PW}} * \text{Dummy gleicher PW - Bestand} \\
& + \beta_{\text{Reisezeit PW zur Arbeit}} * \text{Reisezeit zur Arbeit mit PW} \\
& + \beta_{\text{Reisezeit ÖV zur Arbeit}} * \text{Reisezeit zur Arbeit mit ÖV} \\
& + \beta_{\text{Dist ÖV}} * \text{Distanz zur ÖV Haltestelle} \\
& + \beta_{\text{Taktfolgezeit}} * \text{Taktfolgezeit} * \text{Dummy}_{\text{ÖV-Kartenbesitzer}} \\
& + \beta_{\text{Kernstadt}} * \text{Kernstadt} + \beta_{\text{Stadtgebiet}} * \text{Stadtgebiet} \\
& + \beta_{\text{Agglomeration}} * \text{Agglomeration} + \beta_{\text{ländlich}} * \text{ländliche Gegend} \\
& + \beta_{\text{Dummy ähnliche Gegend}} * \text{Dummy 'ähnliche Gegend'} \\
& + \left( \frac{\text{Alter}}{\text{mittleres Alter}} \right)^{\epsilon_{\text{Alter}}} * (\beta_{\text{Inertia Kernstadt}} * \text{Inertia Kernstadt} \\
& + \beta_{\text{Inertia Stadtgebiet}} * \text{Inertia Stadtgebiet} + \beta_{\text{Inertia Agglomeration}} * \text{Inertia Agglomeration} \\
& + \beta_{\text{Inertia ländlich}} * \text{Inertia ländliche Gegend}) \\
& + \beta_{\text{Inertia Etagenwohnung}} * \text{Dummy}_{\text{gleicher W'typ}} \text{Etagenwohnung} \\
& + \beta_{\text{Inertia Reihenhaus}} * \text{Dummy}_{\text{gleicher W'typ}} \text{Reihenhaus} \\
& + \beta_{\text{Inertia EFH}} * \text{Dummy}_{\text{gleicher W'typ}} \text{EFH}
\end{aligned}$$

Von den die Situation bestimmenden Entscheidungsvariablen sind die Distanz zum Einkauf, zur ÖV-Haltestelle sowie die Mietkosten nicht signifikant. Der mangelnde Erklärungsbedarf der Mietkosten auf den Entscheid ist vor dem Hintergrund der Tatsache zu sehen, dass die Mieten in 75% der Fälle unter dem heutigen Budget für das Wohnen lagen, was dazu führte, dass die Mietkosten als nicht entscheidungsrelevant, da ohnehin sehr günstig, angesehen wurden.

Die unterschiedliche Häufigkeit der Aktivitäten Einkaufen und Arbeit mag der zentrale Grund sein, warum zwar die Reisezeit zur Arbeit, nicht aber zum Einkaufen signifikanten Einfluss auf den Wohnstandort ausübt. Die Parameter) zur Einschätzung des Arbeitsweges zeigen, dass eine geringe Reisezeit zur Arbeit geschätzt wird und die Auswahlwahrscheinlichkeit dementsprechend erhöht.

Tabelle 64 Wohnstandortwahl

Einfluss	Variable	Parameter
Miete	Mietkosten pro Monat	$8.79 \cdot 10^{-4}$
Mobilitätswerkzeuge	Kosten PW-Flotte	$-5.92 \cdot 10^{-4}$ *
	Kosten ÖV	$9.02 \cdot 10^{-4}$
Trägheit Mobilitätsw.	Dummy: gleiche PW-Fotte	0.55 *
	Reisezeit zur Arbeit mit PW	-0.014 *
Verkehrliche Lage	Reisezeit zur Arbeit mit ÖV	-0.022 *
	Distanz zur ÖV Haltestelle	$-5 \cdot 10^{-4}$
	Taktfolgezeit	-0.02 *
Wohnlage	Kernstadt	-0.89 *
	Stadtgebiet	-0.69 *
	Agglomeration	0.76 *
	ländliche Gegend	0.81 *
Trägheit Wohnlage	Kernstadt	1.09 *
	Stadtgebiet	1.94 *
	Agglomeration	0.92 *
	ländliche Gegend	1.19 *
	Exponent Trägheit Alter	0.89 *
Trägheit Wohnungstyp	Etagenwohnung	-0.65 *
	Reihenhaus	0.73 *
	Einfamilienhaus	0.56 *
Anzahl Beobachtungen		1461
Finale Log-Likelihood		-844.82
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.17

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Der Wohnungstyp zeigte sich nur als Trägheitsvariable für den Entscheid relevant. Die Vorzeichen der entsprechenden Parameter zeigen, dass Personen, die in Reihen- resp. Einfamilienhäusern wohnen ihren Wohnungstyp nicht ändern wollen. Personen die Etagenwohnungen bewohnen dagegen bewerten die anderen Wohnungstypen positiv.

Starken, durchwegs positiven Einfluss haben die Trägheitsvariablen der Wohnlage. Die Befragten sind also eher nicht bereit ihre Wohnlage zu Gunsten einer anderen aufzugeben. Diese Trägheit nimmt mit zunehmendem Alter noch zu, wie der Exponentialparameter zeigt. Personen die heute bereits in der Stadt wohnen sind demnach noch weniger dazu bereit ihren Wohnstandort zu ändern, als Personen die in der Agglomeration/ländlicher Gegend wohnen.

Signifikanten Einfluss auf die Wohnstandortwahl haben auch die damit zusammenhängenden Mobilitätskosten, zumindest die Kosten für den individuellen Verkehr. Die Variable ,Kosten

PW-Flotte' umfasst dabei fixe- und variable Kosten. Der entsprechende Parameter ist negativ: Höhere PW-Kosten verringern demnach die Attraktivität eine Alternative. Gemäss der bereits weiter oben erwähnten Formel zur Berechnung der Elastizität ergibt sich ein Wert von -0.271. Das heisst, dass bei der Entscheidung ob der eine oder andere Wohnort gewählt wird, eine relative Abweichung der PW-Kosten von 10% zu einem Unterschied der Auswahlwahrscheinlichkeit von 2.71% führt. Dabei muss aber zwingend beachtet werden, dass die Kosten für die PW-Flotte direkt vom gewählten Wohnort und der entsprechenden Distanzen zur Arbeit und Einkauf abhängen. Dementsprechend ist für Prognosen von der vereinfachenden Anwendung von Elastizitäten abzusehen. Für verlässliche Aussagen ist es notwendig alle die Nutzenfunktion umfassende Variablen zu verwenden.

#### *Relevanz Mobility Pricing für die Wohnstandortwahl*

Die Wohnstandortwahl ist stark von persönlichen Präferenzen geprägt. Diese drücken sich in der heute gewählten Wohnsituation aus. Mittels Trägheitsvariablen konnte gezeigt werden, dass die Befragten eher diejenigen Situationen auswählen, die der heutigen Wohnsituation am nächsten kommen. Die Wahl eines Wohnorts hat aber auch immer eine verkehrliche Komponente. Je nach Wohnort unterscheiden sich die Verkehrsmittelnutzung und damit die entsprechenden Kosten. Das stated choice Experiment hat gezeigt, dass die PW-Kosten die Wohnstandortwahl beeinflussen, wenn auch in einer untergeordneten Rolle.

## 11 Modèles de choix de route basés sur des données RP dans le cadre du transport privé

### 11.1 Introduction

Dans le cadre de ce projet nous souhaitons analyser le comportement d'un individu lorsqu'il est soumis à un choix de route à effectuer en voiture entre une origine et une destination dans le réseau routier suisse. Pour cela nous utilisons des modèles d'utilité aléatoire qui sont basés sur la théorie économique de la maximisation de l'utilité. L'aléatoire de l'utilité est introduit pour entre autres capturer les effets d'attributs non observés. Nous présentons les résultats de l'estimation des modèles basés sur les données RP et les données SP individuellement ainsi que d'un modèle basé sur une combinaison des deux types de données. L'avantage principal des données RP est qu'elles reflètent précisément le comportement des individus mais la corrélation et le manque de diversité des attributs limitent le calibrage du modèle. Quant aux données SP, elles ont été spécialement récoltées afin de refléter les différents compromis que les individus souhaiteraient faire entre certains des attributs comme par exemple le temps de trajet et le coût du trajet et de fournir des attributs qui n'ont pu être observés pour les données RP. Toutefois, les données SP ont le principal désavantage d'être basées sur des situations hypothétiques de choix et donc de fournir des observations ne reflétant pas nécessairement le choix qui serait réellement effectué. Une combinaison des données RP avec les données SP au sein d'un même modèle est donc réalisée afin de bénéficier des avantages des deux. Des informations plus détaillées sur la combinaison des données RP avec les données SP sont données entre autres par Ben-Akiva et al. (1994) et Ben-Akiva et Morikawa (1990).

Il existe plusieurs modèles de choix de route basés sur les données SP : pour de plus amples informations sur les trajets en voiture voir Nielsen et al. (2002) et Bierlaire, Thémans et Axhausen (accepté pour la publication, à paraître) et pour les trajets en transports publics voir Axhausen et al. (2006) et Vrtic et al. (2002), (2004) et (2005). Les choix de route dans les données RP, contrairement aux alternatives dans les données SP, correspondent à des chemins réels dans un réseau routier. De ce fait la modélisation sur ce type de données comporte plusieurs difficultés, à savoir un ensemble de choix de taille considérable et une corrélation importante entre les options due aux chevauchements entre les routes. Différents auteurs, entre autres Cascetta et al. (1996), Vovsha et Bekhor (1998), Ben-Akiva et Bierlaire (1999) et Frejinger et Bierlaire (accepté pour la publication, à paraître) ont proposés plusieurs solutions pour traiter ces difficultés. Dans ce projet, la structure des observations rajoute une difficulté

supplémentaire car les observations correspondent à des séquences de zones et les choix réels ne sont pas observés et sont donc latents. Une application directe des modèles de choix de route existants est donc impossible. Des développements spécifiques, tant au niveau des modèles que des logiciels, ont donc été nécessaires.

Dans la section suivante nous présentons plus en détails les données RP et SP.

## 11.2 Les données

Les données utilisées dans ce projet ont été récoltées dans le cadre de deux enquêtes : une enquête téléphonique de préférences révélées (RP) dirigée par les chemins de fer fédéraux suisses (CFF) et une enquête écrite de préférences déclarées (SP) dirigée par l'Institut de Planification et des Systèmes de Transport (IVT, ETHZ).

### 11.2.1 Description des données

Dans l'enquête RP, les données socio-économiques ainsi que des données concernant les trajets effectués par les individus durant les 5 jours précédant l'enquête sont récoltées. Il était de plus demandé aux individus de décrire leur dernier plus long trajet (plus long que 20 kilomètres) en donnant le nom de la ville d'origine et de destination ainsi que le nom d'au maximum trois villes ou lieux intermédiaires. Ces voyages longue distance effectués en voiture sont le centre d'intérêt de notre analyse de choix de route.

Afin d'élever le réalisme des données SP qui sont basées sur des choix hypothétiques le sondage SP a été réalisé sur la base d'un des trajets décrits durant l'enquête RP. Il a été donc développé au total quatre questionnaires sur des thèmes différents, à savoir un questionnaire pour un avis politique quant à l'introduction de systèmes de « mobility pricing » en Suisse, un questionnaire combinant le choix de route avec le choix de l'heure de départ, un questionnaire combinant le choix d'heure de départ avec le choix du mode de transport et un dernier questionnaire combinant le choix du mode de transport avec le choix de la route. Afin de réduire la charge de travail chaque participant a reçu trois des quatre questionnaires développés : le questionnaire sur l'acceptation politique et deux des trois autres sondages concernant le choix de route, de mode de transport et d'heure de départ. De plus amples informations sur le design du sondage SP ainsi que sur le traitement des données SP sont données dans le chapitre 5 ainsi que dans les sections 6.2 et 6.3. Nous disposons au final de 3662 observations sur le choix de route provenant de 523 participants où une observation

correspond à un choix binaire entre une route avec péage et une route sans péage. Par la suite, nous ne présentons donc que le traitement et la vérification des données RP.

Nous disposons de deux types d'information sur les données, d'une part nous avons celle provenant de l'enquête téléphonique et d'autre part celle fournie par les sondages écrits que nous avons reçus. Toutes les observations proviennent du sondage téléphonique mais certaines ont fait l'objet d'une enquête écrite et ont donc pu être vérifiées par la personne interrogée. Nous partageons donc les observations en deux groupes de la manière suivante : celles qui ont fait l'objet d'une telle vérification et qui seront, par la suite, désignées par *ObsV* et celles qui n'ont pas fait l'objet d'une telle vérification et qui seront désignées par *ObsNV*.

Durant l'enquête téléphonique la personne interrogée a donc (entre autres) dû décrire un voyage d'au moins 20 kilomètres qu'elle a effectué en précisant le lieu d'origine, la destination et au maximum 3 lieux ou villes par lesquels elle est passée. Ces lieux/villes sont traduits, par l'enquêteur, en codes postaux à l'aide d'une base de données contenant tous les codes postaux de Suisse. Si la personne interrogée accepte de participer au sondage écrit, les codes postaux représentant les villes traversées sont traduits par les noms des villes afin que la personne sondée puisse vérifier le trajet décrit et donner si possible un ou deux trajets différents de celui effectué.

Nous tenons à faire remarquer que les personnes interrogées ont décrit leur choix de route sous la forme d'une séquence de lieux et de villes qu'elles ont traversés ce qui correspond donc à une séquence de zones dans le réseau routier. Ce type de description d'une part augmente la qualité des données récoltées par l'enquêteur et, d'autre part en simplifie l'obtention, car une description plus détaillée du choix de route est difficile à établir que ce soit par la personne interrogée dont les souvenirs peuvent être imprécis ou par l'analyste lors de la reconstruction du trajet effectué. De ce fait, une représentation détaillée du choix de route peut conduire à des erreurs et ne pas représenter le choix de route réel. Toutefois, la représentation du choix de route par une séquence de zones complique le travail de l'analyste car d'une part plusieurs routes peuvent correspondre à la même séquence de zones, et d'autre part l'origine et la destination exactes ne sont pas connues. Une application directe des modèles de choix de route existants est donc impossible. La Figure 37 représente un exemple d'une séquence de zones avec une origine (Belmont-sur-Lausanne), une destination (Vandoeuvres) et trois villes traversées (Morges, Aubonne et Nyon) dans la carte des zones de codes postaux suisses.

Nous commençons par considérer les données récoltées comme utilisables pour la modélisation si elles vérifient au moins les trois conditions suivantes :

1. Le trajet effectué doit être plus long que 20 kilomètres,
2. le trajet doit avoir été entièrement effectué en voiture, et
3. le trajet effectué doit être décrit par au minimum une origine, une destination et un lieu/une ville intermédiaire. (Il est important qu'au moins un lieu ou une ville intermédiaire soit spécifié car dans le cas contraire cela ne représenterait pas un choix de route). Par la suite, les lieux ou villes intermédiaires, représentés par des codes postaux, seront désignés par le terme de *via zone*.

Les données récoltées seront donc désignées par la suite comme des *observations* si elles remplissent ces trois conditions.

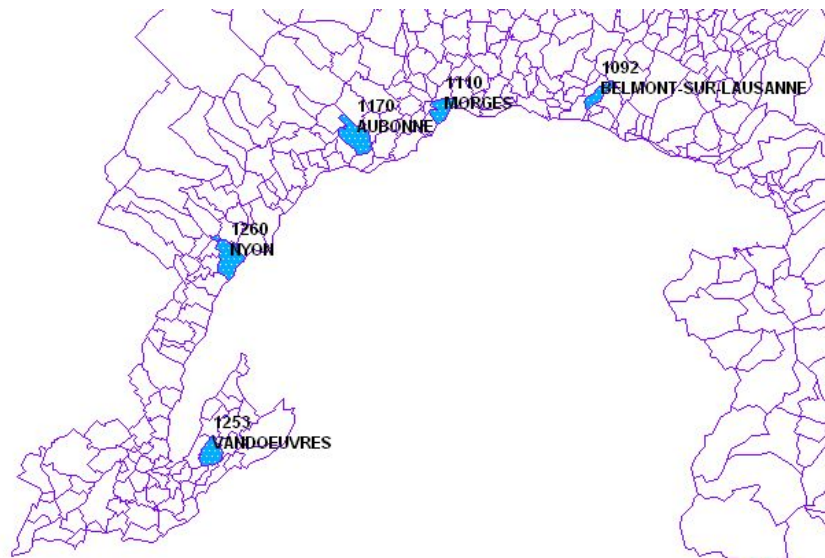


Figure 37: Exemple d'une observation

Après cette première considération sur les données nous avons traité les observations ObsV indépendamment des observations ObsNV et dans la section suivante nous expliquons brièvement toutes les étapes de la vérification.

### 11.2.2 Vérification des données

La vérification des données se fait en deux étapes : nous commençons par traiter les données ObsV (qui ont été l'objet d'un sondage écrit et pour lesquelles nous disposons donc de deux sources d'information) puis, une fois toutes ces données entièrement vérifiées, nous considérons les données ObsNV (dont l'interview téléphonique est la seule source d'information).



### *Observations ObsV :*

Nous travaillons sur le réseau routier suisse auquel est associé une base de données contenant tous les codes postaux de Suisse qui sont représentés sur la carte par des zones. Chaque code postal de cette base de données est donc localisable sur la carte.

Nous avons reçu 1028 sondages écrits : parmi ces sondages nous avons éliminé tous ceux qui ne correspondaient pas à un trajet où une via zone était explicitement mentionnée, ce qui a porté notre échantillon à 554 sondages. Nous avons ensuite vérifié si ces sondages restants correspondaient à des trajets effectués uniquement en voiture, ce qui nous a amené à poursuivre nos vérifications sur 428 observations.

Nous tenons à faire remarquer que pour certains trajets des via zones étaient indiquées mais qu'elles étaient les mêmes que soit l'origine, soit la destination, voire les deux et que nous avons donc dû éliminer ces via zones. Les trajets ne contenant plus de via zone après cette opération ont été éliminés. Une vérification manuelle a été faite pour vérifier la cohérence et pour éliminer les redondances des observations pour lesquelles il restait encore au moins une via zone après l'élimination de l'origine et/ou de la destination comme via zone.

Nous avons ensuite vérifié si tous les codes postaux, enregistrés durant les sondages téléphoniques et correspondants aux origines, aux via zones et aux destinations, existaient dans la base de données des codes postaux. Si ce n'était pas le cas, nous avons utilisé les informations de la Poste pour déterminer les codes postaux inexistant. Ces problèmes sont survenus car souvent un code postal peut correspondre à plusieurs noms de ville différents et suivant les bases de données le même code postal n'est pas identifié sous le même nom. Ceci a eu aussi comme effet, lors de la comparaison des données récoltées durant l'enquête téléphonique avec les données récoltées durant le sondage écrit, d'amener des différences entre les villes du trajet. De ce fait et pour garantir une précision accrue dans les données chacune des observations présentant une telle incohérence a été traitée individuellement à la main. Cette comparaison représente donc implicitement une vérification de la correspondance entre le noms des villes et le code postal correspondant.

Dans le but de vérifier la cohérence des observations et l'ordre donné des via zones nous avons considéré les observations une par une, nous les avons localisées manuellement sur la carte des zones postales du réseau puis nous avons procédé à la vérification. Si une incohérence flagrante et logique dans l'ordre des via zones était détectée, le changement adéquat de l'ordre était effectué. Toutefois si l'observation semblait douteuse ou si une incertitude persistait quant à l'ordre des via zones l'observation était supprimée.

Le nombre d'observations restant après toutes ces vérifications se monte à 347, soit les 81% des 428 observations initiales remplissant les conditions nécessaires à leur considération. Il est à noter que la cohérence et la validité de ces 347 observations restantes ont été vérifiées au moins une fois et ceci pour chacune d'entre elles.

#### *Observations ObsNV :*

Nous avons reçu les données récoltées durant les 2733 entretiens téléphoniques : parmi ces données nous n'avons gardé que les 1293 sondages correspondant à des trajets plus longs que 20 kilomètres, effectués entièrement en voiture et dont une via zone au moins était spécifiée. Nous n'avons pas traité les sondages correspondants aux 428 observations ObsV précédemment considérées et vérifiées. De ce fait, le nombre total d'observations ObsNV restant à vérifier est de 865. Nous avons procédé d'une manière un peu différente pour vérifier les données ObsNV car ces observations n'ont pas été l'objet de sondages écrits.

Nous avons commencé par vérifier si tous les codes postaux, enregistrés durant les sondages téléphoniques et correspondants aux origines, aux via zones et aux destinations, existaient dans la base de données des codes postaux. Si ce n'était pas le cas, nous avons utilisé les informations de la Poste pour déterminer les codes postaux inexistants. De plus, si pour une observation plus de deux codes postaux ne figuraient pas dans la base de données du réseau routier suisse, cette observation était définitivement supprimée pour éviter des erreurs et des imprécisions. De ce fait et pour garantir une précision accrue dans les données chacune des observations présentant une telle incohérence a été traitée individuellement à la main.

Nous faisons la même remarque que pour les observations ObsV, à savoir que pour certains trajets des via zones étaient indiquées mais qu'elles étaient les mêmes que soit l'origine, soit la destination, voire les deux et que nous avons donc dû éliminer ces via zones. A nouveau, certains trajets ont du être supprimé suite à cette opération.

De même que pour les observations ObsV, dans le but de vérifier la cohérence des observations et l'ordre donné des via zones nous avons considéré les observations une par une, nous les avons localisées manuellement sur la carte des zones postales du réseau puis nous avons procédé à la vérification. Si une incohérence flagrante et logique dans l'ordre des via zones était détectée, le changement adéquat de l'ordre était effectué. Toutefois si l'observation semblait douteuse ou si une incertitude persistait quant à l'ordre des via zones l'observation était simplement supprimée.

Le nombre d'observations restant après toutes ces vérifications se monte à 618, soit les 71% des 865 observations initiales remplissant les conditions nécessaires à leur considération. Il

est à noter que la cohérence et la validité de ces 618 observations restantes ont été vérifiées au moins une fois et ceci pour chacune d'entre elles.

Nous présentons un bref récapitulatif des vérifications effectuées sur les observations ainsi qu'un tableau de statistiques (Table 65) sur le nombre d'observations avant et après la vérification :

- Nous avons vérifié si le trajet est plus long que 20 kilomètres (ObsV et ObsNV),
- Nous avons vérifié si le trajet a été entièrement effectué en voiture (ObsV et ObsNV),
- Nous avons vérifié si au moins une via zone était spécifiée (ObsV et ObsNV),
- Nous avons éliminé tous les via zones qui étaient les mêmes que l'origine et/ou la destination (ObsV et ObsNV),
- Nous avons vérifié si les codes postaux communiqués existaient dans la base de données du réseau postal suisse (ObsV et ObsNV),
- Nous avons comparé les données récoltées durant l'entretien téléphonique avec les données récoltées dans les sondages écrits (ObsV),
- Nous avons vérifié la cohérence des trajets en les localisant sur la carte des zones postales suisses (ObsV et ObsNV).

Table 65 Statistiques sur les observations

	Echantillon original	Echantillon pré-final	Pourcentage
Nombre d'observations ObsV	428	347	81%
Nombre d'observations ObsNV	865	618	71%
Nombre total d'observations	1293	965	75%

### 11.2.3 Statistiques sur les observations finalisées

Après la vérification de toutes les observations l'échantillon pré-final compte 965 observations (Table 65). Il a été nécessaire ensuite d'affecter une liste de paires origine-destination à chacune des observations. Dans plusieurs cas, il s'est avéré impossible de considérer l'ensemble des paires possibles correspondant aux zones rapportées. Dans ce cas, les paires de sommets O-D ont été choisies aléatoirement avec une distribution uniforme en fonction du nombre de sommets dans la zone correspondante car nous ne connaissons pas les origines et destinations exactes mais uniquement les codes postaux correspondants.

Nous considérons les trajets longue distance (> 20km) et étant donné que nous disposons uniquement d'une estimation du nombre de kilomètres parcourus en voiture par le ou les conducteurs (fournie durant l'entretien téléphonique), nous avons donc fait une vérification supplémentaire sur les observations. Pour chaque paire de sommets O-D le plus court chemin

a été calculé, si le temps de parcours sans congestion de ce chemin était trop court l'observation, c'est-à-dire la séquence complète de zones, était supprimée. Le nombre d'observations qui ont été supprimées pour cette raison est de 21, auxquelles s'ajoutent encore 4 observations qui ont été supprimées pour la raison contraire à savoir que le temps de parcours du chemin le plus court entre les sommets O-D était abusivement trop long et aberrant pour la Suisse. De ce fait le nombre d'observations dans l'échantillon pré-final se monte donc à 940.

Après la génération des ensembles de choix par l'algorithme développé spécialement pour cette étude par Frejinger et Bierlaire (2006) il ne restait que 780 observations possibles pour l'estimation du modèle. En effet 160 observations ont été supprimées car soit toutes les routes générées par l'algorithme, soit aucune route ne passaient par la séquence de zones observée et de ce fait les modèles étaient non identifiables pour ces observations. Pour chacune des paires de sommets O-D l'ensemble de choix généré à l'aide de l'algorithme mentionné ci-dessus comporte 46 routes. Parmi toutes ces routes générées, 20941 routes (30%) représentent les 780 observations, c'est-à-dire que ces routes passent par les séquences de zones postales représentant les observations. Nous avons effectué quelques statistiques sur ces routes et spécialement sur quelques attributs utilisés pour l'estimation du modèle.

Les différentes variables représentées par les statistiques sont les suivantes :

- Le temps de parcours sans congestion de la route observée (en minutes) (Figure 38),
- la proportion de la route observée effectuée sur l'autoroute (Figure 39),
- la proportion de la route observée effectuée sur les routes cantonales et nationales (Figure 40),
- la proportion de la route observée effectuée sur les routes principales (Figure 41), et
- la proportion de la route observée effectuée sur les routes secondaires (Figure 42).

Nous faisons remarquer que ces statistiques ont été réalisées sur l'échantillon contenant uniquement les routes qui sont représentatives des observations, c'est-à-dire les routes qui passent par les séquences de zones correspondantes aux 780 observations. Par la suite et par abus de langage, nous nommerons ces routes *les routes observées*.

La répartition du temps de parcours sans congestion en minutes parmi les routes observées est représenté dans la Figure 38. La moyenne du temps de parcours sans congestion est de 48.81 minutes et le minimum et le maximum sont respectivement de 10 minutes et de 523.04 minutes. Nous remarquons que le 70% des routes observées a un temps de parcours sans congestion entre 10 et 50 minutes.

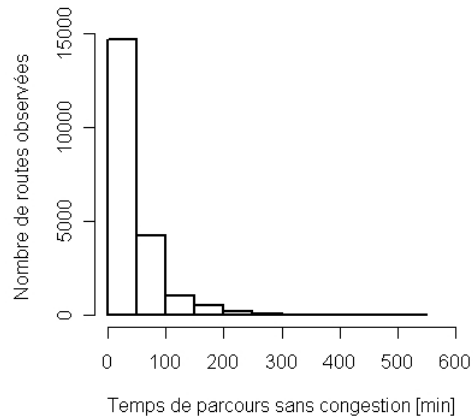


Figure 38 Fréquence du temps de parcours sans congestion

Les Figures 39, 40, 41 et 42 représentent la fréquence de la proportion de la route observée qui a été effectuée respectivement sur l'autoroute (moyenne 0.29), sur les routes cantonales et nationales (moyenne 0.27), sur les routes principales (moyenne 0.23) et sur les routes secondaires (moyenne 0.21). Pour chacune de ces variables le minimum et le maximum sont respectivement 0 et 1. Nous remarquons que pour l'intervalle  $[0.8, 1]$  il y a un plus grand nombre de routes observées dans le cas de l'autoroute que pour les trois autres types de routes, c'est-à-dire que les routes effectuées principalement ou uniquement sur un seul type de route sont plus nombreuses dans le cas où le type est l'autoroute. De ce fait, les échantillons contenant les routes observées qui ont été effectuées principalement ou entièrement sur les routes cantonales/nationales, principales ou secondaires ne sont pas très fournis. Dans le cas où nous ne tenons pas compte des proportions nulles les écarts entre les intervalles  $[0, 0.05[$  et  $[0.05, 0.1[$  se réduisent considérablement et spécialement dans le cas de l'autoroute car il y a 4905 routes observées (23%) qui n'utilisent pas l'autoroute, 1166 routes observées (6%) qui ne passent pas par des routes cantonales/nationales, 951 routes observées (5%) qui ne passent pas par des routes principales et 2087 routes observées (10%) qui n'utilisent pas de routes secondaires.

Table 66 Statistiques sur quelques attributs de la modélisation

	Min	Moyenne	Max
<b>SP variables</b>			
Temps de trajet sur route sans péage [minutes]	10	53.40	520
Temps de trajet sur route avec péage [minutes]	5	37.70	370
Fiabilité route sans péage	5	16.90	30
Prix essence sur route sans péage [CHF]	0.20	5.50	48.50
Prix essence sur route avec péage [CHF]	0.10	2.80	24.20
Péage [CHF]	0.10	4.00	60.60
<b>RP variables</b>			
Path Size	0.02	0.16	0.97
ln(Path Size)	-3.75	-2.00	-0.04
Proportion du temps de trajet sans congestion sur autoroute	0.00	0.29	1.00
Proportion du temps de trajet sans congestion sur route cantonale	0.00	0.27	1.00
Proportion du temps de trajet sans congestion sur route principale	0.00	0.23	1.00
Proportion du temps de trajet sans congestion sur route secondaire	0.00	0.21	1.00
Temps de trajet sans congestion [minutes]	8	49.00	523

Note: 1 CHF équivaut approximativement à 0.82 USD (Août 07, 2006)

Nous présentons dans la Table 66 des statistiques sur quelques attributs utilisés pour la modélisation provenant des données RP ainsi que des données SP. La fiabilité d'une route est exprimée en pourcentage des voyages qui ont été retardés de 10 minutes ou plus. L'attribut Path Size, voir Ben-Akiva et Bierlaire (1999) et Freijinger et Bierlaire (papier accepté pour la publication, à paraître), est introduit pour tenir compte de la corrélation entre certaines routes. Plus de précisions concernant cet attribut sont dans la section suivante nous décrivons brièvement où l'approche de la modélisation utilisant les données RP est brièvement décrite.

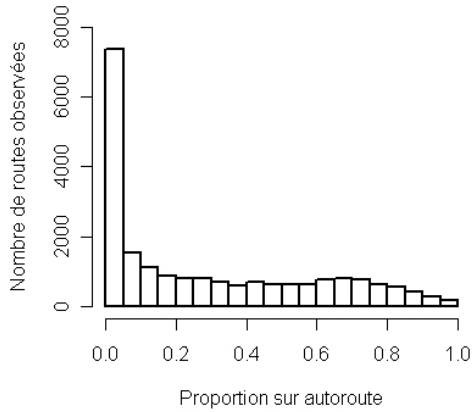


Figure 39 Proportion sur l'autoroute

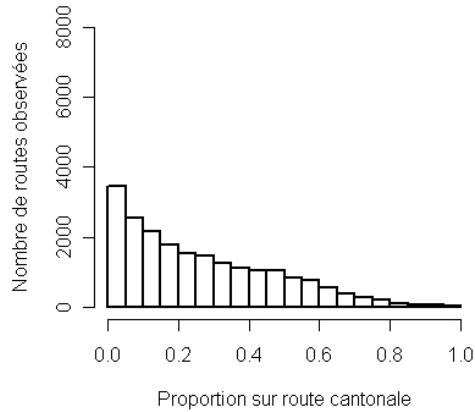


Figure 40 Proportion sur route cantonale

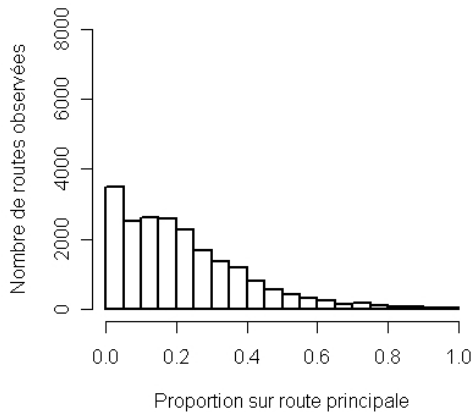


Figure 41 Proportion sur route principale

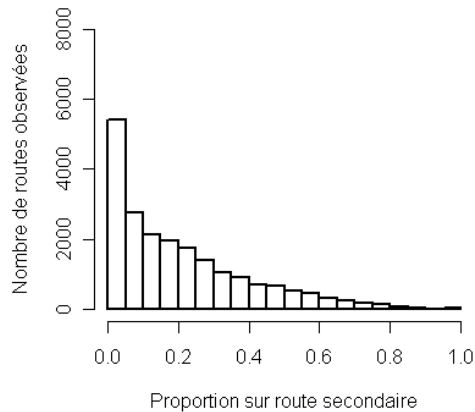


Figure 42 Proportion sur route secondaire

### 11.3 Modélisation pour les données RP

Les modèles de choix discret sont utilisés pour analyser et prédire le comportement des individus lorsqu'ils sont soumis à un choix. Dans ce cadre nous avons *un preneur de décision, l'individu*, caractérisé par des données socio-économiques, qui doit effectuer un choix parmi les différentes *options/alternatives* qui lui sont possibles. On appelle *l'ensemble de choix* l'ensemble regroupant ces alternatives. Chacune de ces alternatives est décrite par des

*attributs*. Les modèles de choix discret sont basés sur le fait que l'individu associe une utilité à chacune des alternatives et choisit l'alternative qui a la plus grande utilité.

Considérons un individu  $n$  avec un ensemble de choix  $C_n$ . L'utilité d'une alternative  $i \in C_n$  est donnée par la fonction d'utilité suivante :

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} = \beta \cdot X_{in} + \varepsilon_{in}$$

où

- $V_{in}$  est la partie déterministe de l'utilité qui est fonction de
  - $X_{in}$  un vecteur contenant les caractéristiques socio-économiques de l'individu  $n$  et des attributs de l'alternative  $i$ ,
  - $\beta$  le vecteur des paramètres du modèle à estimer.
- $\varepsilon_{in}$  est le terme aléatoire qui tient compte des incertitudes et qui définit la structure du modèle suivant la fonction de densité qu'on lui attribue.

Les observations dont nous disposons représentent des séquences de zones postales correspondant à l'origine, aux lieux et/ou villes traversés et à la destination. Un choix de route ainsi que l'origine et la destination exactes n'ont donc pas été observés. Une observation est donc considérée comme un agrégat d'alternatives, un ensemble de routes, qui passent la même séquence de zones. Nous avons déjà fait remarquer que ce type de description augmente la qualité des données récoltées car la personne interrogée n'a pas eu besoin de décrire sa route en suivant le réseau routier réel. En effet, une représentation détaillée du choix de route peut conduire à des erreurs et ne pas représenter le choix de route réel. Toutefois, la représentation du choix de route par une séquence de zones complique le travail de l'analyste car plusieurs routes peuvent correspondre à la même observation. Une estimation directe des modèles de choix de route existants est donc impossible.

Afin de procéder à l'estimation du modèle par la méthode du maximum de vraisemblance, nous calculons la probabilité d'une observation à l'aide d'un modèle de choix de route sous-jacent se basant sur une description détaillée du réseau routier ainsi que des routes réelles. Plus particulièrement nous utilisons le modèle de choix de route Path Size Logit qui a été développé par Ben-Akiva et Bierlaire (1999) et analysé par Frejinger et Bierlaire (accepté pour la publication, à paraître). Le Path Size Logit est une modification du modèle Logit Multinomial où un attribut supplémentaire, le Path Size, est introduit dans la partie déterministe de l'utilité afin d'appréhender la corrélation entre les alternatives. Le Path Size pour une route est égal à 1 si cette route ne se chevauche avec aucune autre route dans l'ensemble de choix. Nous remarquons dans la Table 67 que la valeur maximale de l'attribut Path Size est 0.97 et donc qu'il n'y a pas de routes complètement distinctes. L'estimation des



modèles basés sur les observations agrégées a été implémentée dans BIOGEME, un logiciel développé par Bierlaire (2003). Pour une présentation détaillée de l'approche méthodologique, le lecteur est prié de se référer à Bierlaire et Frejinger (2006).

Le réseau routier suisse fourni par la base de données Tele Atlas par le système d'information géographique (GIS) TransCAD est un réseau national complet qui contient 589 128 arêtes bidirectionnelles et 485 063 sommets. Considérant le fait que les choix de route que nous disposons sont latents, c'est-à-dire que la route réelle n'est pas décrite de manière exacte mais par une séquence de zones, et que notre intérêt se porte uniquement sur les trajets avec véhicule privé de longue distance (au dessus de 20 kilomètres), le réseau routier national complet, trop détaillé pour ce type d'observations, n'est pas adéquat. Nous travaillons donc sur un réseau routier national simplifié qui est basé sur le *Swiss national model*, voir Vrtic et al. (2005), qui contient 39 411 arcs unidirectionnels et 14 841 sommets, voir Figure 43. Le nombre d'arcs, respectivement de sommets restants représente les 3.5%, respectivement les 3% des nombres d'arcs et de sommets dans le réseau complet. La grande majorité des arcs et des sommets supprimés se trouve dans les réseaux urbains qui n'ont pas besoin d'être très détaillés vu que dans notre cas l'intérêt est porté sur les trajets longue distance. Nous illustrons dans les Figure 44 et Figure 45 l'exemple d'un réseau urbain avant et après la suppression d'arcs et de sommets. La Figure 44 représente la ville de Lausanne et ses environs dans le réseau routier complet de la base de données Tele Atlas tandis que la Figure 45 représente cette même région mais dans le réseau routier simplifié du *Swiss national model*. De plus une hiérarchie groupant les arcs en 7 catégories en considérant la limite de vitesse (km/h) et la capacité de l'arc (veh/24h) est fournie par le *Swiss national model*, voir Vrtic et al. (2005). Nous avons cependant regroupés les arcs en 4 nouveaux groupes en se basant sur cette hiérarchie :

1. Les autoroutes (catégorie 1),
2. les routes nationales et cantonales (catégorie 2),
3. les routes principales (catégorie 3) et,
4. les routes secondaires (catégories 4, 5, 6 et 7).

Pour la définition géographique des codes postaux, nous avons utilisé la carte des codes postaux suisses de la Poste qui contient 3 251 zones postales et qui est représentée dans la Figure 46.

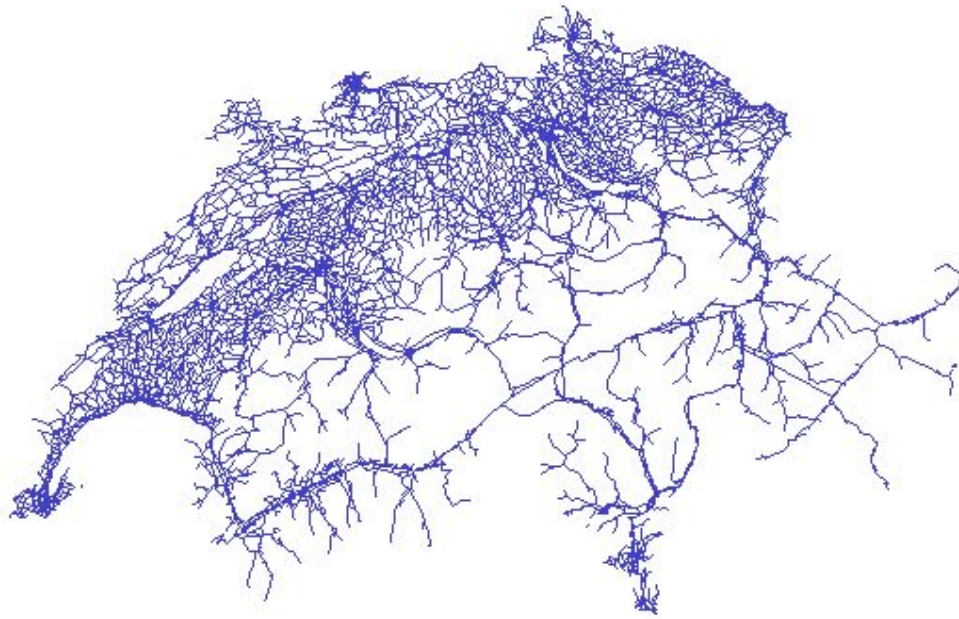


Figure 43 Réseau national suisse simplifié (réf. *Swiss national model*)

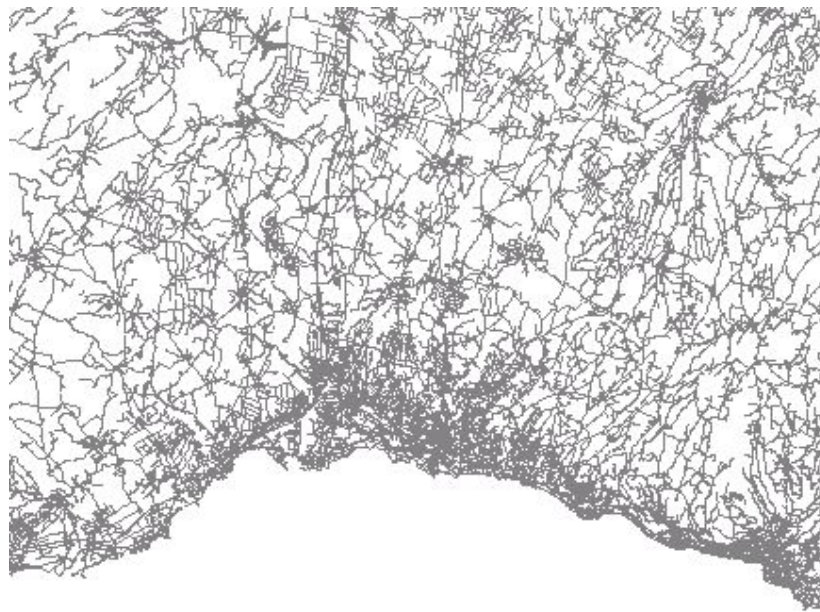


Figure 44 Lausanne et ses environs (réf. *Tele Atlas*)

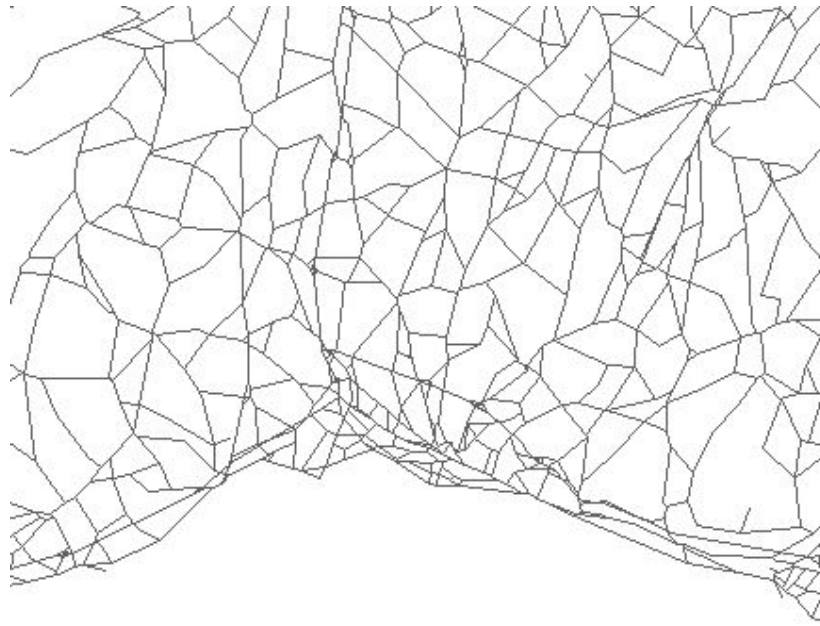


Figure 45 Lausanne et ses environs (réf. *Swiss national model*)

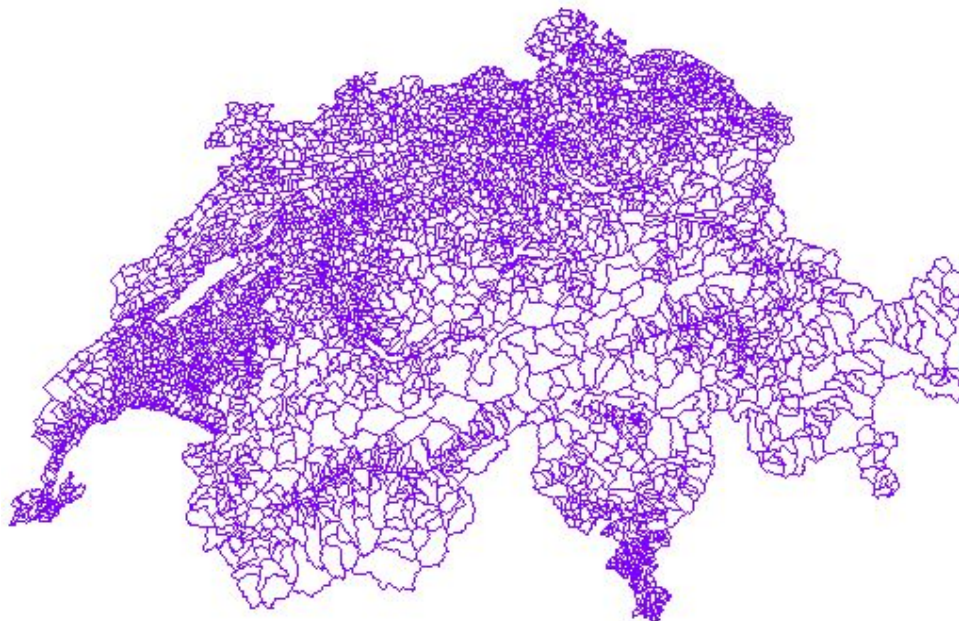


Figure 46 Zones postales de Suisse

### 11.3.1 Description des attributs

Nous décrivons les principaux attributs disponibles pour chaque arc (unidirectionnel), chaque sommet et chaque code postal.

#### *Attributs arc :*

- Les sommets de départ et d'arrivée (dans l'ordre de la direction de l'arc) ;
- la classification de l'arc (en fonction des catégories de la hiérarchie décrite précédemment) ;
- la longueur de l'arc (en kilomètres) ;
- la capacité de l'arc (en véhicule/24h) ;
- la vitesse maximale autorisée (en km/h) ; et
- le temps de parcours de l'arc sans congestion (en minutes).

#### *Attributs sommet :*

- La longitude ;
- la latitude ; et
- la zone postale correspondante au sommet.

#### *Attributs zone postale :*

- Le code postal ;
- la ville correspondante ;
- le nom de l'office postal ; et
- le canton.

Dans le réseau simplifié du *Swiss national model* des arcs et des sommets ont été supprimés ce qui a eu comme effet que certaines zones postales ne contenaient plus de sommet. Il est évidemment nécessaire pour la modélisation que dans le cas où une zone postale est une origine ou une destination il faut qu'elle contienne au minimum un sommet. De même si une zone postale est une via zone il faut qu'elle contienne au moins un sommet afin de pouvoir tester si une route passe bien par cette zone. Parmi tous les codes postaux présents dans les observations 21 ne contenaient pas de sommet. Afin de remédier à ce problème certaines modifications mineures ont été effectuées à savoir que pour les zones postales sans sommet, le sommet affectant le réseau au minimum et le plus proche de la zone a été déterminé et a été affilié à cette zone.

## 11.4 Résultats

Nous présentons dans cette partie les résultats de l'estimation de quatre modèles différents : deux modèles Path Size Logit basés sur les données RP (RP1 et RP2) qui diffèrent par la

spécification de la variable temps de trajet, un modèle Binary Logit basé sur les données SP et finalement un modèle combinant les données RP avec les données SP. Le logiciel BIOGEME, voir Bierlaire (2003), a été utilisé pour l'estimation de tous les modèles présentés et a fourni les informations nécessaires pour l'analyse des modèles. Les résultats de l'estimation de tous les paramètres et des diverses mesures de qualité des modèles sont reportés dans la Table 67. Pour plus de précisions concernant les mesures de qualité le lecteur est prié de se référer à Ben-Akiva et Lerman (1985). Pour les quatre modèles présentés, la Table 67 contient entre autres:

- la valeur des différents paramètres estimés,
- pour chaque paramètre estimé est de plus fourni :
  - une mesure de la précision de la valeur estimée par l'erreur-type robuste (Rob. Std. Error),
  - une mesure de la signification de la valeur estimée par la valeur du t-test robuste basé sur l'erreur-type robuste (Rob.T-test),
- la taille de l'échantillon,
- le nombre de paramètres estimés,
- la valeur de la log-vraisemblance lorsque tous les paramètres sont fixés à 0,
- la valeur de la log-vraisemblance finale pour le modèle estimé,
- une mesure de la qualité du modèle (rho-carré ajusté).

Nous remarquons que tous les paramètres ont le signe approprié et sont significativement différent de zéro.

Le premier modèle basé sur les données RP (RP1) est spécifié avec une fonction d'utilité linéaire en les paramètres. Nous utilisons une approximation linéaire par morceaux du temps de parcours libre pour tenir compte de la sensibilité des individus relativement à d'éventuels changements dans les temps de trajet pour différents intervalles de la variable (pour des exemples voir Ben-Akiva et Lerman (1985)). Une telle formulation a l'avantage de garder la fonction de vraisemblance globalement concave tout en permettant une transformation non linéaire de la variable. Après une série de tests pour déterminer les bornes pour les intervalles, nous avons défini une approximation linéaire par morceaux du temps de trajet sans congestion spécifique à chacun des quatre types de routes. Les fonctions d'utilité contiennent aussi un attribut Path Size et les quatre variables représentant la proportion du temps de trajet sans congestion sur chaque type de routes. Ces variables de proportionnalité ont pour but de prendre en compte la perception des individus vis-à-vis des types de routes. Plutôt que d'introduire une constante pour chaque type de route, nous les avons pondéré par la proportion du temps de trajet sans congestion correspondante, la somme des quatre variables étant 1.

D'après les résultats de l'estimation du modèle RP1 figurant dans la Table 67, nous pouvons dire que le type de route a un impact significatif sur le comportement de l'individu lors du choix de route. Les coefficients des approximations linéaires par morceaux sont représentés graphiquement dans la Figure 47 (par des courbes pour les quatre types de routes : secondaire, principale, cantonale/nationale et autoroute). Nous faisons remarquer que les coefficients qui ne sont pas significativement différents sont représentés par le même style de ligne (plein, trait tillé ou pointillé). La perception du temps de trajet sur route secondaire est très similaire à celle sur route principale. La seule différence significative est pour l'intervalle de temps 0-10 minutes durant lequel les individus ne perçoivent pas de changements dans le temps de parcours pour les routes principales, c'est-à-dire que pour un temps de trajet entre 0 et 10 minutes sur route principale l'utilité n'est pas affectée par un changement. De plus, pour des temps de trajet plus courts que 30 minutes il n'y a pas de différence significative dans la perception du temps sur routes cantonales/nationales et sur autoroutes. Cependant, pour des trajets plus longs, les individus sont plus sensibles aux changements du temps de trajet sur les autoroutes que sur les routes cantonales/nationales. Il est intéressant de remarquer que pour l'intervalle 30 minutes à 1 heure il n'y a pas de différence significative entre les différents types de routes. Il est important de faire le lien entre ces résultats et les observations pour chaque intervalle de temps et chaque type de route. Les statistiques sur les observations sont données dans la Table 68. Il y a très peu d'observations pour des longs voyages sur des routes secondaires et principales et de ce fait les valeurs estimées pour leurs coefficients respectifs ne devraient être considérées comme fiables que pour des trajets plus courts que 1 heure. Il y a toutefois légèrement plus d'observations pour des longs trajets sur les autoroutes et en effet le coefficient pour l'intervalle de temps 1 heure et plus est estimé significativement différent de zéro. Néanmoins, il serait souhaitable de disposer de plus d'observations afin de tirer des conclusions fiables pour la valeur de ce coefficient. L'estimation du coefficient Path Size est de signe positif et significativement différent de zéro, ce qui est cohérent avec la théorie (voir Frejinger et Bierlaire (accepté pour la publication, à paraître)). Nous rappelons que les termes aléatoires dans le modèle Path Size Logit sont supposés être indépendants et identiquement distribués (i.i.d) mais cette hypothèse n'est plus valable dans le contexte du choix de route à cause du chevauchement entre les routes. Le fait que le coefficient Path Size soit positif indique que l'utilité pour des routes se chevauchant est diminuée afin de compenser l'hypothèse sur la distribution i.i.d des termes d'erreur.

Les coefficients associés aux variables de proportionnalité sont tous estimés négatifs et significativement différents de zéro sauf celui qui est associé aux routes cantonales/nationales qui est fixé arbitrairement à zéro pour un but d'identification. D'après ces estimations les individus ont un ordre de préférence des types de routes pour des voyages longue distance qui

est le suivant: cantonales/nationales, autoroutes, principales puis secondaires. Des simulations devraient être effectuées afin d'évaluer l'influence complète des changements dans les proportions de types de routes car de tels changements influencent aussi l'utilité du temps de parcours libre.

Afin de calibrer un modèle pour lequel les coefficients associés au temps de trajet sont estimés sur les données RP et les données SP, la spécification de cette variable doit être la même dans l'utilité de toutes les alternatives. En effet l'information sur le type de route n'est pas disponible pour le jeu de données SP et donc les coefficients du temps de trajet dans le modèle RP1 ne peuvent pas être estimés sur la base des données SP. Nous présentons donc un second modèle basé sur les données RP (RP2) avec une seule approximation linéaire par morceaux du temps de trajet sans congestion. A l'exception de cette variable, les fonctions d'utilité sont les mêmes que pour le modèle RP1. Les résultats de l'estimation sont reportés dans la Table 67 et la représentation graphique pour l'utilité du temps de trajet sans congestion est donnée dans la Figure 47 (courbe RP2). Les coefficients pour le temps de trajet sans congestion sont tous significativement différents de zéro et aussi significativement différents entre eux (niveau du test : 10%). De plus, la sensibilité aux changements dans le temps de trajet diminue lorsque la longueur du trajet augmente. Ce résultat est intuitif car un changement d'une minute est une fraction plus petite du temps de trajet total pour des longs trajets que pour des petits trajets. Par contre pour de très longs voyages nous nous serions attendu à une sensibilité accrue aux changements dans les temps de trajet, mais dans notre cas le modèle ne le reflète pas car il n'y a que très peu d'observations pour de très longs trajets. Nous remarquons que l'ordre de préférence des types de route change par rapport au modèle RP1 : les routes principales sont ici préférées aux autoroutes.

Avant de présenter le modèle combiné RP/SP, nous présentons un modèle basé sur les données SP. Dans ce modèle, similaire aux formulations utilisées dans la section 9.2, les utilités pour le coût sont spécifiées par les fonctions d'utilité suivantes qui ne sont pas linéaires en les paramètres :

$$V_{\text{sans\_péage}}^{\text{coût}} = \beta_{\text{prix\_essence}} \left( \frac{\text{income}}{94208} \right)^{e_{\text{revenu\_prix\_essence}}} \text{PrixEssence}_{\text{sans\_péage}}$$

$$V_{\text{péage}}^{\text{coût}} = \beta_{\text{prix\_essence}} \left( \frac{\text{income}}{94208} \right)^{e_{\text{revenu\_prix\_essence}}} \text{PrixEssence}_{\text{péage}} + \beta_{\text{péage}} \left( \frac{\text{income}}{94208} \right)^{e_{\text{revenu\_péage}}} \text{Péage}$$

Ces fonctions d'utilité reflètent la manière dont varient la perception du prix de l'essence et des péages par rapport au revenu du ménage (94208 est la moyenne de l'échantillon pour la variable du revenu). Les autres parties des fonctions d'utilité sont linéaires en les paramètres et les deux comprennent une approximation linéaire par morceaux de la variable représentant le temps de trajet. La fonction d'utilité pour la route sans péage comprend une constante spécifique (pour la comparaison) et la fonction d'utilité pour la route avec péage comprend une constante spécifique pour la femme et une pour les personnes retraitées. Dû au fait que pour chaque individu il y a plusieurs observations (données panel), il est important de prendre en compte les corrélations entre ces observations. Nous ajoutons donc un terme d'erreur lié à l'individu dans une des utilités (route sans péage) qui reste invariant pour les observations d'un individu donné. Ce terme aléatoire suit une loi normale avec une moyenne nulle et une variance que nous estimons.

Les résultats de l'estimation du modèle SP sont présentés dans la Table 78 et indiquent que les femmes préfèrent les routes avec péage. Toutefois, le fait que la valeur de la constante spécifique à la route sans péage soit positive indique que cette option sera privilégiée dans le cas où la partie restante de la fonction d'utilité est la même pour les deux options. De plus, nous remarquons que les personnes à la retraite préfèrent les routes sans péage. Il n'y a pas de différence significative dans la perception du temps de trajet pour les deux premiers intervalles (0-30 minutes et 30 minutes-1 heure) mais la sensibilité au changement dans le temps de trajet décroît pour des temps de trajet plus longs qu'une heure (voir la courbe SP dans la Figure 47), résultat qui est consistant avec les résultats pour le modèle RP2. Par ailleurs, nous faisons remarquer que les coefficients pour le prix de l'essence et pour le péage ne sont pas significativement différents ce qui signifie que les individus sont indifférents au fait de payer la même somme d'argent pour l'essence ou pour le péage. Nous faisons aussi remarquer que le coefficient du prix de l'essence ne varie pas de manière significative avec le revenu contrairement au coefficient associé au péage. Finalement nous présentons le modèle combiné basé sur les données RP et les données SP. Les parties déterministes des utilités sont spécifiées comme dans les modèles RP2 et SP discutés précédemment. Nous faisons l'hypothèse que la perception du temps de trajet par les individus est stable entre les ensembles de données et de ce fait nous estimons les coefficients pour les temps de trajet en nous basant sur les données réunies. Il faut cependant préciser qu'il y a une incohérence entre les mesures des temps de trajet des deux ensembles de données : en effet, les données RP contiennent la variable temps de trajet sans congestion tandis que les données SP contiennent le temps de trajet hypothétiquement réel.

Bien que des observations pour le même individu soient comprises dans les deux ensembles de données, l'auto-corrélation entre ces réponses multiples est seulement modélisée dans les



utilités des alternatives SP. La raison est que les alternatives RP sont différentes pour chaque observation. Un terme aléatoire caractéristique ne peut donc pas être inclus dans l'utilité des alternatives RP de la même manière que pour les alternatives SP. De ce fait, l'auto-corrélation pour des réponses multiples d'un individu entre les deux ensembles de données est ignorée dans ce modèle. De plus, nous ne pouvons pas faire l'hypothèse que la variance des parties aléatoires de l'utilité est la même pour les alternatives RP et SP et donc nous estimons aussi un paramètre d'échelle associé aux données SP tandis que nous fixons à 1 le paramètre d'échelle pour les données RP.

Les résultats de l'estimation du modèle combiné RP2/SP sont donnés dans la Table 67. L'interprétation générale de ces résultats est la même que pour les modèles estimés sur les données RP et SP individuellement. En effet, les coefficients ont tous le même signe et approximativement le même niveau de signification entre les différents modèles. Les coefficients des temps de trajet pour les intervalles 0-30 minutes et 30 minutes-1 heure ne sont toujours pas significativement différents mais par contre les rapports entre ces coefficients ont changé. Par exemple, dans le modèle SP un changement d'une minute dans le temps de trajet est pénalisé 1.4 fois plus dans l'intervalle 30 minutes-1 heure que pour l'intervalle 1 heure et plus tandis que dans le modèle combiné le même changement est 1.9 fois plus pénalisé. Une représentation graphique des coefficients pour les temps de trajet est reportée dans la Figure 47 (courbe RP2/SP). Les coefficients du prix de l'essence ainsi que du péage ne sont pas significativement différents comme dans les résultats du modèle SP. De plus, le coefficient du prix de l'essence ne varie pas de manière significative avec le revenu contrairement au coefficient du péage. Nous remarquons (Table 68) que les rapports entre les coefficients temps- prix essence et temps- péage sont différents de ceux obtenus dans le modèle SP. Les rapports prennent des valeurs comprises entre 7.20 CHF/heure et 18.29 CHF/heure ce qui correspond à un intervalle plus étendu que dans le modèle SP. Finalement nous observons que la variance pour le terme aléatoire caractéristique est significativement différente de zéro, c'est-à-dire qu'il y a une auto-corrélation significative entre les réponses multiples d'un même individu. Il serait possible de calculer les valeurs du temps (VTTS) pour les modèles SP et RP-SP mais nous ne les présentons pas car elles ne tiennent pas compte du comportement lors du choix du mode de transport et de l'heure de départ. De ce fait, elles ne sont pas utilisables pour l'analyse des différentes politiques de « pricing » contrairement au VTTS présentées dans la section 9.3.

Table 67 Résultats pour l'estimation des modèles

Paramètres	RP 1	RP 2	SP	RP2/SP
ln(Path Size) (Rob. T-test)	0.97 (7.24)	1.11 (7.56)		1.04 (7.07)
Temps de parcours libre sur autoroute 0-30 min [heures]	-7.00 (-8.08)			
Temps de parcours libre sur autoroute 30min - 1 heure [heures]	-1.65 (-1.91)			
Temps de parcours libre sur autoroute 1 heure + [heures]	-4.97 (-6.55)			
Temps de parcours libre sur cantonale 0-30 min [heures]	-6.03 (-6.80)			
Temps de parcours libre sur cantonale 30 min + [heures]	-1.83 (-5.56)			
Temps de parcours sur principale 0-10 min [heures]	0 fixed			
Temps de parcours sur principale 10 min + [heures]	-2.04 (-4.09)			
Temps de parcours sur secondaire [heures]	-2.14 (-3.16)			
Proportion du temps sur autoroute [heures]	-2.14 (-2.64)	-2.97 (-8.81)		-2.79 (-8.88)
Proportion du temps sur cantonale	0 fixed	0 fixed		0 fixed
Proportion du temps sur principale	-4.38 (-5.83)	-1.68 (-4.20)		-1.70 (-4.34)
Proportion du temps sur secondaire	-6.22 (-6.28)	-3.62 (-8.04)		-3.81 (-8.54)
Temps de parcours libre (données RP) 0-30 min		-8.18 (-6.06)	-5.60 (-6.09)	-5.32 (-5.73)
Temps de parcours (données SP) [heures]				
Temps de parcours libre (données RP) 30 - 1 heure		-5.33 (-7.72)	-5.53 (-8.16)	-4.76 (-8.29)
Temps de parcours (données SP) [heures]				
Temps de parcours libre (données RP) 1 heure +		-2.12 (-9.33)	-3.84 (-6.65)	-2.45 (-11.01)
Temps de parcours (données SP) [heures]				
Constante pour route sans péage			1.27 (5.95)	1.12 (5.18)
Prix essence [CHF]			-0.405 (-5.44)	-0.34 (-5.08)
Elasticité revenu-prix essence			-0.050 (-0.16)	-0.088 (-0.32)
Péage [CHF]			-0.389 (-6.9)	-0.291 (-6.67)
Elasticité revenu-péage			-0.281 (-1.53)	-0.301 (-1.65)
Fiabilité des routes sans péage			-0.034 (-6.81)	-0.027 (-5.04)

Paramètres	RP 1	RP 2	SP	RP2/SP
Femmes		-0.444 (1.90)		0.354 (1.92)
Retraités (> 64 ans)		-1.01 (-2.52)		-0.833 (-2.57)
Variance du terme aléatoire caractéristique		2.26 (14.98)		1.79 (7.05)
Paramètre d'échelle pour les données SP				1.26 (7.13)
Taille de l'échantillon	780	780	3662	4442
Nombre d'individus	780	780	523	1303
Nombre de tirs pseudo aléatoires	-	-	1000	1000
Nombre de paramètres	11	7	12	17
Log-vraisemblance (paramètres à 0)	-1375.851	-1375.851	-2538.305	-3914.156
Log-vraisemblance finale	-1168.416	-1180.403	-1888.331	-3074.888
Rho-carré ajusté	0.143	0.137	0.251	0.210

BIOGEME, Bierlaire (14), a été utilisé pour l'estimation des modèle

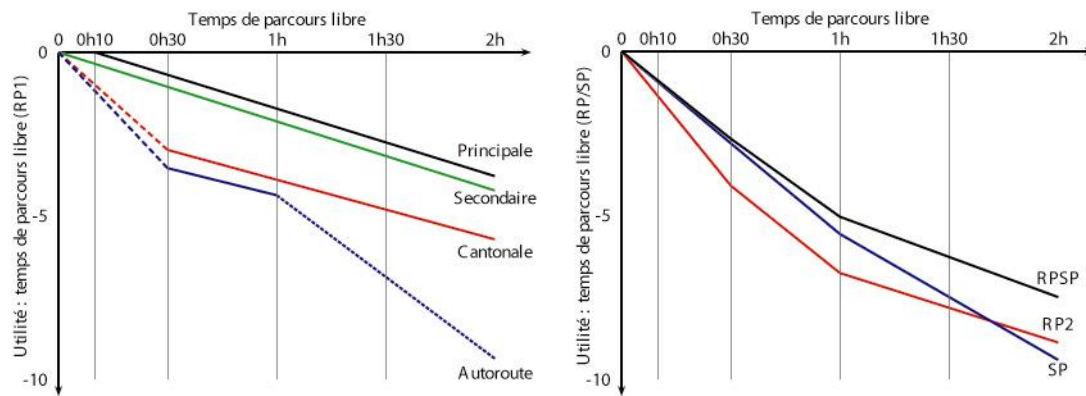


Figure 47 Approximations linéaires par morceaux de la variable temps de trajet sans congestion

Table 68 Statistiques sur les observations pour l'approximation linéaire par morceaux

		]0 , 0h10[	[0h10,0h30[	[0h30 ,1h[	[1h ,1h30[	[1h30 , [
Données	Nb. d'obs.	20941	20927	11520	4762	2427
RP	Pourcentage	100	99.9	55	22.7	11.6
Secondaire	Nb. d'obs.	18854	7113	1343	194	31
	Pourcentage	90.0	34.0	6.4	0.9	0.2
Principale	Nb. d'obs.	19990	7234	1579	451	155
	Pourcentage	95.5	34.5	7.5	2.2	0.7
Cantonale/						
Nationale	Nb. d'obs.	19775	9243	2307	426	108
	Pourcentage	94.4	44.2	11.0	2.0	0.5
Autoroute	Nb. d'obs.	16036	8541	2861	1116	489
	Pourcentage	76.6	40.8	13.7	5.3	2.3
Données	Nb. d'obs.	3662	3586	1878	848	446
SP	Pourcentage	100	97.9	51.3	23.2	12.2

## 11.5 Conclusion

Cette partie présente une analyse du comportement dans le contexte de choix de route pour des trajets longue distance en Suisse. Cette étude est particulièrement intéressante pour plusieurs raisons. Premièrement, nous avons estimé un modèle de choix de route Path Size Logit basé sur les préférences révélées pour lequel les choix réels sont latents. Puis nous avons estimé un modèle Binaire Logit basé sur les préférences déclarées qui tient compte de l'auto-corrélation entre les réponses multiples d'un individu. Ce modèle a été conçu afin de refléter entre autres la sensibilité des individus face au prix de l'essence et au péage. Finalement, nous avons présenté un modèle combiné dans lequel l'estimation des coefficients des temps de trajet est basée sur les données RP et les données SP. Ce dernier modèle est complexe car il est calibré sur une combinaison d'observations agrégées et non agrégées où les alternatives des préférences déclarées ont des fonctions d'utilité non linéaires en les paramètres et des termes aléatoires spécifiques individuels.

Les résultats de l'estimation montrent que le type de route (secondaire, principale, cantonale/nationale ou autoroute) a un impact important sur le comportement du choix de route. De plus, il y a des différences significatives dans la manière dont les individus perçoivent les changements dans les temps de trajet sur les différents types de route et dans

les différents intervalles de temps. Les coefficients pour le prix de l'essence et pour le péage ne sont pas significativement différents ce qui sous-entend que les individus sont indifférents à payer la même somme d'argent pour l'essence ou pour le péage. De plus, le coefficient pour le péage varie significativement avec le revenu du ménage contrairement au coefficient associé au prix de l'essence.

## 12 Schätzung der Elastizitäten der Gesamtnachfrage (RP)

### 12.1 Ausgangslage und Ziel

Preisänderungen und andere Qualitätsmerkmale beeinflussen die Verkehrsnachfrage und das Verkehrsverhalten auf vielfältige Weise. Unterschiedlichste Faktoren wirken auf die Nachfrageänderungen. Neben der Höhe spielt auch die Art der Preisänderungen eine wichtige Rolle. Im vorliegenden Kapitel soll gezeigt werden, wie sich die motorisierte individuelle Mobilität in den letzten 45 Jahren in der Schweiz entwickelt hat und inwiefern sich Nachfrageschwankungen mit Preisänderungen empirisch nachweisen lassen.

Das typische Maß für die Preissensitivität sind Elastizitäten, die als Quotient zwischen der relativen Nachfrageveränderung und der relativen Veränderung der nachfragebeeinflussenden Faktoren definiert werden. Die Verkehrsnachfrage im Zähler umfasst Größen wie die Anzahl beförderter Personen, Personenkilometer, Fahrzeugkilometer und Benzinverbrauch während im Nenner insbesondere Preise zu einzelnen Komponenten wie der Benzinpreis, Motorfahrzeugsteuer oder Fahrzeugkosten, generalisierte Kosten, angebotsseitige Einschränkungen (Parkplatzangebot) oder Qualitätsmerkmale stehen.

Um die Auswirkungen auf das Nachfrageverhalten zu messen, können methodisch grundsätzlich zwei unterschiedliche Ansätze gewählt werden. Ein erster Ansatz besteht darin, das Nachfrageverhalten in einem Vorher-Nachhervergleich zu bestimmen und daraus Nachfrageelastizitäten abzuleiten. Diese Methode beruht auf spezifischen Untersuchungen und erlaubt die Auswirkungen einzelner Faktoren auf die Nachfrage in einem bestimmten Kontext zu messen. Die erhobenen Elastizitäten beziehen sich auf genau diese Situation. Ein zweiter Ansatz geht über regressionsanalytische Modellschätzungen von statistisch erhobenen Datengrundlagen. Im vorliegenden Abschnitt steht diese Methode im Vordergrund, da keine spezifischen Datenerhebungen über das effektive Nachfrageverhalten durchgeführt wurden. Werden die Variablen in logarithmierter Form in die Regressionsmodelle eingeführt, so entsprechen die Elastizitäten direkt den geschätzten Koeffizienten (Eckey, 2000).

Die Untersuchung erfolgt einerseits auf Ebene der aggregierten Verkehrsnachfrage (Makroebene). Grundlage bilden die offiziellen Statistiken zu den Verkehrsleistungen (Verkehrstatistiken), Treibstoffabsatz und sozio-ökonomischen Grössen.

Andererseits betrifft der zweite Teil das Nachfrageverhalten auf individueller Ebene (Mikroebene). Mit diesem Ansatz wird das Ziel verfolgt die Auswirkungen von Preisänderungen auf einzelne Kostenkomponenten der individuellen Mobilität abzuschätzen. Neben dem individuellen Mobilitätsverhalten soll gezeigt werden, wie sich die Ausgestaltung der Mobilitätspreise auf das Nachfrageverhalten auswirkt.

## 12.2 Elastizitäten aus ausländischen Studien

Zu den Elastizitäten im Verkehrsbereich besteht eine reichhaltige Literatur. Diese Studien bilden eine wichtige Grundlage für die Beurteilung von einzelnen Maßnahmen und zur Prognose von deren Auswirkungen. Die einzelnen Studien beziehen sich auf die Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren in ganz unterschiedlichen räumlichen, ökonomischen und institutionellen Zusammenhängen. Entsprechend unterschiedlich fallen auch die Ergebnisse aus und eine Übertragung dieser Elastizitäten auf den vorliegenden Kontext erfordert große Vorsicht. Die Verkehrsnachfrage kann durch verschiedene Arten von Gebühren, Preisänderungen oder sonstigen Qualitätsveränderungen im Verkehrsangebot beeinflusst werden. So wirken sich Benzinpreiserhöhungen oder die Erhöhung von Parkgebühren unterschiedlich auf das Mobilitätsverhalten aus. In Tabelle 69 werden die wichtigsten Formen der Mobilitätsbepreisung mit den möglichen Auswirkungen in Anlehnung an Litman (Litman, 2006) aufgezeigt.

Aus der Tabelle 69 wird deutlich, dass sich unterschiedliche Preisansätze verschieden auf die einzelnen Bereiche des Verkehrsverhaltens auswirken. Die Preissensitivität hängt unter anderem auch davon ab, wie die Preisänderungen wahrgenommen und eingeschätzt werden. Die einzelnen Preisansätze wirken nicht nur auf verschiedene Bereiche, sondern haben auch einen sehr unterschiedlichen Einfluss auf die Mobilitätsnachfrage.

Tabelle 69 Auswirkungen verschiedener Ansätze zur Mobilitätsbepreisung

Bereich der Auswirkungen		Fahrzeugsteuer	Benzinpreis	Strassengebühren	Staugebühren	Parkgebühren	Zugangsgebühren
Besitz	Fahrzeugbesitz	✓	✗	✗	✗	✗	✗
	Fahrzeugtyp	✓	✓	✗			
Benutzung	Fahrstil		✓				
	Routenwahl			✓	✓	✓	
	Modalsplit	✗	✓	✓	✓	✓	✓
	Fahrtenzahl		✓	✓	✓	✓	✓
	Standortentscheid		✓	✓		✓	✓

Neben den direkten Preiseffekten (✓) beeinflussen auch relative Preise indirekt (✗) das Nachfrageverhalten und den Fahrzeugbesitz. Zusätzlich spielen aber auch angebotsseitige Einflussgrössen alternativer Transportmittel eine wichtige Rolle. Wird beispielsweise bei steigenden Benzinpreisen der ÖV verbilligt oder die Angebotsqualität verbessert, wird das Umsteigen gefördert und die Preiserhöhungen werden sich stärker auf das Nachfrageverhalten auswirken. Die Preissensibilität steigt tendenziell je besser die Alternativen (Routenwahl, Verkehrsträger oder Qualitätsmerkmale) sind.

Die vorhandenen Datengrundlagen erlauben insbesondere die Auswirkungen von Benzinpreiserhöhungen und Fahrzeugsteuern als Teil der variablen Kosten auf das Nachfrageverhalten zu untersuchen. Dagegen gibt es keine statistischen Angaben zu den verschiedenen Formen von Gebühren. Aus Sicht verschiedener Studien wären insbesondere repräsentative Erhebungen zu Veränderungen der Parkgebühren wünschenswert. Gemäss Litman (2006) sind Automobilisten besonders sensibel auf Parkgebühren, weil sie als die direkteste Form einer out-of-pocket Ausgabe wahrgenommen wird. Der Einfluss ist um einen Faktor 1,5 bis 2 stärker als bei Abgaben auf Fahrten.



In den letzten Jahren wurden auch zahlreiche Übersichtsstudien zu Nachfrageelastizitäten verfasst. Diese „Metastudien“ vermitteln einen interessanten Einblick in die Reaktionsmuster in verschiedenen Ländern auf aggregierter Ebene. Sie belegen insbesondere das breite Spektrum an Nachfrageelastizitäten, wie aus Tabelle 70 deutlich ersichtlich wird. Dabei wird zwischen kurz- und langfristigen Elastizitäten unterschieden. Kurzfristige Nachfrageveränderungen beziehen sich wesentlich auf taktisches Verhalten. Es umfasst weniger oder kürzere Fahrten bezüglich der Fahrleistungen oder Änderungen des Fahrstils, wenn der Treibstoffverbrauch berücksichtigt wird. Langfristige Nachfrageelastizitäten umfassen neben den kurzfristigen Reaktionen auch strategische Entscheide wie die Wahl des Wohnortes, Arbeitsplatzes oder des Verkehrsmittelbesitzes.

Tabelle 70 Kurzfristige (SR) und langfristige (LF) Preis – und Einkommenselastizitäten in den OECD – Staaten (Quelle: Sterner et al. 1992)

	<i>Price Elasticities</i>				<i>Income elasticities</i>			
	SR		LR		SR	LR		
Canada	-0.25	(0.06)	-1.07	(0.24)	0.12	(0.09)	0.53	(0.40)
US	-0.18	(0.03)	-1.00	(0.15)	0.18	(0.07)	1.00	(0.38)
Austria	-0.25	(0.11)	-0.59	(0.26)	0.51	(0.23)	1.19	(0.54)
Belgium	-0.36	(0.05)	-0.71	(0.09)	0.63	(0.19)	1.25	(0.39)
Denmark	-0.37	(0.06)	-0.61	(0.10)	0.34	(0.08)	0.71	(0.17)
Finland	-0.34	(0.15)	-1.10	(0.47)	0.39	(0.24)	1.26	(0.76)
France	-0.36	(0.08)	-0.70	(0.15)	0.64	(0.23)	1.23	(0.43)
Germany	-0.05	(0.07)	-0.56	(0.82)	0.04	(0.16)	0.48	(1.92)
Greece	-0.23	(0.11)	-1.12	(0.52)	0.41	(0.19)	2.03	(0.93)
Ireland	-0.21	(0.04)	-1.62	(0.33)	0.12	(0.14)	0.93	(1.06)
Italy	-0.37	(0.13)	-1.16	(0.40)	0.40	(0.17)	1.25	(0.52)
Netherlands	-0.57	(0.11)	-2.29	(0.46)	0.14	(0.13)	0.57	(0.52)
Norway	-0.43	(0.13)	-0.90	(0.28)	0.63	(0.20)	1.32	(0.42)
Portugal	-0.13	(0.07)	-0.67	(0.34)	0.37	(0.18)	1.93	(0.94)
Spain	-0.14	(0.17)	-0.30	(0.37)	0.96	(0.45)	2.08	(0.98)
Sweden	-0.30	(0.09)	-0.37	(0.11)	0.51	(0.30)	0.99	(0.59)
Switzerland	0.05	(0.16)	0.09	(0.28)	0.85	(0.29)	1.54	(0.53)
UK	-0.11	(0.07)	-0.45	(0.27)	0.36	(0.20)	1.47	(0.81)
Australia	-0.05	(0.02)	-0.18	(0.07)	0.18	(0.07)	0.71	(0.29)
Japan	-0.15	(0.03)	-0.76	(0.17)	0.15	(0.01)	0.77	(0.06)
Turkey	-0.31	(0.06)	-0.61	(0.11)	0.65	(0.16)	1.29	(0.32)
Mean	-0.24	(0.09)	-0.79	(0.29)	0.41	(0.18)	1.17	(0.62)

Note: Standard errors are given in parentheses.

Source: Sterner *et al.* (1992)

Das aggregierte Verkehrsaufkommen entspricht damit einer Überlagerung von kurz- und langfristigen Entscheidungen. In der Regel sind die langfristigen Elastizitäten deutlich höher als die kurzfristigen, weil sie beide Reaktionsmuster beinhalten.

Schlussfolgerungen aus solchen Studien lassen sich nur beschränkt ziehen, da mehrheitlich weder die Quellen für die Datengrundlagen überprüft werden können, noch die verwendeten Berechnungsmethoden bekannt sind. Die Übertragbarkeit dieser Werte ist in jedem Fall problematisch, da die Rahmenbedingungen und Möglichkeiten für alternative Verkehrsmittel, welche auf das Nachfrageverhalten einwirken, nicht bekannt sind und die Verkehrsnachfrage in verschiedenen Ländern unterschiedlich beeinflusst wird.

Bemerkenswert ist in Tabelle 70 der positive Wert für die Preiselastizität in der Schweiz. Die Schweiz ist das einzige Land mit einer positiven Elastizität, die allerdings nicht weiter kommentiert wird. Dieser Wert entspricht einer Nachfragezunahme bei steigenden Preisen, was der ökonomischen Rationalität eigentlich widerspricht. Dagegen werden für alle anderen Länder negative Werte aufgeführt. Daraus wird deutlich, dass die Bedeutung der Elastizität allein anhand eines Wertes kaum erfasst werden kann. Aus diesem Grunde ist es notwendig, den Kontext, in dem diese Werte erhoben werden, zu zeigen. Aus diesen Überlegungen heraus wird im folgenden Abschnitt die Nachfrageentwicklung mit einigen wichtigen Strukturmerkmalen aufgezeigt.

Graham und Glaister (2002) nehmen aus einer anderen Perspektive eine Literaturanalyse vor. Sie gehen von einem konzeptionellen Rahmen aus, in dem die nachfragebeeinflussenden Hauptkomponenten und ihre gegenseitigen Abhängigkeiten dargestellt werden. Insbesondere verknüpfen sie den Benzinpreis mit der Effizienz eines Fahrzeuges. Anhand dieses Konzepts wird die Literatur zu den Nachfrageelastizitäten kritisch durchleuchtet. Ohne an dieser Stelle näher auf diese Studie einzugehen, können folgende Schlussfolgerungen übernommen werden:

- 1) Die Verkehrsnachfrage im MIV reagiert sowohl kurz- wie auch langfristig stärker auf Fahrzeitverlängerungen als auf Benzinpreiserhöhungen.
- 2) Der Fahrzeugbesitz weist eine langfristig hohe positive Einkommenselastizität und eine stark negative Elastizität bezüglich der Gesamtfahrzeugkosten auf.

Für die Schweiz liegt eine umfassende Studie zu Sensitivitäten von Angebots- und Preisveränderungen im Personenverkehr von PROGROS (Vrtic, M. et al., 2000) vor. In dieser

Studie werden Elastizitäten aus verschiedenen Datenquellen für die Schweiz erhoben und ermittelt. Neben der Schätzung dieser Elastizitäten werden in der Studie verschiedene methodische Probleme eingehend diskutiert und auf die Möglichkeiten und Grenzen bei der Interpretation von Elastizitäten aufmerksam gemacht.

Eine Untersuchung zu den Auswirkungen von kurzfristigen Benzinpreiserhöhungen auf die Nachfrage ist im Jahr 2002 von INFRAS (Peter, M. et al., 2002) realisiert worden. Diese Studie zeigt einerseits, dass der Benzinpreis weitgehend durch den Importpreis und die Steuerbelastung bestimmt wird, während sich die Nachfrageänderungen kaum auf den Säulenpreis auswirken. Eine weitere Erkenntnis betrifft den sehr geringen Einfluss der Benzinpreiserhöhungen auf den Treibstoffabsatz. Ebenfalls wird hervorgehoben, dass der Benzinverbrauch respektive die Treibstoffeffizienz beim Kauf von Neuwagen eine untergeordnete Rolle spielen.

Diese Studien und insbesondere die PRONOS-Studie (Vrtic, 2000) heben die breite Streuung von Elastizitäten hervor und unterstreichen die Bedeutung der Rahmenbedingungen, geographischen Gegebenheiten, Methoden und Datengrundlagen für die jeweiligen Elastizitäten, welche nicht als allgemein gültige Grössen verstanden werden sollten. Eine weitere Schwierigkeit bei der Interpretation von Elastizitäten ergibt sich aus der Kombination verschiedener Massnahmen. In der Regel wird von einer kumulativen Wirkung ausgegangen. Es gibt aber auch Situationen in denen sich die Wirkungen gegenseitig verstärken können.

In der Nationalfondsstudie zum Nutzen des Verkehrs konnten Maggi et al. (2000) den Zusammenhang zwischen der Zahlungsbereitschaft und den zurückgelegten Kilometern aus einer Stichprobe der Mikrozensusdaten ohne demographische Angaben anhand einer hedonischen Preisgleichung schätzen. Die Ergebnisse weisen auf eine degressive Zahlungsbereitschaft resp. inverse Mobilitätsnachfrage bei zunehmender zurückgelegter Distanz hin.

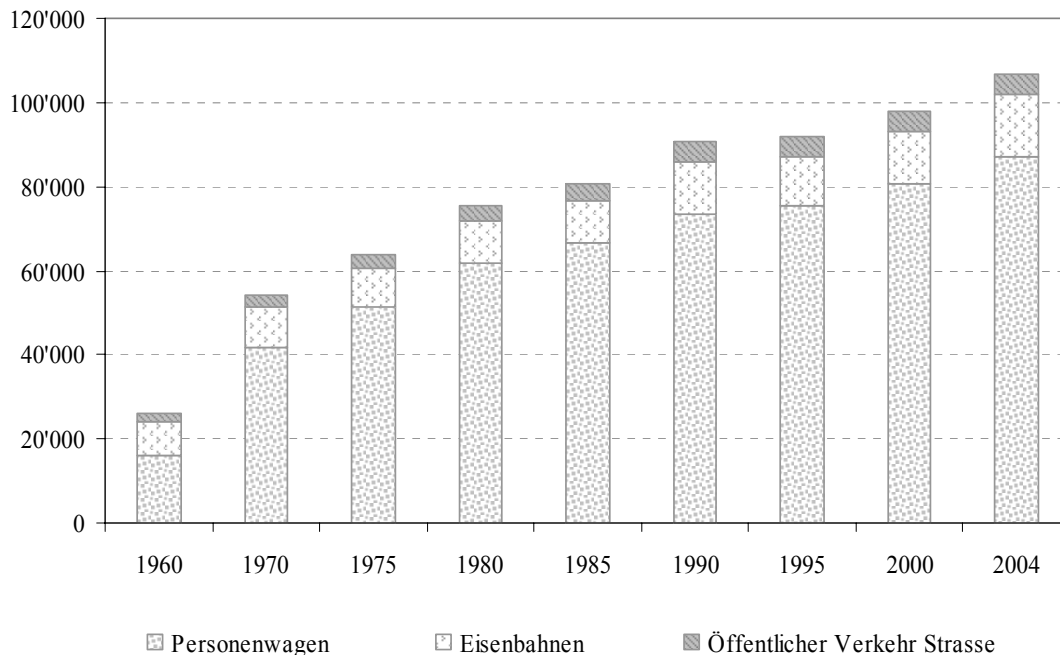
Neben diesen vorliegenden Ergebnissen kann bei der Untersuchung des Mobilitätsverhaltens davon ausgegangen werden, dass auf Preisänderungen verschiedener Massnahmen nicht nur unterschiedlich reagiert wird, sondern auch die Ausgangshöhe resp. das erreichte Preisniveau eine zentrale Bedeutung auf die Wirkungen haben. Elastizitäten, als Mass für die Auswirkungen marginaler Änderungen, können grundsätzlich nicht dazu verwendet werden, die Bedeutung der Höhe der Preisänderungen zu erfassen oder sogenannte Schwellenwerte zu bestimmen. Dieser Tatsache ist bei der Interpretation erhobener Elastizitäten Rechnung zu tragen und sie ist bei der Einführung neuer Mobilitätspreise zu berücksichtigen. Als weitere

Elemente zur Interpretation von Elastizitäten dienen die folgenden Ausführungen über die Entwicklung der Mobilitätsnachfrage.

### 12.3 Entwicklung der Gesamtnachfrage

Die Nachfrageentwicklung lässt sich auf verschiedene Arten definieren. Die gesamte Mobilitätsnachfrage ist, gemessen an beförderten Personen, Personenkilometern oder Fahrzeugkilometern auf den wichtigsten Verkehrsträgern, in den vergangenen 45 Jahren kontinuierlich gestiegen, wie Abbildung 48 deutlich zeigt.

Abbildung 48 Entwicklung der Verkehrsleistungen im Personenverkehr auf der Strasse und Schiene (in Mio. Personenkilometern)

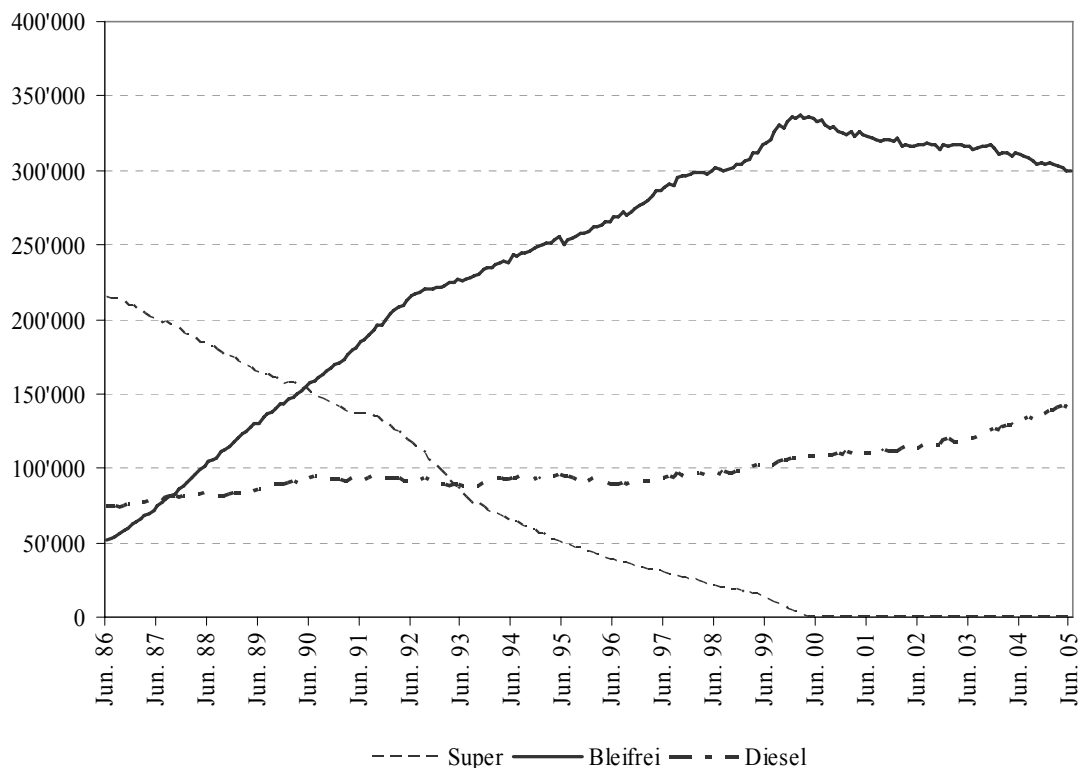


Die Abbildung 48 belegt eindeutig, dass der Löwenanteil der Verkehrsleistungen im Personenverkehr durch den MIV geleistet wird, der in den letzten 45 Jahren auch die höchsten Zuwachsraten aufweist. Die Verkehrsleistung im ÖV auf Strasse und Schiene hat sich in der Zeitperiode von 1960 bis 2004 rund verdoppelt. Die Fahrleistungen in Personenkilometern im

privaten Strassenverkehr sind in der gleichen Periode um mehr als das Fünffache gestiegen. Die Entwicklung der Verkehrsleistungen der Eisenbahn entspricht ziemlich genau derjenigen des privaten Konsums und des Bruttoinlandproduktes, wie in einer früheren Studie gezeigt werden konnte (Rossera und Rudel, 2002).

Neben dieser Zunahme der Fahrleistung des MIV hat auch der Besitz von Mobilitätswerkzeugen bemerkenswert zugenommen. Die private Personen-Fahrzeugflotte in der Schweiz ist seit 1960 von rund 0.5 Mio. Fahrzeugen auf 3.8 Mio. Fahrzeuge im Jahr 2005 gestiegen. Dies entspricht einer Zunahme von 93 Fahrzeugen auf 513 Personenwagen pro 1'000 Einwohner. Die Fahrleistungen pro Fahrzeug und Jahr sind in der gleichen Zeitperiode im Durchschnitt von 16'000 km auf rund 14'000 km leicht zurückgegangen.

Abbildung 49 Entwicklung des monatlichen Treibstoffabsatzes in der Schweiz anhand des gleitenden Mittelwertes (Quelle: Schweizerische Erdölvereinigung, Carbura)

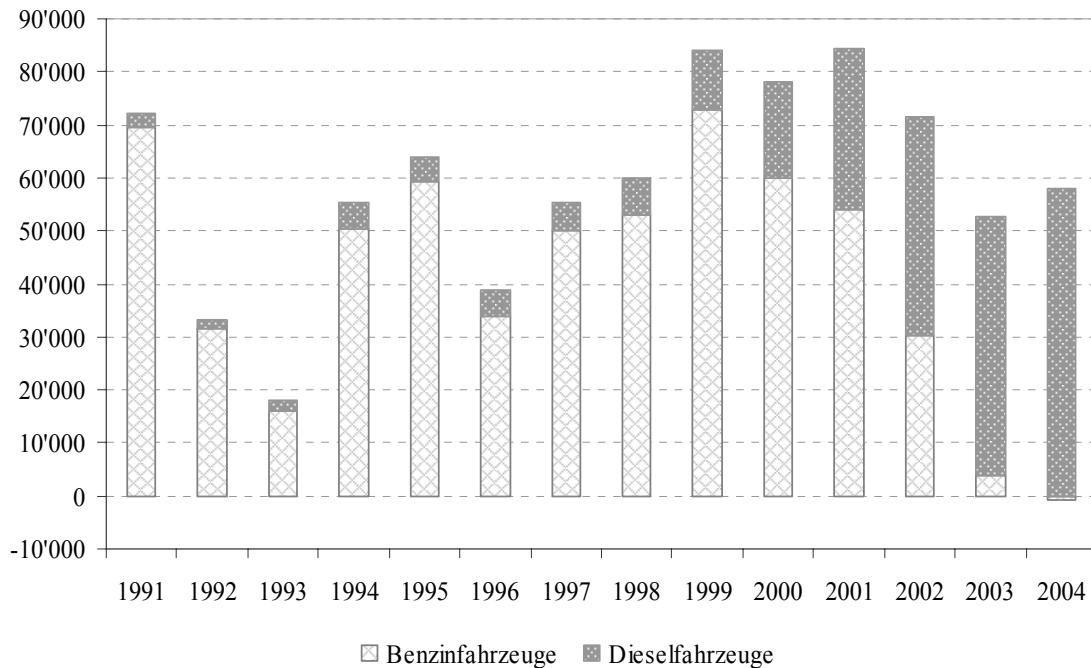


Als wichtige Datenquelle zur Erhebung von Nachfrageelastizitäten im Verkehr dient der Treibstoffabsatz. Der Treibstoffabsatz ist ein Indikator für den Treibstoffverbrauch, welcher mehrere Verhaltensfaktoren und technische Eigenschaften der Fahrzeugflotte widerspiegelt.

Er ist direkt von der Fahrleistung, der Effizienz der Fahrzeugflotte und dem Fahrstil abhängig. Als weiterer Faktor spielt beim Treibstoffabsatz auch der Preisunterschied mit den umliegenden Ländern und dem daraus entstehenden Tanktourismus eine Rolle. In Abbildung 49 wird der monatlich Treibstoffabsatz für die wichtigsten Treibstoffarten (ausgenommen ist das Kerosin für den Flugverkehr) im Zeitraum von 1986 bis 2005 aufgezeigt. Der Verlauf der verschiedenen Treibstoffarten lässt sich deutlich ablesen. Von 1986 bis 2000 geht der Absatz von verbleitem Superbenzin bis zum Verbot kontinuierlich zurück, während das bleifreie Benzin stark zunimmt und der Dieselabsatz praktisch stabil verläuft. Nach 1998 flacht die Zunahme des bleifreien Benzinabsatzes ab und beginnt im Jahr 2000 sogar zu sinken, während der Dieselabsatz leicht steigende Tendenz aufweist. Inwiefern der Absatz von Dieseltreibstoffen auf die Zunahme von Dieselfahrzeugen oder auf den Schwerverkehr zurückgeht, den sogenannten Switchingeffekt, kann auf Grund der verfügbaren Daten nicht bestimmt werden. Unbestritten ist aber der Trendbruch in der Absatzentwicklung von bleifreiem Benzin im Jahr 2000.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Treibstoffabsatzes ist auf die Veränderung der Fahrzeugflotte hinzuweisen. Insbesondere ist der Anstieg der neu in Verkehr gesetzten Dieselfahrzeuge interessant. Dieselfahrzeuge haben einen niedrigeren Verbrauch als Benzinfahrzeuge und der vermehrte Kauf von Dieselfahrzeugen kann als strategisches Nachfrageverhalten auf steigende Treibstoffpreise interpretiert werden. Dabei zeigt sich, dass Haushalte mit einem durchschnittlich höheren Verkehrsaufkommen eher auf Dieselfahrzeuge umsteigen.

Abbildung 50 Jährliche Veränderung des Personenwagenbestandes (Quelle: BfS, Neuchâtel, 2006)



Wie Abbildung 50 deutlich zeigt, geht die Zunahme der Fahrzeugflotte in der Schweiz immer mehr auf den Kauf von Dieselfahrzeugen zurück. Im Jahr 2004 ist der Bestand von Benzinfahrzeugen sogar leicht zurückgegangen. Diese starke Zunahme der Dieselfahrzeuge soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass ihr Anteil an der Gesamtflotte 2004 noch nicht mehr als 8.2% ausmachte. Bereits 1993 hat Schipper (Schipper, 1993) auf diesen Trend zu Dieselfahrzeugen in einigen europäischen Ländern hingewiesen. Bei Einschätzung der Wirkung der Benzinpreisentwicklung muss diese Entwicklung unbedingt berücksichtigt werden.

Selbstverständlich muss diese Umschichtung von Benzin- zu Dieselfahrzeugen auch bei der Entwicklung des Treibstoffabsatzes einbezogen werden. Umso mehr, da sie noch von der Tendenz hin zu grösseren resp. teureren Fahrzeugen begleitet wird, was sich auch in der starken Zunahme von Fahrzeugen mit einem Hubraum grösser als 1800ccm seit 1993 niederschlägt, während die Anzahl Fahrzeuge mit einem kleineren Hubraum stagniert.

## 12.4 Elastizitäten der Gesamtnachfrage (Makroebene)

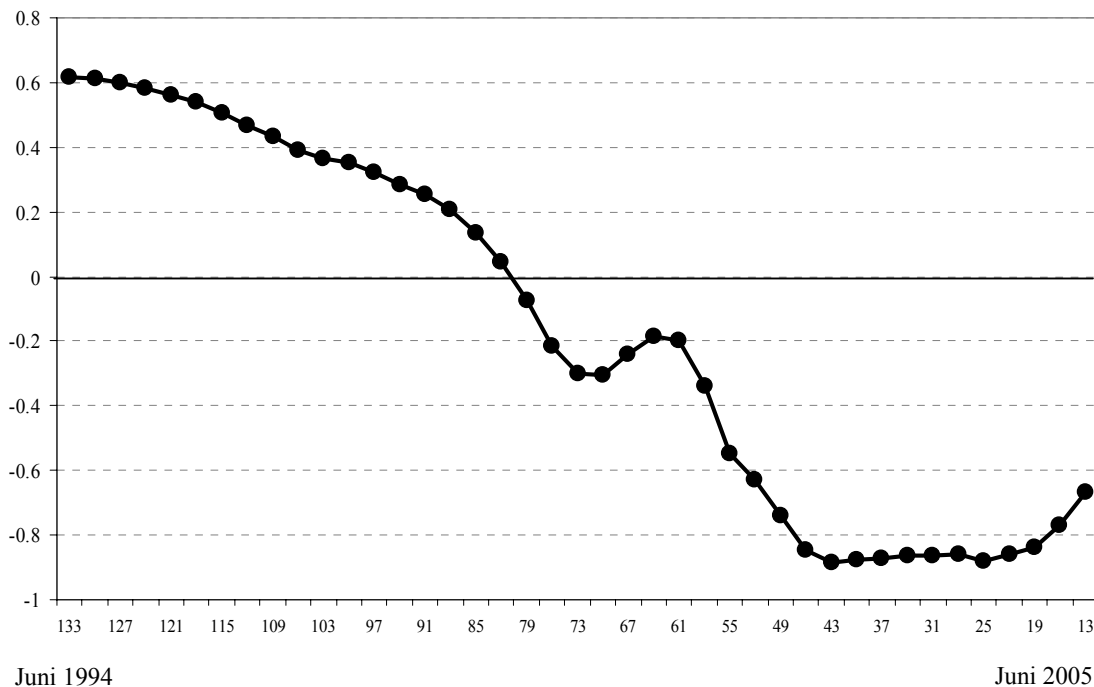
Auf dem Hintergrund dieser Strukturdaten soll in diesem Abschnitt eingehend der Zusammenhang zwischen der Treibstoffpreisentwicklung und dem Treibstoffabsatz untersucht werden. Der Treibstoffabsatz gilt als Indikator für die Mobilitätsnachfrage im Strassenverkehr. Benzinpreisänderungen werden sehr oft als zentraler Faktor betrachtet, der sich kurzfristig auf die Verkehrsnachfrage, das Verkehrsverhalten (Fahrstil) oder langfristig auf den Kauf von effizienteren Fahrzeugen auswirkt.

Im Vordergrund steht in diesem Abschnitt die Analyse der Quartalsdaten für den Benzinabsatz und die -preisentwicklung vom Juni 1994 bis Juni 2005. Die Daten wurden uns von der Erdölvereinigung Carbura zur Verfügung gestellt. Der Verlauf des Benzinabsatzes ab Zollfreilager weist hohe monatliche Schwankungen auf. Mit verschiedenen Methoden wurde versucht, diese Fluktuationen zu erklären und auf saisonale Veränderungen zurückzuführen. Die einzige gefundene Regelmässigkeit betrifft den jeweiligen Absatz-Rückgang gegen Jahresende. Die hohen Schwankungen wurden mit dem mobilen Mittelwert für die folgende Analyse geglättet.

Im Gegensatz zu früheren Studien zur Auswirkung von Benzinpreisveränderungen liegt in dieser Untersuchung der Trendbruch im Benzinabsatz im Jahre 2000 praktisch in der Mitte der verfügbaren Zeitreihe, was sich bei der Bestimmung der Elastizitäten stark auswirkt. In einem ersten Schritt wurde daher der Zusammenhang zwischen Benzinpreisentwicklung und -absatz für verschieden lange Zeitperioden systematisch bestimmt. Die Angabe für die Zeitperioden erfolgt in Monaten auf der x-Achse. Alle untersuchten Zeitreihen enden im Juni 2005. Die Zeitreihen wachsen entsprechend von rechts nach links (enthalten mehr Beobachtungen) und reichen in der Zeit immer weiter zurück. In Abbildung 51 sind die entsprechenden Korrelationskoeffizienten für jede einzelne Zeitperiode aufgeführt.



Abbildung 51 Koeffizienten aus der Korrelation zwischen dem Benzinabsatz und dem Benzinpreis für unterschiedlich lange Zeitperioden (Anzahl Monate)



Die Korrelationskoeffizienten für die Zeitintervalle länger als 80 Monate, d. h. Zeitreihen die vom Juni 2005 weiter als bis zum Januar 2000 zurückreichen, sind positiv und ansteigend. Für kürzere Zeitreihen (unter 80 Monaten) wechselt das Vorzeichen der Koeffizienten, womit der Bruch in der Entwicklung des Benzinabsatzes gezeigt werden kann. Wird der Zusammenhang zwischen dem Benzinabsatz und der Benzinpreisentwicklung über den ganzen Zeitraum vom Juni 1996 bis Juni 2005 betrachtet, so ergibt sich ein positiver Zusammenhang. Dies bedeutet, dass der Benzinabsatz mit steigendem Benzinpreis zunimmt. Wird dagegen der betrachtete Zeitraum verkürzt, kann eine negative Relation aufgezeigt werden.

Anhand von diesen Ergebnissen wird ersichtlich, wie entscheidend die Wahl der Zeitperiode für die Bestimmung der Korrelationskoeffizienten bei der gegebenen Absatzentwicklung in der Schweiz ist. Es war zu vermuten, dass sich dieser Trendbruch in den Absatzzahlen auch bei der Bestimmung der Preiselastizitäten auswirken würde. In Abbildung 52 werden die Elastizitäten wiederum für verschiedene Zeiträume bezüglich des Benzinpreises und dem

Bruttoinlandprodukt dargestellt. Die Preiselastizität für den Benzinabsatz schwankt in einer ganz schmalen Bandbreite von weniger als  $\pm 0.05$  um den Nullwert.

Damit wird deutlich wie unelastisch die Benzinnachfrage auf den Preis reagiert. Je nach Zeitraum ändert sich sogar das Vorzeichen der Preiselastizität. Wird beispielsweise nur der Zeitraum vom Januar 2000 bis Juni 2005 betrachtet, so kann von einer negativen Preiselastizität ausgegangen werden. Wird dagegen der ganze Zeitraum in Betracht gezogen so ändert sich das Bild insofern, als dass das Vorzeichen der Preiselastizität positiv wird. Daraus wird ersichtlich wie wichtig es ist, die Entwicklung zu kennen und sich nicht einfach nur auf einen Wert zu beschränken.

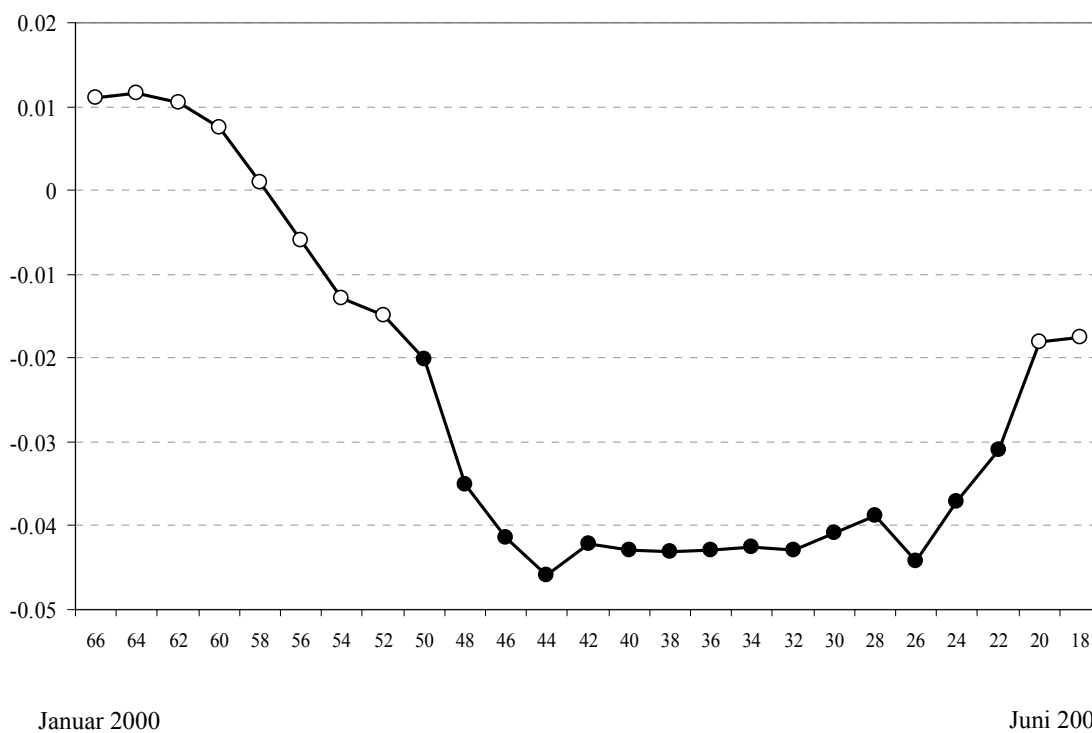
Abbildung 52 Elastizitäten des Treibstoffabsatzes für unterschiedlich lange Zeitperioden (in Anzahl Monate)



Die Veränderungen des Bruttoinlandproduktes (Wirtschaftswachstum) wirken sich ausgeprägter auf den Benzinabsatz aus als die Benzinpreisschwankungen. Dies gilt sowohl für die längeren Zeitperioden mit Elastizitäten im positiven Bereich, als auch für die kürzeren

Zeiträume mit negativen Werten. Die negativen Elastizitäten sind einerseits mit einem leicht sinkenden Bruttoinlandprodukt bei gleichzeitiger Zunahme des Benzinabsatzes (von 06.97 bis 12.99) resp. mit einem Rückgang des Benzinabsatzes bei steigendem Bruttoinlandprodukt seit Mitte 2000 zu erklären.

Abbildung 53 Preiselastizitäten für den Zeitraum nach dem Trendbruch im Benzinabsatz für verschieden lange Zeiträume (Anzahl Monate). Fett gedruckte Punkte sind statistisch signifikant.



Auf dem Hintergrund dieser Ergebnisse dürfte deutlich werden, dass einzelne Werte für die Preiselastizität mit äußerster Vorsicht interpretiert werden müssen. Weiter gilt es auch zu bedenken, dass die Elastizität gemessen an einzelnen Faktoren stark von einer Elastizität bezüglich der Gesamtkosten abweichen kann, weil einzelne Faktoren - wie beispielsweise die Benzinkosten - nur einen relativ geringen Anteil der gesamten Mobilitätskosten betragen. Auch in der Literatur wird immer wieder darauf hingewiesen, dass Konsumenten auf die Veränderung der Preise einzelner Komponenten relativ unelastisch reagieren können, während sie auf die Erhöhung der Gesamtkosten stärkere Nachfrageveränderungen zeigen. Inwiefern dieses Argument auch empirisch gilt, kann anhand der vorliegenden Daten nicht beantwortet werden.

**Exkurs Tanktourismus:** In der Schweiz sind die Benzinpreise tiefer als in den umliegenden Nachbarländern. Dies führt dazu, dass Autofahrer aus grenznahen Gebieten auf Grund der tieferen Preise in der Schweiz tanken und der Treibstoffabsatz für Benzin in der Schweiz höher ist als der nach dem Territorialprinzip berechnete Verbrauch. Über den Benzinabsatz im Tanktourismus gibt es keine statistischen Erhebungen, da allein schon die Abgrenzung des Phänomens problematisch ist. Ein weiterer Grund liegt darin, dass sich die Differenzen zum umliegenden Ausland, gemäss den regelmässigen Erhebungen der Oberzolldirektion, sehr unterschiedlich entwickelt haben. Schätzungen über den Anteil des Tanktourismus am Gesamtabsatz in der Schweiz und damit auch über die Einkünfte aus der Mineralölsteuer gehen in verschiedenen Studien stark auseinander. Während Infrac (1999) 6-13% des gesamten Benzinabsatzes in der Schweiz auf den Tanktourismus zurückführt, schätzen ihn Banfi, Filippini und Hunt (2006) auf 9% des Absatzes in einer etwa 5 km breiten Grenzzone ein.

Diese Studien zeigen jedoch deutlich, dass im Tanktourismus sensibel auf die Benzinpreisänderungen reagiert und damit der Treibstoffabsatz in der Schweiz beeinflusst wird. Für den Dieseltreibstoff erfolgt der Tanktourismus in umgekehrter Richtung. Angaben zu dieser Art von Tanktourismus fehlen noch gänzlich.

Im vorliegenden Zusammenhang interessieren mögliche Auswirkungen einer Mobilitätsbepreisung auf den Tanktourismus und der daraus folgenden Verringerung der Mineralölsteuereinnahmen. Ein Mobility Pricing wird sich jedoch nur auf den Tanktourismus auswirken unter der Voraussetzung, dass es über den Benzinpreis erhoben wird und das Preisdifferential zwischen der Schweiz und dem Ausland nachhaltig verringert wird. Gemäss der Preiselastizität von Banfi et al. (2006) würde eine Verringerung der Preisdifferenz um 10% zu einem Rückgang des Benzinabsatzes in den Grenzregionen von 17,5% führen. Eine Reduktion des Preisdifferentials im Jahr 2000 durch die Gewährung eines Rabatts in den grenznahen Gebieten der Lombardei in der Höhe von 15-30 Rappen pro Liter Benzin hatte nach einer Schätzung vom Bund zu einer Einbusse an Mineralölsteuern in der Höhe von 150 Mio. CHF oder rund 3% der Gesamteinnahmen dieser Steuer geführt (NZZ, 8.01.2001).

## 12.5 Individuelle Nachfrageelastizitäten (Mikroebene)

In diesem Abschnitt soll gezeigt werden wie sich Preisänderungen verschiedener Kostenkomponenten der Mobilität auf individueller Ebene auf die Nachfrage nach Verkehrsleistungen auswirken.

Weiter oben wurde auf die Schwierigkeiten hingewiesen, die sich ergeben, wenn die Benzinnachfrage als Ersatzgrösse für die Mobilitätsnachfrage verwendet wird. Aus diesem Grund gehen wir in den folgenden Überlegungen direkt von der Fahrleistung aus, obwohl die meisten Studien den Benzinabsatz zur Mobilitätsnachfrage im Strassenverkehr verwenden. Grundsätzlich wird die Verkehrsnachfrage durch die generalisierten Kosten bestimmt, welche aus den folgenden Komponenten bestehen.

- Fixkosten: Kapitalkosten, Abschreibungen, Fahrzeugentwertung, Versicherungen, kantonale Fahrzeugsteuern;
- Variable Kosten: Treibstoffkosten, Unterhaltskosten, Kosten für die Reifen, Strassen- und Parkgebühren;
- Zeitwerte, beeinflusst durch das Einkommen und den Fahrtzweck.

Das allgemeine Konzept der generalisierten Kosten enthält Kostenkomponenten, die einerseits durch den Fahrzeugkauf und andererseits durch den Gebrauch des Mobilitätswerkzeugs und den Zeitwert bestimmt werden. Diese Untersuchung geht von der Annahme aus, dass die Anschaffung und der Gebrauch eines Fahrzeugs unterschiedliche Aspekte des Mobilitätsverhaltens darstellen, welche analytisch getrennt erfasst werden müssen. Es wird davon ausgegangen, dass der Kaufentscheid eines gewissen Fahrzeugtyps mit entsprechendem Hubraum aufgrund von Kriterien oder Bedürfnissen (Familienwagen, Sportwagen, Kleinfahrzeug oder SUV) erfolgt, welche vorerst unabhängig von späteren Unterhalts- und Treibstoffkosten sind. Bei der Benutzung des erworbenen Fahrzeuges kann dann eine Preissensibilität für die variablen Kosten einsetzen. Bei diesem Verhalten spielt selbstverständlich die Entwicklung des realen Kaufpreises eines Fahrzeuges, welche allgemein sogar rückläufig war (Frei, 2005), und die steigenden realen variablen Kosten eine grosse Bedeutung. Falls sich diese Annahme empirisch bestätigen sollte, könnten daraus Rückschlüsse über die unterschiedlichen Wirkungen verschiedener Ansätze der Mobilitätsbepreisung gezogen werden.

In Anlehnung an die Arbeiten von Graham und Glaister (2002) werden die nachfragebestimmenden Faktoren in einem Wirkungsschema in der Abbildung 54 dargestellt. Dieses Schema dient als Grundlage für die empirische Schätzung der Stärke dieser Faktoren auf die Mobilitätsnachfrage und den Fahrzeugbesitz nach regressionsanalytischem Vorgehen. Im konkreten Fall wurde aus diesen Überlegungen heraus zwischen reinen Mobilitätskosten,

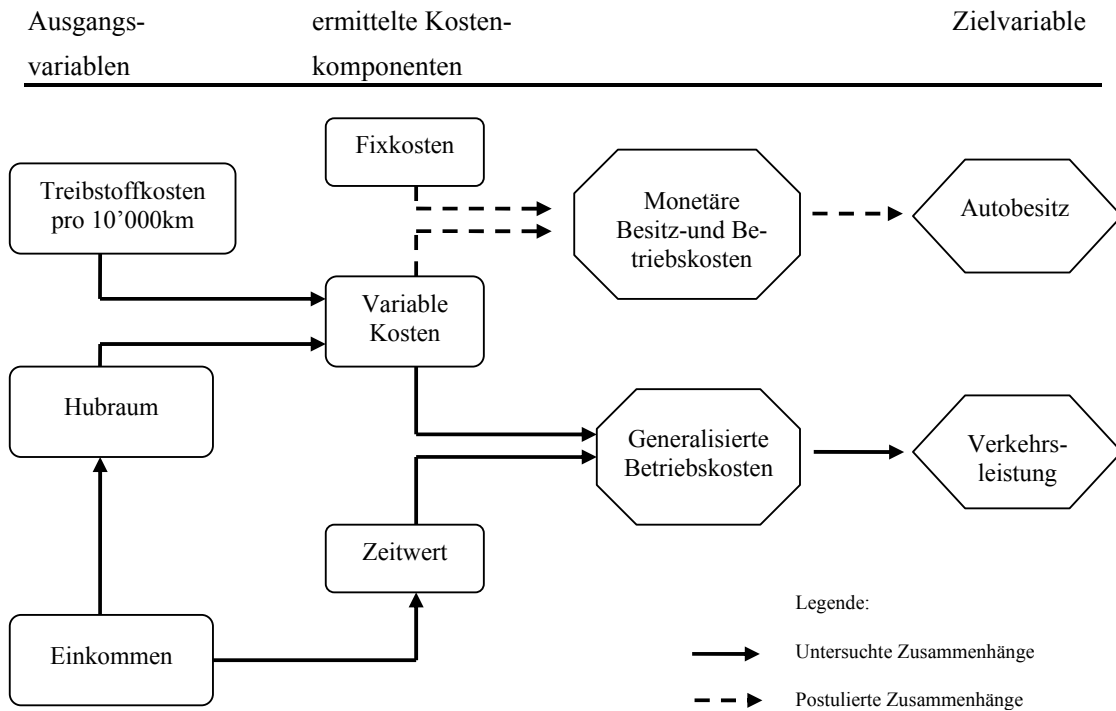
welche aus Fix- und variablen Kosten bestehen, und generalisierten Betriebskosten, welche die variablen Kosten und die Zeitwertkomponente enthalten, unterschieden.

Im Vordergrund der Untersuchung auf Mikroebene steht die jährliche Nachfrage nach Verkehrsleistungen. Nach dem folgenden Schema wird die abhängige Variable durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Die Einflussstärken sollen in einer Regression geschätzt werden. Die unabhängigen Ausgangsvariablen sind insbesondere der Hubraum und die Treibstoffkosten für eine bestimmte Distanz, welche nicht mit dem Treibstoffpreis zu verwechseln sind. Die Treibstoffkosten wurden aus dem Alter und damit dem Stand der Energieeffizienz des Fahrzeuges und dem Hubraum abgeleitet. Die Treibstoffkosten beziehen sich im vorliegenden Falle auf 10'000 km.

An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass die Treibstoffkosten, und generell die variablen Kosten, im Verhältnis zu den Anschaffungskosten mit dem Alter des Fahrzeuges und dem Hubraum zunehmen. Das bedeutet umgekehrt aber auch, dass bei Neufahrzeugen mit grossem Hubraum die Treibstoffkosten nur einen bescheidenen Anteil der Gesamtkosten ausmachen, womit bei solchen Fahrzeugbesitzern eine geringe Preissensibilität zu erwarten ist. Neben den technischen „Faktoren“ fließt auch das Einkommen in die Modellschätzung mit ein.

Die Zeitwerte im Personenverkehr sind vom Einkommen, der zurückgelegten Distanz und dem Fahrtzweck abhängig. Ein Zeitwert ist auf der Grundlage der Mikrozensusdaten für die jährliche Gesamtverkehrsleistung nicht möglich. Da aber der Zeitwert eine wichtige Komponente der generalisierten Betriebskosten darstellt, wurde in erster Annäherung das Einkommen in die Regressionsgleichung eingeführt. Daraus ergibt sich das Grundsche ma, welches zur Bestimmung der Nachfrageelastizität dient.

Abbildung 54 Wirkungsschema der nachfragebestimmenden Faktoren



Datengrundlage bilden die Querschnittsdaten der Mikrozensushebung zum Mobilitätsverhalten in der Schweiz aus dem Jahre 2000. Aus dem Datenset des Mikrozensus wurden für die Modellschätzung und die Bestimmung der Einflussstärke der verschiedenen nachfragebestimmenden Größen folgende Variablen verwendet:

- Haushaltsbezogene Variablen: Einkommen, Anzahl Personen, Anzahl Fahrzeuge pro Haushalt, Standort des Haushalts nach Agglomerationstyp,
- Fahrzeugbezogene Variablen: Hubraum pro Fahrzeug, Jahr der Inverkehrsetzung
- Fahrleistungsbezogene Variablen: Kilometerleistung pro Jahr und Fahrzeug, hauptsächlicher Verwendungszweck.

Dieses Set von Variablen aus dem Mikrozensus ist durch weitere Variablen ergänzt worden.

- Haushaltsbezogene Größen: Erreichbarkeitsindex ÖV und MIV (ETHZ\_IVT)
- Fahrzeugbezogene Variablen: Realer Kaufpreis, Variable und fixe Kosten pro 10'000km Fahrleistung, Treibstoffkosten pro 10'000km.

Diese Daten wurden für rund 20'000 Fahrzeuge aufgearbeitet. Tabelle 71 enthält die wichtigsten statistischen Eckwerte dieser Variablen.

Tabelle 71 Eckwerte der verwendeten Variablen aus dem Mikrozensus 2000

	Mittelwert	Standardabweichung	Median	Min.	Max.
Fahrleistung pro Fz. in km	13'285	9'851	11'000	3	120'000
Kilometerstand pro Fz. in km	88'017	65'494	78'000	0	999'999
Variable Kosten pro Fz. in CHF	2'816	1'164	2'468	1'266	5'201
Fixkosten pro Fz. in CHF	6'614	3'210	5'337	2'055	14'522
Treibstoffkosten pro Fz. in CHF	1'444	389	1'436	759	3'277
Monatliches Haushalts einkommen in CHF	9'805	7'836	7'000	1'500	105'000
Anzahl Personen im Haushalt	3	1	2	1	15
Anzahl Fahrzeuge /Haushalt	2	1	1	1	7
Realer Wert Fahrzeug- park/Haushalt	50'400	37'825	43'583	2'828	479'302
Haushaltsbezogene Fahrzeugsausgaben in CHF	12'690	8'072	11'432	3'596	112'050

Die fahrzeugbezogenen Variablen aus dem Mikrozensus erlauben keine direkten Aussagen über die variablen und Fixkosten. Diese Grössen wurden aus den Angaben zur Hubraumgrösse, dem Jahr der Inverkehrsetzung und der gefahrenen Kilometer nach den Angaben des TCS „Autokosten“ (2006 und frühere Jahrgänge) errechnet. Für jede Hubraumkategorie wurde der Treibstoffverbrauch aufgrund des durchschnittlichen Flottenverbrauches in dieser Kategorie abgeleitet. Weiter wurde ein Effizienzgewinn durch technologische Verbesserungen in der Grössenordnung von durchschnittlich 3% pro Jahr vorausgesetzt. Damit der Verbrauch für ältere Fahrzeuge nicht allzu gross wurde, nahm dieser Wert progressiv zu. Weiter wurde der Kaufpreis auf das Jahr 1999, Erhebungsdatum für den Mikrozensus 2000, aktualisiert. Aus diesen Grössen ließen sich anschliessend der durchschnittlich Treibstoffverbrauch und die variablen und Fixkosten berechnen. Für die



Wertverminderung und Amortisation wurde auf die Kennzahlen des TCS zurückgegriffen, während für die Fahrzeugsteuer die kantonalen Ansätze benutzt wurden.

Die Aufteilung zwischen den Fixkosten und beweglichen Kosten ändert sich mit dem Hubraum für die betrachtete Fahrzeugflotte aus dem Mikrozenus 2000 wie folgt:

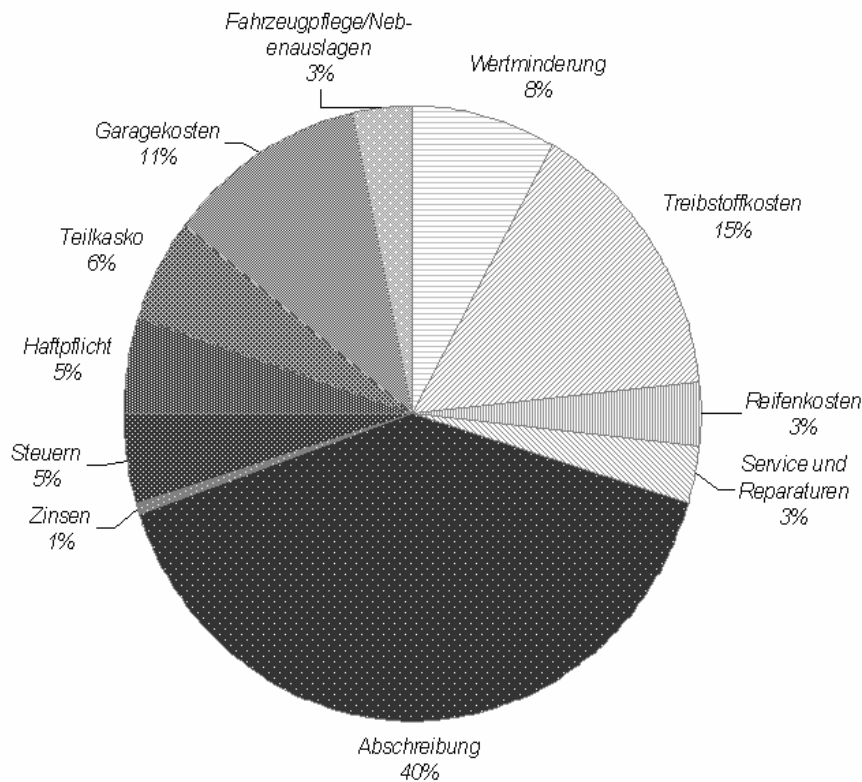
Tabelle72 Anteil der Variablen Kosten nach Hubraumkategorien in %

	<1'350 ccm	1'351 – 1'650 ccm	1'651 – 1'950 ccm	1'951 – 2'250 ccm	2'251 – 2'550 ccm	> 2'251 ccm
Variable Kosten	29%	32%	32%	30%	29%	28%
Fixkosten	71%	68%	68%	70%	71%	62%

Die Fixkosten sind für alle Hubraumkategorien mehr als doppelt so hoch im Vergleich zu den variablen Kosten. Die Kosten pro Kilometer belaufen sich im Durchschnitt für die betrachtete Stichprobe auf 95 Rappen pro Kilometer. Dieser Betrag ist höher als die vom TCS berechneten Kilometerkosten für einen Mittelklassewagen von 35'000 CHF und 15'000 km Fahrleistungen pro Jahr, weil der durchschnittliche Neuwert der untersuchten Fahrzeugflotte leicht höher ist.

Die Bedeutung der einzelnen Kostenkomponenten an den Gesamtkosten wird in Abbildung 55 deutlich.

Abbildung 55 Aufteilung der variablen Kosten für die Gesamtstichprobe in %



Der wichtigste Kostenposten betrifft die Abschreibung. Die absolute Höhe der Abschreibung wird durch den Kaufpreis bestimmt. Für ältere Fahrzeuge nimmt dieser Kostenfaktor kontinuierlich ab, womit die variablen Kosten an Bedeutung zunehmen. Entsprechend fallen bei neuen und teuren Fahrzeugen die variablen Kosten relativ wenig ins Gewicht. Tabelle 73 zeigt die Verteilung der Treibstoffkosten und Betriebskosten für verschiedene Hubraumkategorien.

Tabelle 73 Kostenaufteilung nach Hubraumkategorien für die gewählte Stichprobe aus dem Mikrozensus 2000

	<1'350 ccm	1'351 – 1'650 ccm	1'651 – 1'950 ccm	1'951 – 2'250 ccm	2'251 – 2'550 ccm	> 2'251 ccm
Fahrleistung pro Jahr	10'216	11'912	13'716	14'442	15'332	15'485
Treibstoffkosten/ 10'000km	862.64	1'202.36	1'420.40	1'599.04	1'868.66	2'089.10
Betriebskosten/ 10'000km	4'550.26	5'997.03	7'555.51	11'263.2 2	14'279.42	17'982.21
CHF/km	0.46	0.60	0.76	1.13	1.43	1.80

Für die Modellschätzung wurden die folgenden Variablen verwendet:

Abhängige Variable	Unabhängige Variablen
Mobilitätsnachfrage in km/Jahr	Einkommen, Agglomerationstyp, Erreichbarkeit, Treibstoffkosten/10'000km, Fahrzeugbesitz, Hubraumkategorie und Fahrtzweck.

Anhand dieser Variablen konnte das Wirkschema in einem semi-logarithmischen Regressionsmodell geschätzt werden, das sich wie folgt formuliert wurde.

Modellformulierung:

$$\begin{aligned} \text{Mobilitätsnachfrage} &= \text{Konstante} + \beta \ln \text{Einkommen} + \beta \ln \text{Treibstoffkosten} \\ &+ \beta \text{Anzahl Fahrzeuge} + \beta \text{Agglomerationstyp} + \\ &\beta \text{Erreichbarkeit ÖV} + \beta \text{Fahrtzweck} + \beta \text{Anzahl Kinder} \end{aligned}$$

Die geschätzten Regressionsparameter der logarithmisch transformierten Variablen entsprechen den Elastizitäten. Die wichtigsten und statistisch signifikanten Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Die Parameter der Modellschätzungen sind übersichtshalber im Anhang aufgeführt.

Tabelle 74 Elastizitäten der Mobilitätsnachfrage nach Hubraumkategorien

Elastizitäten	Hubraumkategorien						Gesamtstichprobe
	<1'350 ccm	1'351 – 1'650ccm	1'651 – 1'950 ccm	1'951 – 2'250 ccm	2'251 – 2550 ccm	> 2'251 ccm	
Einkommen	0.056	0.034	0.032	0.097	0.155	0.116	0.080
Treibstoffkosten	-1.358	-0.580	-0.706	-0.599	-0.425	-1.002	0.417
Anzahl Beobachtungen	2668	3914	2942	4085	1591	1960	17'160

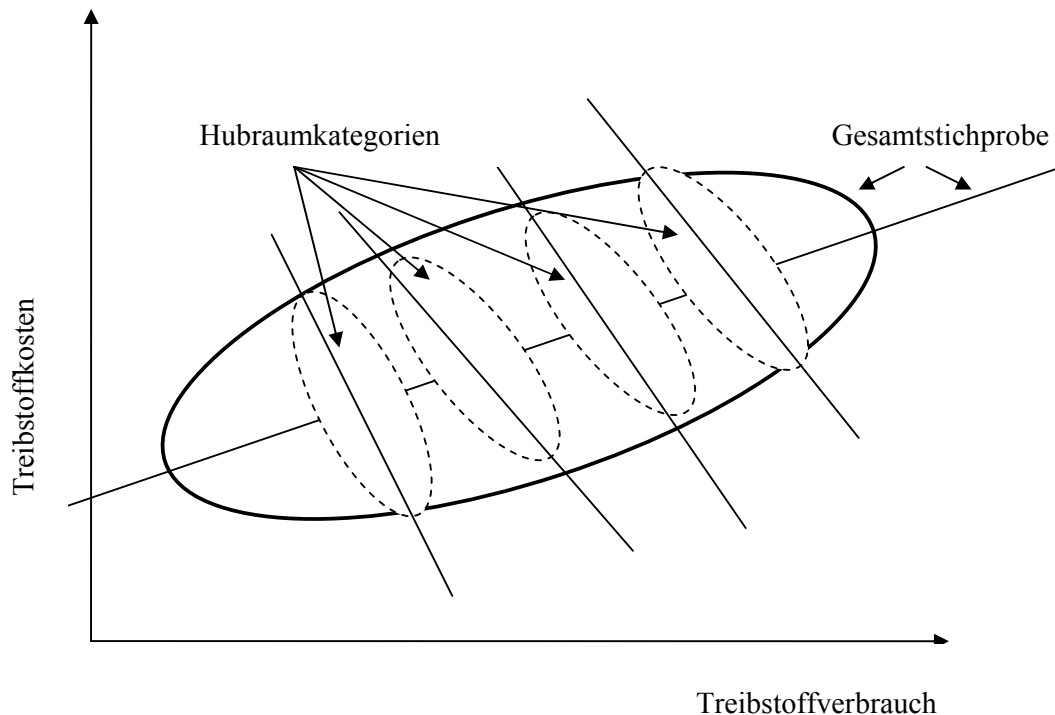
Gemäss den Verkehrsstatistiken haben die Verkehrsleistungen im MIV in den letzten Jahren trotz steigenden Treibstoffpreisen stetig zugenommen. Es ist daher nicht überraschend, wenn die Modellschätzung für die Gesamtstichprobe (rechte Kolonne in Tabelle 74) sowohl eine, wenn auch schwache, positive Einkommenselastizität als auch eine positive Treibstoffkostenelastizität ergab. Während die positiven Einkommenselastizitäten einleuchten, sind diejenigen der Treibstoffkosten erklärungsbedürftig.

Vorweg ist zu erwähnen, dass Treibstoffkosten bezüglich einer bestimmten Distanz nicht mit den Treibstoffpreisen zu verwechseln sind. Treibstoffkosten werden direkt durch die Technologie und damit durch den Treibstoffverbrauch eines Fahrzeuges bestimmt. Hier widerspiegeln sie insbesondere die Hubraumgrösse und das Alter des Fahrzeuges. Das Alter wirkt sich über den technologischen Fortschritt im Bereich der Treibstoffeffizienz auf den Treibstoffverbrauch und damit die Treibstoffkosten aus.

Die Ergebnisse der Modellschätzung für die Gesamtstichprobe ergibt eine positive Treibstoffkostenelastizität, welche den Trend zu höherem Treibstoffverbrauch bei steigenden Kosten abbildet. Graphisch entspricht dies einer Wertewolke, um eine leicht ansteigende positive Regressionssgerade, während die Individualwerte der einzelnen Hubraumkategorien um sinkende Regressionsgeraden gelagert sind, womit für alle Hubraumkategorien eine

deutlich negative Elastizität zwischen den Treibstoffkosten und der Mobilitätsnachfrage nachgewiesen werden kann, was sich schematisch in der folgenden Abbildung aufzeigen lässt.

Abbildung 56 Treibstoffkostenelastizität nach Gesamtstichprobe und Hubraumkategorien



Die Elastizität ist besonders für Kleinfahrzeuge stark negativ, gefolgt von den Fahrzeugen der obersten Hubraumkategorie. Bei kleinen Fahrzeugen ist der Anteil der Treibstoffkosten an den variablen Kosten im Durchschnitt höher als bei grösseren Fahrzeugen. Bei Fahrzeugen der obersten Hubraumklasse wirken sich dagegen die Kosten für den Treibstoff wegen dem hohen Verbrauch absolut gesehen höher auf die Betriebskosten und Treibstoffkosten aus, was den Wert für die starke negative Elastizität teilweise erklären dürfte.

Der Unterschied zwischen der Treibkostenelastizität der Gesamtstichprobe und der einzelnen Hubraumkategorien könnte als Widerspruch verstanden werden. Tatsächlich handelt es sich um ein typisches Phänomen in der Statistik, das mit dem Begriff des ökologischen

Fehlschlusses umschrieben wird. Dabei geht es um die fehlerhaften Schlussfolgerungen über das Verhalten oder Einstellungen von Individuen oder Gruppen aufgrund von Annahmen aus aggregierten Datenstrukturen.

Diese Erklärung scheint durch die erhobenen Korrelationen zwischen dem Haushaltseinkommen und dem Kaufpreis resp. den Mobilitätskosten bestätigt zu werden. Die folgende Tabelle zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen diesen Grössen.

Tabelle 75 Zusammenhang zwischen dem Einkommen, dem Kaufpreis und den jährlichen Mobilitätskosten

	Kaufpreis	Mobilitätskosten (Fix und variable Kosten)
Einkommen	0.297	0.478

Der Zusammenhang zwischen dem Haushaltseinkommen und der auf Grund vereinfachender Annahmen rekonstruierte Kaufpreis der Fahrzeuge aus dem Mikrozensus 2000 ist relativ gering, während ein recht hoher positiver Zusammenhang zwischen dem Einkommen und den Mobilitätskosten, die in einen Haushalt pro Jahr ausgegeben werden, besteht.

In einer zweiten Modellschätzung wurden Daten nach den verschiedenen Fahrtzwecken segmentiert. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Mobilitätsnachfrage sehr schwach aber positiv auf steigendes Einkommen reagiert. Dagegen sind die Preiselastizitäten deutlich negativ.

Tabelle 76 Elastizitäten der Mobilitätsnachfrage nach Fahrtzwecken

Elastizitäten	Fahrtzwecke			
	Arbeit und Ausbildung	Einkauf	Freizeit	Geschäftsreisen
Einkommen	0.013	0.168	0.010	0.078
Treibstoffkosten	-1.533	-2.095	-1.772	-3.202

Gemäss diesen Ergebnissen ist die Preissensibilität im Bereich der Pendlermobilität am geringsten, während sie den höchsten Wert im Segment der Geschäftsreisen aufweist.

Offensichtlich werden im Geschäftsbereich die Mobilitätskosten genau kalkuliert und entsprechend wird auf Preisveränderungen stärker reagiert.

Diese Ergebnisse lassen auch Aussagen über die Bedeutung der generalisierten Kosten für Nachfrageveränderungen zu. Generalisierte Mobilitätskosten enthalten neben den Kostenkomponenten (Fix und variable Kosten) auch noch den Zeitwert. Gemäss den Zeitkostenansätzen im Personenverkehr von König und Axhausen (2004) variieren die Zeitwerte mit dem Einkommen, der Fahrdistanz und dem Fahrtzweck. Die Höhe der Zeitwerte ist weiter auch noch von der Verkehrsmittelwahl abhängig.

Verschiedene Versuche Zeitwerte in das Modell einzuführen und die Elastizität bezüglich der generalisierten Kosten zu bestimmen scheiterten resp. waren aus konzeptionellen Gründen mit den verfügbaren Daten nicht möglich. Die Berücksichtigung der Zeitwerte ist nur dann sinnvoll, wenn sie differenziert werden können und nicht als zusätzliche konstante Kosten einbezogen werden. Dies ist mit den Daten aus dem Mikrozensus nur für einzelne Etappen möglich. Nachfrageveränderungen bezüglich der Distanz von Einzeletappen sind nicht plausibel und eine Modellschätzung mit einer Regression ist nicht sinnvoll.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass auf der Mikroebene eine signifikant negative Preiselastizität bezüglich der variablen Kosten festgestellt werden konnte. Die Reaktionsmuster in der Mobilitätsnachfrage variieren jedoch stark nach den verschiedenen Unterscheidungsmerkmalen. Statistisch signifikante Ergebnisse konnten für verschiedene Fahrzeugkategorien und Fahrtzwecke gefunden werden, während erwartete Differenzierungen bezüglich dem Wohnort (Kernstadt, Agglomeration oder Land) oder der ÖV-Erschliessung nach den Modellschätzungen eine unbedeutende Wirkung auf die Mobilitätsnachfrage im privaten Strassenverkehr haben. Die Faktoren wirken sich eher auf den Besitz von Mobilitätswerkzeugen aus, da in ländlichen Gegenden die Autoabhängigkeit grösser ist (Dargay, 2001).

## 12.6 Einige Schlussfolgerungen

Die neuere Literatur zu Elastizitäten der Verkehrsnachfrage weist deutlich auf die vielfältigen Faktoren hin, welche die Mobilitätsnachfrage beeinflussen und unterstreicht die Abhängigkeit der empirisch bestimmten Elastizitätswerte von den jeweiligen Rahmenbedingungen. Die Übertragung von Ergebnissen aus ausländischen Studien oder früheren Untersuchungen in der Schweiz muss daher mit äusserster Vorsicht erfolgen.

Im ersten Abschnitt ist gezeigt worden, wie sich einige Strukturmerkmale, welche zur Bestimmung der Elastizitäten dienen, in den letzten Jahren in der Schweiz stark verändert haben. Besondere Aufmerksamkeit erfordert der Bruch in der Entwicklung des Benzinabsatzes bei steigender Verkehrsleistung und wachsender Fahrzeugflotte. Dieser Trendbruch muss bei der Interpretation der Elastizitäten berücksichtigt werden.

Daher variieren die Benzinpreiselastizitäten je nach gewählter Zeitperiode. Es gilt zu beachten, dass der Treibstoffabsatz das Ergebnis sowohl einer kurz- als auch einer langfristigen Reaktion auf die Preisveränderungen darstellt. Die langfristige Komponente wirkt sich über den Kauf von effizienteren Fahrzeugen auf den Treibstoffabsatz aus. Da von einer stetigen Verbesserung der Technologie der neuen Motorfahrzeuge ausgegangen werden kann, führt die „natürliche“ Umschichtung der Fahrzeugflotte (bei konstanter Fahrleistung) zu einem Rückgang der Treibstoffnachfrage. Da aber die Fahrzeugleistungen nach dem Jahr 2000 weiter zugenommen haben und auch die Fahrzeugflotte weiter gewachsen ist, können die negativen Preiselastizitäten nicht auf einen Rückgang der Mobilitätsnachfrage zurückgeführt werden. Andere Faktoren wie die starke Zunahme von Dieselfahrzeugen müssen bei der Interpretation mitberücksichtigt werden.

Es wäre allerdings falsch, aus diesen Ergebnissen die Schlussfolgerung zu ziehen, die Mobilitätsnachfrage sei völlig unelastisch. Die Segmentierung nach Hubraumkategorien und Fahrtzwecken auf der Mikroebene erlaubt den Nachweis einer starken Preissensibilität. Die Treibstoffkosten wirken sich je nach Segment unterschiedlich auf die Mobilitätsnachfrage aus. Dabei konnte, wie in den meisten Studien, gezeigt werden, dass die Ausgaben für die Mobilitätskosten stark mit dem Einkommen korrelieren.

Die Betrachtung der generalisierten Kosten ist dort sinnvoll, wo differenzierte Zeitwerte eingeführt werden können. Die Zeitwerte im Personenverkehr variieren nach dem Einkommen, der Reisedistanz und vor allem dem Fahrtzweck. Eine Berücksichtigung der Zeitwerte führt bezüglich der verschiedenen Fahrtzwecke zu höheren Mobilitätskosten. Statistisch konnten keine Elastizitäten für die verschiedenen Reisezwecke bestimmt werden.

Anhand der gefundenen Ergebnisse auf der individuellen Ebene sollte die Mobilitätsbepreisung bei den variablen Kostenkomponenten ansetzen. Generelle Prognosen über die Wirkung des Mobility Pricing auf den Treibstoffabsatz oder die Verkehrsleistungen zu machen ist allerdings auf aggregierter Ebene und über längere Zeiträume sehr schwierig. So hat auch die massive und vor einigen Jahren noch völlig unvorstellbare Erhöhung der Treibstoffpreise in den letzten Monaten zu keiner Reduktion der Verkehrsleistungen geführt,



nicht zuletzt, weil die Treibstoffkosten noch immer nur einen bescheidenen Anteil der gesamten Mobilitätskosten ausmachen. Ob das Erreichen eines psychologisch wirksamen Schwellenwertes über weitere Treibstoffpreiserhöhungen oder zusätzliche Mobilitätsbepreisungen die erhobenen Elastizitäten zu Makulatur macht, ist eine Frage, die schlussendlich nur nachträglich beantwortet werden kann.

## 13 Literatur

- Autoschweiz (2004) 9. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung über die Absenkung des spezifischen Treibstoff-Normverbrauchs von Personenwagen 2004, Vereinigung Schweizer Automobil-Importeure, Bern.
- Axhausen, K.W., S. Beige und M. Bernard (2004) Grundlagebericht für die Perspektiven des Schweizer Personenverkehrs bis 2030: Prognose über Besitz und Nutzenintensität von Mobilitätswerkzeugen im Personenverkehr, *Arbeitsberichte Verkehr- und Raumplanung*, **203**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, Zürich.
- Axhausen, K.W., S. Hess, A. König, G. Abay, J.J. Bates and M. Bierlaire (2006) State of the art estimates of the Swiss value of travel time savings, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, 373, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Axhausen, K.W., A. Koenig, G. Abay, J.J. Bates and M. Bierlaire (2004) Swiss value of travel time savings, paper presented at the *2004 European Transport Conference*, Strasbourg, October 2004.
- Banfi, S., Filippini, M. und L.C. Hunt (2005) Fuel Tourism in border regions. The case of Switzerland, in *Energy Economics* **27** (4) 689 – 707
- Ben-Akiva, M. and M. Bierlaire (1999) Discrete choice methods and their applications to short-tem travel decisions, in R. Hall (ed.), *Handbook of Transportation Science*, 2 edn, Kluwer, Chapter 2.
- Ben-Akiva, M., M. Bradley, T. Morikawa, J. Benjamin, T. Novak, H. Oppewal and V.Rao (1994) Combining Revealed and Stated Preferences Data, *Marketing Letters* 5:4.
- Ben-Akiva, M.E. and S.R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis*, MIT Press, Cambridge.
- Ben-Akiva, M. and T. Morikawa (1990) Estimation of Travel Demand Models from Multiple Data Sources, *Transportation and Traffic Theory*.
- Bierlaire, M. and E. Frejinger (2006) A latent route choice model in Switzerland, Technical report, Transport and Mobility Laboratory (TRANSP-OR), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland.
- Bierlaire, M. and E. Frejinger (2006) A Choice set generation algorithm for long distance route choice modeling, Technical report, Transport and Mobility Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland.

- Bierlaire, M., M. Thémans, and K.W. Axhausen. Analysis of driver's response to real-time information in Switzerland, *European Transport*, accepted for publication, to appear.
- Burris, M.W., A. Cain, und R.M. Pendyala (2001) Impact of Variable Pricing on Temporal Distribution of Travel Demand. *Transportation Research Record*, **1747**, 36 – 43.
- Cascetta, E., A. Nuzzolo, F. Russo, and A. Vitetta (1996) A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems. Specification and some calibration results for interurban networks, in J. B. Lesort (ed.), *Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Lyon, France.
- Eckey, H.-F. (2000) Verkehrsökonomie. Gabler Verlag, Wiessbaden
- Frei, A. (2005) Was hätte man 1960 für einen Sharan bezahlt? Diplomarbeit, IVT – ETHZ, Zürich.
- Frejinger, E. and M. Bierlaire. Capturing correlation with subnetworks in route choice models, *Transportation Research Part B*, accepted for publication, to appear.
- Fröhlich, Ph., Tschopp, M. und K.W. Axhausen (2005) Netzmodelle und Erreichbarkeit in der Schweiz: 1950 – 2000, in Beitrag zu Zeitkarten Schwei 1950 – 2000, IVT – ETHZ, Zürich.
- Gifford, J.L. and S.W. Talkington (1996) Demand Elasticity Under Time-Varying Prices: Case Study of Day-of-Week Varying Tolls on the Golden Gate Bridge. *Transportation Research Record*, **1558**, 55–59.
- Goodwin, P.B. (1992) A review of new demand elasticities with reference to short and long run effects to price changes, *Journal of Transport Economics and Policy*, **26(2)**, 155-169.
- Graham, D. und S. Glaister (2002) Review of income and price elasticities of demand for road traffic. Centre for Transport Studies. Imperial College of Science Technology and Medicin, London.
- Harvey, G. (1994) Transportation Pricing Behavior, Curbing Gridlock: Peak-Period Fees To Relieve Traffic Congestion, *Transportation Research Board Special Report*, **242**, 89-114, National Academy Press, Washington.
- Hess, S., Polak, J.W. & Daly, A.J. (2005), Flexible Substitution Patterns in Models of Mode and Time of Day Choice: New evidence from the UK and the Netherlands, Paper präsentiert beim *84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., Januar 2005.
- Hirschman, I., C. McNight, R.E. Paaswell, J. Pucher, und J. Berechman (1995) Bridge and Tunnel Toll Elasticities in New York: Some Recent Evidence. *Transportation*, **22**, 97–113.

- Jones, P. and A. Hervik (1992) Restraining Car Traffic in European Cities: An Emerging Role for Road Pricing. *Transportation Research A*, **26**, 133–145.
- Lawley Publications (2000) Traffic Responses to Toll Increases Remain Inelastic. *The Urban Transportation Monitor*, **14**, 10.
- Litman, T. (2006) Transportation Elasticities. How Prices and Other Factors Affect Travel Behaviour. Victoria Transport Policy Institute, Victoria – Canada
- McFadden, D. (1974) Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour, in P. Zarembka (ed.) *Frontiers in Econometrics*, 105-142, Academic Press, New York.
- Mackie P., M. Wardmann, A. Fowkes., G. Whelan, J. Nellthorp and Bates, J. (2003) Values of travel time savings in the UK: Summary report, Departement of Transport, London,  
[http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft\\_econappr/documents/pdf/dft\\_econappr\\_pdf\\_610340.pdf](http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_econappr/documents/pdf/dft_econappr_pdf_610340.pdf), Juli 2006
- Maggi, R., Martin, P., Mägerle, J. und M. Maibach (2000) Nutzen des Verkehrs. NFP 41, Bericht D10, Bern.
- Matas, A. und J.-L. Raymon (2003) Demand Elasticity on Tolled Motorways, *Journal of Transportation Statistics*, **6**, 2/3, Bureau of Transportation Statistics, Washington
- Mauchan, A. and P. Bonsall (1995) Model Predictions of the Effects of Motorway Charging in West Yorkshire, *Traffic, Engineering and Control*, **36**, 206–212.
- May, A.D. (1992) Road Pricing: An International Perspective, *Transportation*, **19**, 313–333.
- Nielsen, O.A. (2004) Behavioral Responses to Road Pricing Schemes: Description of the Danish AKTA Experiment, *Intelligent Transportation Systems*, **8**, 233-251.
- NZZ (2001) Billigeres Benzin für Insubrien, 08.01.2001
- Olszewski P. und X. Litian (2005) Modelling the effects of road pricing on traffic in Singapore, *Transportation Research, Part A*, **39**, 755-772.
- Olszewski P. und X. Litian (2002) Traffic demand elasticity with respect to road pricing – some evidence from Singapore, *Proceedings of International Conference on Seamless and Sustainable Transport*, Singapore, November 2002.
- Oum, T.H. (1989) Alternative Demand Models and Their Elasticity Estimates. *Journal of Transport Economics and Policy* **13**, 163–187.
- Peter, M., Schmidt, N. und M. Maibach (2002) Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen, SVI 2000/442, Astra, Bern.

- Polak, J., Olszewski, P. and Y.D. Wong (1994). Evidence of the Long Term Effects of the Singapore Area Licensing Scheme on Travel Behaviour. Proc. *7th International Conference on Travel Behaviour Research*, **1**, 319-330, Santiago, Chile.
- PROGRESS (2004) *Pricing Road Use for Greater Responsibility, Efficiency and Sustainability in Cities*, Final Report, [www.progress-project.org](http://www.progress-project.org), Bristol, November 2005.
- Rienstra, S.A., P. Rietveld and E.T. Verhoef (1999) The social support of policy measures in passenger transport: A statistical analysis for the Netherlands, *Transportation Research*, **4D** (3) 181-200.
- Rossera, F. und R. Rudel (2002) Analyse und Prognose der Personenverkehrsnachfrage der Schweizerischen Bundesbahnen. Schlussbericht, Lugano.
- Santos G. und B. Shaffer (2004) Preliminary results of the London congestion charging scheme, *Public Works Management & Policy*, **9**, 164-181
- Santos G. (2004) Road Pricing: Theory and Evidence, *Research in Transportation Economics*, **9**, Elsevier, Oxford.
- Schade J. und B. Schlag (2003) Acceptability of Transport Pricing Strategies, Elsevier, Oxford.
- Schipper, L., Figueroa, M. J., Price, L. und M. Espey (1993) Mind the gap: The vicious circle of measuring automobile fuel use. University of California Transportation Center, Reprint UCTC No.228, Berkeley.
- Swedish Road Administration Vägverket (2005) Information leaflet on the trial implementation of a congestion tax, Stockholm.
- TCS-Schweiz (2006) Autokosten. Info-tech, Emmen.
- TRACE Consortium (1998) Deliverable 1: Outcomes of Review on Elasticities and Values of Time, The Hague, Netherlands.
- Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 95 (2003) Traveler Response to Transportation System Changes, Chapter 14 – Road Value Pricing, Transport Research Board, Washington D.C..
- Transport for London (2003a, June). Central London congestion charging scheme: Three months on, [www.tfl.gov.uk/tfl/pdfdocs/congestion\\_charging/cc-three-month-report.pdf](http://www.tfl.gov.uk/tfl/pdfdocs/congestion_charging/cc-three-month-report.pdf), Transport for London, London, November 2005.
- TRB (2003) International Perspectives on Road Pricing, Report of the Committee for the International Symposium on Road Pricing, Washington D.C.
- Vickrey, W.S. (1969) Congestion theory and transport investment. *American Economic Review (Papers and Proceedings)* **59**, pp 251–261.

- Vovsha, P. and S. Bekhor (1998) Link-nested logit model of route choice, Overcoming route overlapping problem, *Transportation Research Part B*, Vol. 31, No. 3, 1998, pp.195-207.
- Vrtic, M. and K.W. Axhausen (2004) Forecast based on different data types: A before and after Study, paper presented at 10th World Conference on Transport Research, Istanbul.
- Vrtic, M. und K. W. Axhausen (2003) Experiment mit einem dynamischen Umlegungsverfahren, *Strassenverkehrstechnik*, **47** (3) 121-126.
- Vrtic M. and K.W. Axhausen (2002) The impact of tilting trains in Switzerland: a route choice model of regional and long distance public transport trips, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, 128 IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, F. Rossera und R. Maggi (2003) Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, im Auftrag der SBB und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), IVT, ETH Zürich und USI Lugano, Zürich und Lugano
- Vrtic, M., Ph. Fröhlich und K.W. Axhausen (2003) Schweizerische Netzmodelle im Strassen- und Schienenverkehr, in Kaspar, C., C. Laesser und T. Bieger (2003) *Jahrbuch 2002/2003 Schweizerische Verkehrswirtschaft*, Universität, St. Gallen.
- Vrtic, M., Ph. Fröhlich, N. Schüssler, S. Dasen, S. Erne, B. Singer, K.W. Axhausen and D. Lohse (2005) Erzeugung neuer Quell-/Zielmatrizen im Personenverkehr, Final report to the Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Strassen and Bundesamt für Verkehr, IVT ETH Zurich, Emch und Berger und TU Dresden, Zürich.
- Whittles, M. J. (2003) *Urban Road Pricing: Public and Political Acceptability*, Ashgate, Hants.
- Wuestefeld, N.H. and E.J. Regan (1981) Impact of Rate Increases on Toll Facilities. *Traffic Quarterly*, **34**, 639–55
- Yan, J., K. A. Small und E. C Sullivan (2002) Choice Models of Route, Occupancy and Time-of-Day with Value Priced Tolls. *Transportation Research Board 81st Annual Meeting*, Preprint Paper No. 02-2617, Washington DC.



## 14 Anhänge

### A 1 Fragebögen

#### Anschreiben



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

XXX XXX

Institut für Verkehrsplanung und  
Transportsysteme

8093 Zürich

Prof. Kay W. Axhausen

Bei Rückfragen wenden Sie sich bitte an:

Dipl. Wi-Ing. N. Schüssler / Dr. M. Vrtic

Tel. +41 44 633 3085

Fax +41 44 633 1057

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

<http://www.ivt.ethz.ch>

Zürich, 18.10.2006

Befragung zur Finanzierung der Verkehrssysteme

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Sehr geehrte Frau XXX

wir bedanken uns herzlich für Ihre Bereitschaft an unserer Befragung teilzunehmen.

Der Lehrstuhl für Verkehrsplanung der ETH Zürich führt im Auftrag des Bundesamtes für Strassen eine Befragung zur Finanzierung der Verkehrssysteme und insbesondere des Strassennetzes durch. Es geht hierbei insbesondere um Ansätze bei denen der Fahrer zum Zeitpunkt der Fahrt einen Beitrag bezahlen muss, wie man es zum Beispiel aus Italien und Frankreich kennt. Wir wollen erfahren, wie Sie zu solchen Ansätzen stehen und wie Sie sich verhalten würden, falls solche Systeme in der Schweiz zum Einsatz kämen.

Anbei erhalten Sie einen Fragebogen zu Ihrer Person und drei weitere Fragebögen. Diese sind sehr einfach aufgebaut und durch Ankreuzen auszufüllen. Weitere Erläuterungen finden Sie in den Fragebögen selbst. Sollten Sie zum Ausfüllen Fragen haben, dann können Sie uns werktags von 9 Uhr bis 17 Uhr unter der Telefonnummer 044 633 3085 erreichen.

Falls Sie Interesse an einem anschliessenden persönlichen Interview haben, können Sie uns das auf dem beiliegenden Blatt mitteilen.

Ihre Angaben werden streng vertraulich behandelt und der Datenschutz wird gewährleistet. Die Bearbeitung und Auswertung der Daten erfolgt ausschliesslich in anonymisierter Form. Ihre Details werden nicht an Dritte weitergegeben oder diesen zugänglich gemacht.

Den beiliegenden Umschlag benutzen Sie bitte zur kostenlosen Rücksendung des ausgefüllten Fragebogens bis möglichst zum **02.02.2006**.

Wir bedanken uns ganz herzlich im Voraus für Ihre wertvolle Unterstützung.  
Mit freundlichen Grüssen



## Mantel SP1



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

– Befragung zur Verkehrsfinanzierung 2005 –

### Fragebogen 1

## *Wie stehen Sie zu alternativen Ansätzen der Finanzierung?*

*Die Probleme des heutigen Systems der Verkehrsfinanzierung und insbesondere der Strassen sind bekannt: Tanktourismus, Staus, fehlende Abhängigkeit von örtlichen Bedürfnissen, Verwendung der Einnahmen ausserhalb des Verkehrssystems, Abhängigkeit vom Benzinverbrauch, Politisierung.*

*Es eröffnen sich vielfältige Alternativen, wenn man die Gebühren nicht über den Kraftstoff (Treibstoffsteuer) und den PW-Besitz (Motorfahrzeugsteuer) erhebt. An Stelle dieser bekannten Abgaben könnte, direkt verursacherorientiert die einzelne Fahrt besteuert werden*

*Wir stellen Ihnen im Folgenden verschiedene solche Alternativen und ihre Auswirkungen im Vergleich zum heutigen Zustand vor. Bitte kreuzen Sie jeweils Ihre bevorzugte Alternative an.*

*Bitte nehmen Sie sich für die Antworten genügend Zeit und überlegen sich die Antworten genau. Nur so können unsere Auswertungen aussagekräftig erfolgen.*

**Dieser Fragebogen soll ausgefüllt werden von**

**Vorname**

**KATRIN**

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

SP-VM

Bevor Sie mit der Beantwortung der Fragen beginnen möchten wir Ihnen noch kurz einige der verwendeten Begriffe erläutern.

**Autobahngebühren** steht für eine kilometerabhängige Maut für Fahrten auf den Autobahnen.

**Leistungsabhängige Personenverkehrsabgabe** ist eine kilometerabhängige Gebühr für alle Personenfahrzeuge (alle Strassen).

**Zeitabhängige Gebühren für Hauptverkehrsstrassen** (d.h. einschliesslich Autobahnen): Die Gebühren werden je nach Belastung nach Ort und Tageszeit variiert. Damit soll erreicht werden, dass immer eine angemessene Geschwindigkeit gefahren werden kann.

**Gebietslizenzen:** Für die Einfahrt in die inneren Bereiche der Grossstädte wird jeweils eine Gebühr erhoben.

**Bonus/Malus – System:** die Einnahmen werden an alle Schweizer in gleich grossen Anteilen ausgeschüttet, d.h. Wenig-Fahrer erhalten einen Bonus, während Vielfahrer einen Malus bezahlen.

**Verringerung der Einkommensteuer:** zusätzliche Einnahmen aus dem Strassenverkehr werden mit Einkommenssteuersenkungen ausgeglichen.



## Stellen Sie sich nun vor...

Mit den bestehenden Finanzierungsinstrumenten ist es schwierig, den Erhalt und den Ausbau des Strassennetzes zu sichern. Darüber hinaus sind viele Strassen grundlegend überlastet. Dies könnte den Bundesrat dazu bewegen, ein alternatives System vorzuschlagen.

Nehmen Sie an, Sie müssten in einer Abstimmung über die Einführung eines alternativen Finanzierungssystems entscheiden, welches der Bundesrat in dieser Situation vorschlagen würde.

Das heutige und das alternative System werden vereinfacht auf den folgenden Fragebogenseiten beschrieben, markieren Sie Ihre jeweilige Wahl mit einem Kreuz.



37335-16796-05-1-2

SP-VM



## Fragebogen SP1

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

### Situation 1



	 heute	 alternatives System
Art des Mobility Pricings	Mineralölsteuer, Autobahnvignette	leistungsabhängige Personenverkehrsabgabe
Abgaben	0,06 CHF/km	0,16 CHF/km
Verwendungszweck der Einnahmen	Strasseninfrastruktur, Bundeshaushalt,	Strasseninfrastruktur, Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette, Verringerung der Einkommenssteuer
Geschwindigkeit bei grösstem Verkehr:		
Autobahnen	85 km/h	120 km/h
Landstrassen	45 km/h	55 km/h
Städtischen Strassen	30 km/h	30 km/h
<input type="checkbox"/> ← Ihre Wahl → <input type="checkbox"/>		

### Situation 2



	 heute	 alternatives System
Art des Mobility Pricings	Mineralölsteuer, Autobahnvignette	leistungsabhängige Personenverkehrsabgabe
Abgaben	0,06 CHF/km	0,07 CHF/km
Verwendungszweck der Einnahmen	Strasseninfrastruktur, Bundeshaushalt,	Strasseninfrastruktur, Bonus/Malus – System für PW-Besitzer, Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette
Geschwindigkeit bei grösstem Verkehr:		
Autobahnen	85 km/h	100 km/h
Landstrassen	45 km/h	45 km/h
Städtischen Strassen	30 km/h	35 km/h
<input type="checkbox"/> ← Ihre Wahl → <input type="checkbox"/>		

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Situation 3



	 heute	 alternatives System
Art des Mobility Pricings	Mineralölsteuer, Autobahnvignette	Autobahngebühren
Abgaben	0,06 CHF/km	0,04 CHF/km
Verwendungszweck der Einnahmen	Strasseninfrastruktur, Bundeshaushalt,	Strasseninfrastruktur, Investitionen in den öffentlichen Verkehr, Bonus/Malus – System für PW-Besitzer
Geschwindigkeit bei grösstem Verkehr:		
Autobahnen	85 km/h	100 km/h
Landstrassen	45 km/h	45 km/h
Städtischen Strassen	30 km/h	30 km/h
<input type="checkbox"/> ← Ihre Wahl → <input type="checkbox"/>		

Situation 4



	 heute	 alternatives System
Art des Mobility Pricings	Mineralölsteuer, Autobahnvignette	Autobahngebühren
Abgaben	0,06 CHF/km	0,04 CHF/km
Verwendungszweck der Einnahmen	Strasseninfrastruktur, Bundeshaushalt,	Strasseninfrastruktur, Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette, Bonus/Malus – System für PW-Besitzer
Geschwindigkeit bei grösstem Verkehr:		
Autobahnen	85 km/h	100 km/h
Landstrassen	45 km/h	45 km/h
Städtischen Strassen	30 km/h	30 km/h
<input type="checkbox"/> ← Ihre Wahl → <input type="checkbox"/>		

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Situation 5

	 heute	 alternatives System
Art des Mobility Pricings	Mineralölsteuer, Autobahnvignette	leistungsabhängige Personenverkehrsabgabe
Abgaben	0,06 CHF/km	0,16 CHF/km
Verwendungszweck der Einnahmen	Strasseninfrastruktur, Bundeshaushalt,	Strasseninfrastruktur, Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette, Bonus/Malus – System für PW-Besitzer
Geschwindigkeit bei grösstem Verkehr:		
Autobahnen	85 km/h	100 km/h
Landstrassen	45 km/h	55 km/h
Städtischen Strassen	30 km/h	35 km/h
<input type="checkbox"/> ← Ihre Wahl → <input type="checkbox"/>		

Situation 6

	 heute	 alternatives System
Art des Mobility Pricings	Mineralölsteuer, Autobahnvignette	leistungsabhängige Personenverkehrsabgabe
Abgaben	0,06 CHF/km	0,11 CHF/km
Verwendungszweck der Einnahmen	Strasseninfrastruktur, Bundeshaushalt,	Strasseninfrastruktur, Abschaffung der Mineralölsteuer und der Autobahnvignette, Bonus/Malus – System für PW-Besitzer
Geschwindigkeit bei grösstem Verkehr:		
Autobahnen	85 km/h	120 km/h
Landstrassen	45 km/h	45 km/h
Städtischen Strassen	30 km/h	30 km/h
<input type="checkbox"/> ← Ihre Wahl → <input type="checkbox"/>		

## Mantel SP2



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

– Befragung zur Verkehrsfinanzierung 2005 –

### Fragebogen 2

## *Welche Route und Abfahrtszeit für Ihre Wege?*

*Mit diesem Fragebogen wollen wir nun erfahren, wie Sie sich bei der Wahl Ihrer Route und Ihrer Abfahrtszeit nach einer allfälligen Einführung von Strassengebühren verhalten würden. Bitte nehmen Sie sich wiederum einige Minuten Zeit. Es ist für unsere Auswertungen sehr wichtig, dass Sie sich Ihre Antworten genau überlegen.*

*Dieser Fragebogen wurde auf der Grundlage Ihrer Angaben im Telefoninterview erstellt. Die aufgeführten Eigenschaften der Fahrt (z.B. Fahrzeiten, Fahrpreise) wurden computergestützt erzeugt und können deshalb unter Umständen etwas von den realen Werten abweichen. Wir bitten Sie dennoch um eine sorgfältige Beantwortung der Fragen, auch wenn Ihnen vielleicht manche Werte unrealistisch erscheinen.*

**Dieser Fragebogen soll ausgefüllt werden von**

**Vorname**

**KATRIN**

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

/ SP-VM

In dem Interview vor einigen Tagen haben Sie uns unter anderem folgenden Weg berichtet, den Sie am 26.12.2005 durchgeführt haben:

Startort	Lostorf
Zielort	Rheinfelden
Anlass	Freizeit
Verkehrsmittel	Individualverkehr
Abfahrtszeit	17.00



## Stellen Sie sich nun vor...

Stellen Sie sich nun vor, Sie sind in der **gleichen Situation wie am 26.12.2005**, bevor Sie diesen Weg durchgeführt haben.

Zu Ihrer Verabredung am Zielort wollen Sie rechtzeitig erscheinen. Auf manchen Strassenkategorien, beispielsweise Autobahnen, sind Strassengebühren eingeführt worden.

Stellen Sie sich weiter vor, dass Sie an Stelle der tatsächlich benutzten Route auch andere benutzen oder zu einer anderen Zeit abfahren könnten. Entscheiden Sie sich bitte in den folgenden 7 Situationen jeweils für genau eine Möglichkeit und kreuzen Sie diese einfach an.

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

/ SP-VM

## Fragebogen SP2



37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Beispiel

SP 2: Wahl der Abfahrtszeit und Routenwahl



Ihr Weg mit dem PW von **Lostorf nach Rheinfelden**, mit zwei möglichen Routen, ist wie folgt beschrieben:

Beispiel

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	17.00	17.00
Fahrtzeit (min)	50 min	55 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,90 CHF	5,70 CHF
Art der Strassengebühr		Für eine zusätzliche Mautspur
Höhe der Strassengebühr	0 CHF	0 CHF
Verlässlichkeit	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung von 10 min: 10%	keine
Ankunftszeit	17.50	17.55

   ← Ihre Wahl →   



Situation 1

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	17.00	17.00
Fahrtzeit (min)	70 min	40 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für alle Fahrspuren
Höhe der Strassengebühr		5,60 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise	keine
Ankunftszeit	18.10	17.40

   ← Ihre Wahl →





Situation 2

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	17.00	17.00
Fahrtzeit (min)	50 min	50 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für alle Fahrspuren
Höhe der Strassengebühr		5,60 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise	keine
Ankunftszeit	17.50	17.50



← Ihre Wahl →

Situation 3

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	16.30	17.15
Fahrtzeit (min)	60 min	30 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für alle Fahrspuren
Höhe der Strassengebühr		2,40 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede dritte Reise	keine
Ankunftszeit	17.30	17.45



← Ihre Wahl →

Situation 4

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	16.45	17.00
Fahrtzeit (min)	60 min	50 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für alle Fahrspuren
Höhe der Strassengebühr		4,00 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise	keine
Ankunftszeit	17.45	17.50

← Ihre Wahl →



Situation 5

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	17.00	17.30
Fahrtzeit (min)	60 min	30 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für alle Fahrspuren
Höhe der Strassengebühr		5,60 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise	keine
Ankunftszeit	18.00	18.00

← Ihre Wahl →



37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Situation 6

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	17.00	17.30
Fahrtzeit (min)	50 min	30 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für eine zusätzliche Mautspur
Höhe der Strassengebühr		4,00 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise	keine
Ankunftszeit	17.50	18.00

← Ihre Wahl →

Situation 7

	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	16.45	17.00
Fahrtzeit (min)	60 min	40 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für eine zusätzliche Mautspur
Höhe der Strassengebühr		4,00 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise	keine
Ankunftszeit	17.45	17.40

← Ihre Wahl →

## Mantel SP3



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

– Befragung zur Verkehrsfinanzierung 2005 –

### Fragebogen 3

## *Welches Verkehrsmittel und welche Route für Ihre Wege?*

*Mit diesem Fragebogen wollen wir erfahren, wie Sie sich bei der Wahl des Verkehrsmittels und Ihrer Route nach einer allfälligen Einführung von Strassengebühren verhalten würden. Bitte nehmen Sie sich wiederum einige Minuten Zeit. Es ist für unsere Auswertungen sehr wichtig, dass Sie sich Ihre Antworten genau überlegen.*

*Dieser Fragebogen wurde auf der Grundlage Ihrer Angaben erstellt, die Sie im Interview vor einigen Tagen gemacht haben. Die aufgeführten Eigenschaften der Verkehrsmittel (z.B. Fahrzeiten, Fahrpreise) wurden computergestützt erzeugt und können deshalb unter Umständen etwas von den realen Werten abweichen. Wir bitten Sie dennoch um eine sorgfältige Beantwortung der Fragen, auch wenn Ihnen vielleicht manche Werte unrealistisch erscheinen.*

**Dieser Fragebogen soll ausgefüllt werden von**

**Vorname**

**KATRIN**

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

SP-R



### Fragebogen SP3

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Beispiel SP 3:Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl

Ihr Weg mit dem PW oder dem ÖV von Lostorf nach Rheinfelden, Ankunftszeit 17.50 h ist wie folgt beschrieben:



Beispiel

	 Auto	 Zug, Bus Tram
Abfahrtszeit	17.00	17.00
Fahrtzeit (min)	50 min	95 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	6,90 CHF	10,30 CHF
Umsteigehäufigkeit		3
Intervall		30 min
Höhe der Strassengebühr	0 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zehnte Reise

X ← Ihre Wahl →

Angenommen, die Situation wäre nun so, dass es nur zwei Möglichkeiten zu Ihrem Termin zu kommen gibt:



Situation 1

	 Auto	 Zug, Bus Tram
Abfahrtszeit	17.30	16.45
Fahrtzeit (min)	40 min	95 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	2,50 CHF	9,30 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Intervall		60 min
Höhe der Strassengebühr	4,00 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung von 10 min: nie
Ankunftszeit	18.10	18.20

□ ← Ihre Wahl → □



37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Situation 2

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Abfahrtszeit	17.30	16.45
Fahrtzeit (min)	50 min	85 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	2,50 CHF	9,30 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Intervall		60 min
Höhe der Strassengebühr	5,60 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung von 10 min: nie
Ankunftszeit	18.20	18.10

   **← Ihre Wahl →**   



Situation 3

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Abfahrtszeit	17.15	16.45
Fahrtzeit (min)	30 min	85 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	3,20 CHF	9,30 CHF
Umsteigehäufigkeit		4
Intervall		30 min
Höhe der Strassengebühr	4,00 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zehnte Reise
Ankunftszeit	17.45	18.10

   **← Ihre Wahl →**



37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Situation 4

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Abfahrtszeit	17.30	17.15
Fahrtzeit (min)	30 min	75 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	3,80 CHF	9,30 CHF
Umsteigehäufigkeit		3
Intervall		60 min
Höhe der Strassengebühr	4,00 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zehnte Reise
Ankunftszeit	18.00	18.30

← Ihre Wahl →



Situation 5

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Abfahrtszeit	17.30	17.15
Fahrtzeit (min)	40 min	85 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	2,50 CHF	13,40 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Intervall		20 min
Höhe der Strassengebühr	2,40 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zehnte Reise
Ankunftszeit	18.10	18.40

← Ihre Wahl →



37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Situation 6

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Abfahrtszeit	17.00	17.00
Fahrtzeit (min)	50 min	75 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	3,20 CHF	11,90 CHF
Umsteigehäufigkeit		3
Intervall		60 min
Höhe der Strassengebühr	5,60 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung von 10 min: nie
Ankunftszeit	17.50	18.15

   **← Ihre Wahl →**   

Situation 7

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Abfahrtszeit	17.15	17.00
Fahrtzeit (min)	30 min	75 min
Treibstoffkosten/ Fahrpreis	3,20 CHF	13,40 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Intervall		20 min
Höhe der Strassengebühr	8,00 CHF	
Verlässlichkeit	unverändert	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise
Ankunftszeit	17.45	18.15

   **← Ihre Wahl →**



## Mantel SP4



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

– Befragung zur Verkehrsfinanzierung 2005 –

### Fragebogen 4

## *Welches Verkehrsmittel und welche Route für Ihre Wege?*

*Mit diesem Fragebogen wollen wir erfahren, wie Sie sich bei der Wahl des Verkehrsmittels und Ihrer Route nach einer allfälligen Einführung von Strassengebühren verhalten würden. Bitte nehmen Sie sich wiederum einige Minuten Zeit. Es ist für unsere Auswertungen sehr wichtig, dass Sie sich Ihre Antworten genau überlegen.*

*Dieser Fragebogen wurde auf der Grundlage Ihrer Angaben erstellt, die Sie im Interview vor einigen Tagen gemacht haben. Die aufgeführten Eigenschaften der Verkehrsmittel (z.B. Fahrzeiten, Fahrpreise) wurden computergestützt erzeugt und können deshalb unter Umständen etwas von den realen Werten abweichen. Wir bitten Sie dennoch um eine sorgfältige Beantwortung der Fragen, auch wenn Ihnen vielleicht manche Werte unrealistisch erscheinen.*

**Dieser Fragebogen soll ausgefüllt werden von**

**Vorname**

**SIBYLLE**

39854-16800-03-1-2 141\_20060118

SP-R



## Fragebogen SP4

39854-16800-03-1-2 141\_20060118

Beispiel SP 4: Routen- und Verkehrsmittelwahl

Ihr Weg mit dem PW oder dem ÖV von Ostermündigen nach Bremgarten b. Bern ist wie folgt beschrieben:



Beispiel

	 Auto	 Zug, Bus Tram
Fahrtzeit (min)	15 min	30 min
Variable Fahrtkosten	1,20 CHF	1,80 CHF
Umsteigehäufigkeit		1
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		15 min
Intervall		5 min
Höhe der Strassengebühr	0 CHF	
Parkgebühren	0,00 CHF	

X      ← Ihre Wahl →



Angenommen, die Situation wäre nun so:

Situation 1

	 Auto	 Zug, Bus Tram
Fahrtzeit (min)	10 min	25 min
Variable Fahrtkosten	0,40 CHF	1,60 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		10 min
Intervall		10 min
Höhe der Strassengebühr	0,40 CHF	
Parkgebühren	2,00 CHF	



     ← Ihre Wahl →

Situation 2

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Fahrtzeit (min)	10 min	25 min
Variable Fahrtkosten	0,40 CHF	1,60 CHF
Umsteigehäufigkeit		0
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		10 min
Intervall		20 min
Höhe der Strassengebühr	0,70 CHF	
Parkgebühren	0,00 CHF	



← Ihre Wahl →

Situation 3

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Fahrtzeit (min)	10 min	25 min
Variable Fahrtkosten	0,40 CHF	1,60 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		10 min
Intervall		10 min
Höhe der Strassengebühr	0,70 CHF	
Parkgebühren	5,00 CHF	



← Ihre Wahl →

Situation 4

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Fahrtzeit (min)	10 min	25 min
Variable Fahrtkosten	0,70 CHF	2,30 CHF
Umsteigehäufigkeit		0
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		10 min
Intervall		10 min
Höhe der Strassengebühr	1,40 CHF	
Parkgebühren	5,00 CHF	



← Ihre Wahl →

Situation 5

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Fahrtzeit (min)	15 min	25 min
Variable Fahrtkosten	0,40 CHF	2,00 CHF
Umsteigehäufigkeit		1
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		15 min
Intervall		20 min
Höhe der Strassengebühr	1,00 CHF	
Parkgebühren	5,00 CHF	



← Ihre Wahl →

Situation 6

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Fahrtzeit (min)	10 min	25 min
Variable Fahrtkosten	0,50 CHF	2,00 CHF
Umsteigehäufigkeit		1
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		15 min
Intervall		20 min
Höhe der Strassengebühr	0,70 CHF	
Parkgebühren	0,00 CHF	

← Ihre Wahl →

Situation 7

	 <b>Auto</b>	 <b>Zug, Bus Tram</b>
Fahrtzeit (min)	10 min	25 min
Variable Fahrtkosten	0,40 CHF	2,30 CHF
Umsteigehäufigkeit		2
Zugangszeit zur ÖV Haltestelle		20 min
Intervall		20 min
Höhe der Strassengebühr	0,70 CHF	
Parkgebühren	5,00 CHF	

← Ihre Wahl →

## Weitere Fragen

### ETH

Eidgenössische technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

### Fragen zu Ihrer Person und zu Ihrem Haushalt

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Die folgenden Fragen dienen dem vertieften Verständnis Ihrer Antworten.

- (1) In dem Interview vor einigen Tagen haben Sie uns unter anderem den folgenden Weg berichtet:

Startort	Rheinfelden
Zielort	Lostorf
Via (1)	Sissach
Via (2)	
Via (3)	

Sie haben angegeben, dass der Anlass zu diesem Weg ein fester Termin war. Wann war dieser Termin?

..... Uhr

- (2) Gibt es alternative Routen für diesen Weg? Bitte beschreiben Sie 2 Alternativen und geben Sie an, wie häufig Sie diese benützen.

**Alternative 1:**

- (a) Verkehrsmittel .....
- (b) Wichtigste Strassen und Kreuzungen oder .....
- Linien und Umsteigepunkte, sie Sie verwenden .....
- .....
- (C) Nutzung pro Monat .....

**Alternative 2:**

- Verkehrsmittel .....
- Wichtigste Strassen und Kreuzungen oder .....
- Linien und Umsteigepunkte .....
- .....
- .....
- Nutzung pro Monat .....

**ETH**

Eidgenössische technische Hochschule Zürich  
 Swiss Federal Institute of Technology Zurich

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

- (3) Könnten Sie die Personenwagen, die Sie in der Regel nutzen, kurz beschreiben?

**keines**

**Am meisten genutztes Fahrzeug:**

Marke/Modell .....

Hubraum (Liter) .....

Verbrauch (Liter/100km) .....

Jahrgang .....

Besitzer                      Sie selbst                      Ihr Ehepartner  
    Ihre Firma                      weitere

**Am zweit meisten genutztes Fahrzeug:**

Marke/Modell .....

Hubraum (Liter) .....

Verbrauch (Liter/100km) .....

Jahrgang .....

Besitzer                      Sie selbst                      Ihr Ehepartner  
    Ihre Firma                      weitere

- (4) Wie viele Kilometer sind Sie in den letzten 12 Monaten selber mit einem PW (eigene Fahrzeuge, Mietwagen, ...) gefahren?

..... km                      gar nicht

- (5) Wie hoch sind Ihre monatlichen Parkkosten zu Hause?

SFr .....                      gratis                      trifft nicht zu

- (6) Wie hoch sind Ihre monatlichen Parkkosten am Arbeitsplatz?

SFr .....                      gratis                      trifft nicht zu

**ETH**

Eidgenössische technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

(7) Falls Sie letzte Woche gearbeitet haben, beschreiben Sie bitte kurz Ihr Pendlerverhalten:

Ich habe **Montag** ausser  
Haus gearbeitet ja  
nein

Falls ja:

Ich war unterwegs mit: MIV      ÖV      Fahrrad      zu Fuss

Habe gearbeitet in PLZ ..... Name .....

Habe übernachtet in PLZ ..... Name .....  
zu Hause

Ich habe **Dienstag** ausser  
Haus gearbeitet ja  
nein

Alle Details, wie Montag ja      nein

Falls nein:

Ich war unterwegs mit: MIV      ÖV      Fahrrad      zu Fuss

Habe gearbeitet in PLZ ..... Name .....

Habe übernachtet in PLZ ..... Name .....  
zu Hause

Ich habe **Mittwoch** ausser  
Haus gearbeitet ja  
nein

Alle Details, wie Dienstag ja      nein

Falls nein:

Ich war unterwegs mit: MIV      ÖV      Fahrrad      zu Fuss

Habe gearbeitet in PLZ ..... Name .....

Habe übernachtet in PLZ ..... Name .....  
zu Hause



**ETH**

Eidgenössische technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

37335-16796-05-1-2 141\_20060118

Ich habe **Donnerstag** ja  
ausser Haus gearbeitet nein

Alle Details, wie Mittwoch ja nein

Falls nein:

Ich war unterwegs mit: MIV ÖV Fahrrad zu Fuss

Habe gearbeitet in PLZ ..... Name .....

Habe übernachtet in PLZ ..... Name .....  
zu Hause

Ich habe **Freitag** ausser ja  
Haus gearbeitet nein

Alle Details, wie ja nein  
Donnerstag

Falls nein:

Ich war unterwegs mit: MIV ÖV Fahrrad zu Fuss

Habe gearbeitet in PLZ ..... Name .....

Habe übernachtet in PLZ ..... Name .....  
zu Hause

(8) Es wäre für die Untersuchung sehr wertvoll, wenn Sie uns Ihr Haushaltsjahreseinkommen (vor Steuern) angeben könnten:

- zwischen 0 und 20'000 Fr
- zwischen 20'000 und 40'000 Fr
- zwischen 40'000 und 60'000 Fr
- zwischen 60'000 und 80'000 Fr
- zwischen 80'000 und 100'000 Fr
- zwischen 100'000 und 125'000 Fr
- zwischen 125'000 und 150'000 Fr.
- mehr als 150'000 Fr.
- keine Angabe

**Vielen Dank für Ihre Hilfe !**

## A 2 Modelle für die Routen- und Verkehrsmittelwahl

Tabelle 77 Modellergebnisse SP2: Routen- und Abfahrtszeitwahl

Verkehrsmittel	Variable	Parameter	
MIV	Konstante_VMW	-0.19	
	IV-Reisezeit	-2.49	*
	Treibstoffkosten	-0.27	*
	Maut	-0.26	*
	Verfrühung_VMW	0.14	
	Verspätung	-0.44	*
	IV-Verlässlichkeit	-0.02	*
	PW-km	-0.01	*
	Alter	-0.01	*
Nichtlinearitätsparameter	$\lambda$ _Kosten_IV	0.07	
	$\lambda$ _Einkommen	-0.42	*
	$\lambda$ _Reisezeit	-0.26	*
Anzahl Beobachtungen		3927	
Finale Log-Likelihood		-2477.47	
Adj. Pseudo Rsq (B)		0.09	

(\*) signifikant auf 95% Niveau

Tabelle 78 Modellergebnisse SP3 und 4: Verkehrsmittel- und Abfahrtszeitwahl

Verkehrsmittel	Variable	Parameter	
MIV	Konstante_VMW	-0.47	*
	IV-Reisezeit	-1.96	*
	Treibstoffkosten	-0.10	*
	Maut	-0.12	*
	Parkgebühren	-0.18	*
	Verfrühung_VMW	-0.12	
	Verspätung	-0.55	*
	PW-Besitz	0.36	*
	PW-km	0.04	*
	Sprache französisch	-0.11	
	Sprache deutsch	-0.17	
	IV Weg berichtet	1.77	*
OEV	ÖV-Reisezeit	-1.55	*
	ÖV-Kosten	-0.12	*
	Zugangszeit	-2.24	*
	Intervall	-0.37	*
	Umsteigezahl	-0.15	*
	Verfrühung_VMW	-0.12	
	Verspätung	-0.55	*
	ÖV-Verlässlichkeit	-0.01	
	Alter	0.02	*
	GA-Besitzer	0.93	*
	Halbtax-Besitzer	0.55	*
Erwerbstätig	0.21	*	
Nichtlinearitätsparameter	$\lambda$ _Kosten_IV	-0.02	
	$\lambda$ _Kosten_ÖV	-0.18	*
	$\lambda$ _Einkommen	-0.28	*
	$\lambda$ _Reisezeit	-0.36	*
Anzahl Beobachtungen	9625		
Finale Log-Likelihood	-4238.28		
Adj. Pseudo Rsq (B)	0.36		
Skalierungsparameter SP3	1.00	fixed	
Skalierungsparameter SP4	1.05		

(\*) signifikant auf 95% Niveau

## A 3 Gesamtelastizitäten: Modellschätzung Hubraumkategorien

Hubraumkategorie	<1'350 ccm	1'351 – 1'650ccm	1'651 – 1'950 ccm
<i>Regression Statistics</i>			
Multiple R	0.367106104	0.307367083	0.307439912
R Square	0.134766892	0.094474524	0.0945193
Adjusted R Square	0.130528749	0.091456105	0.090499064
Standard Error	0.820949235	0.785484102	0.791067759
Observations	2668	3914	2942

<i>Koeffizienten</i>			
<b>Konstante</b>	18.20527878	12.3953776	13.5072177
<b>LnEinkommen</b>	-0.056014809	0.034928798	0.031935146
<b>LnTreibstoffkosten</b>	-1.358404695	-0.580463061	-0.70662325
<b>Auto/Per &lt;1</b>	0.006678587	0.039988973	0.042865066
<b>Auto/Per &gt;1</b>	-0.298859524	-0.108267686	-0.062016686
<b>Stadttagglomeration</b>	-0.006018697	0.052107342	0.042598049
<b>Land</b>	0.062357006	0.090203075	0.018576271
<b>ÖV-Erreichbarkeit</b>	-5.14945E-06	-6.60002E-07	-1.01142E-06
<b>MIV-Erreichbarkeit</b>	-3.19178E-07	-1.52031E-06	-2.94057E-06
<b>Arbeit/Ausbildung</b>	0.121440188	0.008792359	0.053643427
<b>Einkauf</b>	-0.318623976	-0.36552785	-0.31028715
<b>Freizeit</b>	-0.160536056	-0.278232647	-0.233644449
<b>Geschäftsreise</b>	-1.12791519	-1.358258745	-0.355182744
<b>Personen/Haushalt &lt;15</b>	0.508286754	0.682565225	0.744973321

	1'951 – 2'250 ccm	2'251 – 2550 ccm	> 2'251 ccm
<i>Regression Statistics</i>			
Multiple R	0.341918109	0.412455327	0.493198318
R Square	0.116907993	0.170119397	0.243244581
Adjusted R Square	0.114087999	0.163278276	0.238189175
Standard Error	0.757181342	0.726882957	0.840383857
Observations	4085	1591	1960

<i>Koeffizienten</i>			
<b>Konstante</b>	12.47899019	10.74739854	15.30656741
<b>LnEinkommen</b>	0.097402751	0.154925466	0.116558605
<b>LnTreibstoffkosten</b>	-0.599592693	-0.424661917	-1.002375684
<b>Auto/Per &lt;1</b>	0.029923185	0.051401152	0.052428092
<b>Auto/Per &gt;1</b>	-0.294085017	-0.329789232	-0.409233356
<b>Stadttagglomeration</b>	-0.031879963	0.059387622	0.05382514
<b>Land</b>	-0.010377501	0.082505853	0.107999865
<b>ÖV-Erreichbarkeit</b>	-2.88965E-06	-1.67945E-06	3.13937E-06
<b>MIV-Erreichbarkeit</b>	-1.92327E-06	-6.41994E-07	-2.72973E-06

<b>Arbeit/Ausbildung</b>	-0.130572625	-0.139609377	-0.154038107
<b>Einkauf</b>	-0.524515731	-0.614982506	-0.656768026
<b>Freizeit</b>	-0.387650662	-0.418243965	-0.355221211
<b>Geschäftsreise</b>	-0.505263364	-1.013037387	-0.118417828
<b>Personen/Haushalt &lt;15</b>	0.771365634	0.73351718	0.971316666

### Modellschätzung Fahrtzwecke

	<i>Arbeit/ Ausbildung</i>	<i>Einkauf</i>	<i>Freizeit</i>	<i>Geschäfts- reisen</i>
<i>Regression Statistics</i>				
Multiple R	0.26596129	0.35306807	0.26900225	0.408593253
R Square	0.07073541	0.12465706	0.07236221	0.166948446
Adjusted R Square	0.06922081	0.11952887	0.0699916	0.160791726
Standard Error	0.77819548	0.82961518	0.79021015	0.839862108
Observations	7990	2233	5101	1773

<i>Koeffizienten</i>				
	<i>Arbeit/ Ausbildung</i>	<i>Einkauf</i>	<i>Freizeit</i>	<i>Geschäfts- reisen</i>
<b>Konstante</b>	21.0252582	23.2183576	22.4628509	33.02334027
<b>LnEinkommen</b>	0.01346393	0.16849934	0.01081508	0.078036291
<b>LnTreibstoffkosten</b>	-1.5332278	-2.0950377	-1.7719845	-3.20216014
<b>Stadtagglomeration</b>	0.01330189	0.01488049	0.04074145	0.010026569
<b>Land</b>	0.03065167	0.11354916	0.04641682	0.060431569
<b>Auto/Per &lt;1</b>	0.00189603	0.23968824	0.03963536	0.027340538
<b>Auto/Per &gt;1</b>	-0.4029487	-0.3610389	-0.2586187	-0.27015262
<b>&lt;1'350 ccm</b>	-1.605931	-1.9012555	-1.7688985	-3.15995736
<b>1'351 – 1'650ccm</b>	-0.9239477	-1.0193625	-1.0257128	-1.79281134
<b>1'651 – 1'950 ccm</b>	-0.5422192	-0.5670061	-0.6004569	-1.19368522
<b>1'951 – 2'250 ccm</b>	-0.3044785	-0.3010562	-0.31283	-0.58885444
<b>&gt; 2'251 ccm</b>	0.09155624	0.08730006	0.19255694	0.272199462
<b>ÖV-Erreichbarkeit</b>	8.4095E-08	-4.917E-06	-1.747E-06	-9.5684E-06
<b>MIV-Erreichbarkeit</b>	-2.958E-06	-2.423E-06	-9.506E-07	3.51753E-06