

Analyse der SP-Befragung 2015 zur Verkehrsmodus- und Rou- tenwahl



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Raumentwicklung ARE
Office fédéral du développement territorial ARE
Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE
Uffizi federal da svilup dal territori ARE

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Autoren

Dr. Claude Weis, TransOptima GmbH, Zürich

Dr. Milenko Vrtic, TransOptima GmbH, Zürich

Basil Schmid, IVT ETH, Zürich

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

Begleitung

Dr. Antonin Danalet (ARE)

Dr. Andreas Justen (ARE)

Dr. Nicole Mathys (ARE)

Dr. Christian Schiller (externer Berater ARE)

Dorina Markus (ASTRA)

Julie Lietha (BAV)

Kurt Erni (Kanton Solothurn)

Tobias Ramser (Kanton Bern, bis 31.08.2017)

Barbara Hofer (Kanton Bern, ab 01.09.2017)

Wolfgang Scherr (SBB)

Loris Ambrosini (Kanton Tessin)

Pascal Bovey (Kanton Wallis)

Sascha Bundi (Kanton St. Gallen)

Stefan Bürgler (Kanton Zug)

Sabine Cantaluppi (Kanton Basel-Landschaft)

Damien Cataldi (Kanton Genf)

Sara El Kabiri (Kanton Waadt)

Gordon Finné (Kanton Aargau)

Christian Liaudat (Kanton Waadt)

Alexandre Métrailler (Kanton Wallis)

Danièle Müller (Kanton Luzern)

Orhan Özkul (Kanton Zürich)

Michael Redle (Kanton Basel-Stadt)

Georg Thomann (Kanton Graubünden)

Produktion

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

Bezugsquellen

Elektronische Version: www.are.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	V
Zusammenfassung.....	VII
Résumé	XI
Riassunto	XV
1 Einleitung	1
2 Operationalisierung der Analyseperimeter und -anliegen	2
2.1 Operationalisierung der Analyseperimeter.....	2
2.1.1 Ziel	2
2.1.2 Analyse der Verhaltenskenngrossen	3
2.1.3 Clusteranalyse	6
2.1.4 Aufteilung der Analyseregionen	7
2.2 Operationalisierung der Analyseanliegen	11
2.2.1 Entscheidungsmodelle.....	11
2.2.2 Umsetzung in Verkehrsmodellen	12
2.2.3 Schätzung der Modellparameter.....	13
2.2.4 Umgang mit SP-Daten	15
2.2.5 Datengrundlage	16
2.2.6 Skaleneffekte	17
2.2.7 Einbezogene Variablen	18
2.2.8 Modelle mit linearen Nutzenfunktionen	22
2.2.9 Modelle mit nicht-linearen Nutzenfunktionen	23
2.2.10 Fahrtzweckspezifische Modelle	27
2.2.11 Modellformulierung und Vorgehen	27
3 Analyse der Verkehrsmodus- und Routenwahl	28
3.1 Deskriptive Analyse der Daten	28
3.2 Modellentwicklung.....	31
3.2.1 Modell mit linearen Nutzenfunktionen ohne Soziodemographie	31
3.2.2 Modell mit linearen Nutzenfunktionen mit Soziodemographie	33
3.2.3 Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen	39
3.2.4 Fahrtzweckspezifisches Modell	44
3.2.5 Regionale Differenzierung	48
3.3 Modellergebnisse	49
3.3.1 Modelle für den Gesamtdatensatz	53
3.3.2 Modelle für die Analyseregionen und den Perimeter GVM BE & SO	57
3.4 Analyse der Modellqualität	73

3.4.1	Berechnete Wahrscheinlichkeit der gewählten Alternative	73
3.4.2	Höchste berechnete Wahrscheinlichkeit	74
3.4.3	Berechnete Wahrscheinlichkeit nach Verkehrsmittel	75
3.4.4	Berechnete Wahrscheinlichkeit nach Distanz	76
3.4.5	Kreuzvalidierung der Ergebnisse	78
3.5	Ableitung von Kenngrössen	80
3.5.1	Zahlungsbereitschaften.....	80
3.5.2	Nachfrageelastizitäten	94
3.6	Einsatz in Verkehrsmodellen	102
3.6.1	Formulierung der Nutzenfunktionen.....	102
3.6.2	Differenzierung nach Fahrtzwecken	102
3.6.3	Differenzierung nach Analyseregionen.....	103
4	Weiterführende Modelle.....	106
4.1	Zeitvergleich.....	107
4.1.1	Datengrundlage und Methodik.....	108
4.1.2	Unterschiede in geschätzten Koeffizienten	111
4.1.3	Unterschiede in geschätzten Bewertungsindikatoren.....	117
4.1.4	Schlussfolgerungen zum Zeitvergleich	126
4.2	Verkehrspolitische Einstellungen.....	128
4.2.1	Datengrundlage und Methodik.....	131
4.2.2	Resultate des generalisierten Strukturgleichungsmodells.....	133
4.2.3	Interaktionseffekte der Angebotsvariablen mit den latenten Variablen.....	135
4.2.4	Schlussfolgerungen zu den verkehrspolitischen Einstellungen	139
4.3	Bahn- und Fernverkehr.....	142
4.3.1	Datengrundlage und Methodik.....	143
4.3.2	Nach Distanz segmentierte Modelle mit Bahn als Hauptverkehrsmittel	146
4.3.3	Interaktionseffekte der Angebotsvariablen mit dem verfügbaren ÖV Hauptverkehrsmittel.....	149
4.3.4	Schlussfolgerungen zum Bahn- und Fernverkehr	152
5	Literatur	154
6	Abkürzungen	160
	Anhänge.....	161
	A1 Modal Split und mittlere Weglänge nach Kanton.....	161
	A2 Stichprobengrösse nach Kanton	162
	A3 Zahlungsbereitschaften für regionale Modelle	163
	A4 Modellschätzung mit neuer BFS-Gemeindetypologie.....	171
	A5 Modellschätzungen für Zeitvergleich	174

A6 Modellschätzungen für Interaktionen mit verkehrspolitische Einstellungen.....	178
A7 Modellschätzungen für Bahn- und Fernverkehr.....	181

Abstract

Deutsch

Ziel des Projekts ist die Schätzung robuster, plausibler und möglichst differenzierter Modelle der Verkehrsmittel- und Routenwahl auf der Grundlage der Daten der SP-Befragung 2015. Das primäre Anwendungsfeld der zu erwartenden Ergebnisse sind makroskopische Verkehrsmodelle, in welchen die hier ermittelten Parameter für die Bewertung der vorhandenen Alternativen eingesetzt werden.

Die Modellschätzungen führen durchgängig zu plausiblen Ergebnissen. Die wichtigen Parameter konnten mit einer ausreichend grossen statistischen Signifikanz geschätzt werden. Die Grössenordnungen und Verläufe der resultierenden Kenngrössen, wie z.B. Zahlungsbereitschaften und Nachfrageelastizitäten, liegen im Bereich der Ergebnisse früherer SP-Studien. So ergeben sich beispielsweise für die bevölkerungsgemittelten Zeitwerte von 13.- CHF pro Stunde im motorisierten Individualverkehr (MIV) und 12.- pro Stunde im öffentlichen Verkehr (ÖV). So ist die Schweizer Bevölkerung bereit, 12 bis 13 Franken zu zahlen, um eine Stunde Reisezeit einzusparen, das heisst 2 Franken, um 10 Minuten Reisezeit einzusparen. Die Nachfrageelastizitäten für die Fahrtzeit betragen -0.1 im MIV und -0.8 im ÖV, jene für die Kosten -0.1 im MIV und -0.5 im ÖV. Dies bedeutet, dass Autofahrer weniger empfindlich gegenüber Veränderungen der Fahrtzeit und der Kosten sind als ÖV-Nutzer. Des Weiteren würde im ÖV eine Reduktion der Fahrtzeiten um 1% zu einem grösseren Anstieg der Nachfrage führen als eine Reduktion der Preise um 1%. Diese Lesebeispiele sind als Mittelwerte zu verstehen; im vorliegenden Bericht variieren die Kennwerte abhängig von der Reiseweite, vom Fahrtzweck, vom Einkommen etc.

Français

Le projet a pour but l'estimation de modèles de choix modal et d'itinéraire robustes, plausibles et aussi nuancés que possible, sur la base des données du questionnaire de préférences déclarées (SP) 2015. Les résultats escomptés doivent servir en premier lieu à des modèles macroscopiques de transport, dans lesquels les paramètres identifiés ici sont utilisés pour l'évaluation des options existantes.

L'estimation des modèles mène de manière constante à des résultats plausibles. Il a été possible d'estimer les paramètres importants avec une pertinence statistique suffisante. Les ordres de grandeur et l'évolution des variables résultantes, telles la disposition à payer et l'élasticité de la demande, sont comparables aux résultats des études précédentes. Les valeurs du temps pour la moyenne de la population sont par exemple de 13.- CHF par heure dans les transports individuels motorisés (TIM), et de 12.- par heure dans les transports publics (TP). La popula-

tion suisse est donc disposée à payer 12 à 13 francs pour économiser une heure de trajet, soit 2 francs par 10 minutes de temps gagné. L'élasticité de la demande pour le temps de trajet est de -0,1 dans les TIM et de -0,8 dans les TP ; pour les coûts, elle est de -0,1 dans les TIM et de -0,5 dans les TP. Autrement dit, les automobilistes réagissent moins aux variations de la durée de trajet et des coûts que les usagers des TP. En outre, dans les TP, une réduction des temps de trajet de 1% entraînerait une plus grande croissance de la demande qu'une diminution des prix de 1%. Ces exemples choisis doivent cependant être compris comme des valeurs moyennes ; dans le présent rapport, les valeurs caractéristiques varient en fonction de la longueur du voyage, du but du trajet, du revenu des personnes, etc.

Italiano

L'obiettivo del progetto è stimare modelli di scelta modale e di percorso consolidati, plausibili e possibilmente differenziati, sulla base dei dati dell'indagine complementare sulle preferenze dichiarate 2015 (stated preference, SP). Il principale campo di applicazione dei risultati attesi è costituito da modelli di trasporto macroscopici, nei quali i parametri qui identificati possono essere utilizzati per valutare le alternative esistenti.

La stima dei modelli porta sistematicamente a risultati plausibili. I parametri principali hanno potuto essere stimati con una sufficiente significatività statistica. Gli ordini di grandezza e l'evoluzione dei parametri risultanti, come la disponibilità a pagare e l'elasticità della domanda, si situano nel campo dei valori registrati negli studi SP precedenti: i valori di tempo per la media della popolazione sono pari a 13 franchi all'ora per il trasporto individuale motorizzato (TIM) e 12 franchi all'ora per i trasporti pubblici (TP). La popolazione svizzera è dunque disposta a pagare 12 - 13 franchi per risparmiare un'ora di viaggio; vale a dire, 2 franchi per 10 minuti di tempo da risparmiare. L'elasticità della domanda per il tempo di viaggio è di -0,1 per il TIM e -0,8 per i TP, quella per i costi -0,1 per il TIM e -0,5 per i TP. Ciò significa che gli automobilisti sono meno sensibili alle variazioni dei tempi di viaggio e dei costi rispetto agli utenti dei TP. Inoltre, nei TP una riduzione dei tempi di viaggio dell'1 per cento porterebbe a una maggiore crescita della domanda rispetto a una riduzione dei prezzi dell'1 per cento. Questi esempi menzionati vanno tuttavia intesi come valori mediani; nel presente rapporto i parametri variano in funzione della lunghezza del percorso, del motivo dello spostamento, del reddito ecc.

Zusammenfassung

Einleitung und Ziele

Die Bundesämter für Raumentwicklung (ARE) und Statistik (BFS) führen im 5-Jahres-Rhythmus den Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV; BFS und ARE, 2012, 2017) durch, der sowohl bezüglich der Wegecharakteristiken als auch der Personenstichprobe repräsentativ für die Schweiz ist. Im Jahr 2015 wurde bereits zum zweiten Mal im Auftrag des ARE und mit der Unterstützung der Bundesämter für Strassen (ASTRA), für Verkehr (BAV), für Energie (BFE) und Umwelt (BAFU), der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) sowie mehrerer Kantone (ZH, BE, LU, ZG, SO, BS, BL, SG, GR, AG, TG, TI, VD, VS, GE) eine an den MZMV gekoppelte *Stated Preference* (SP) Befragung zur Verkehrsmittel- und Routenwahl durchgeführt (ARE, 2016).

Die erhobenen SP-Daten sind eine geeignete Grundlage für die Schätzung von Entscheidungsmodellen und die Aktualisierung der Modellansätze des nationalen und der kantonalen Verkehrsmodelle. Diese sind der Gegenstand des vorliegenden Projekts. Für die Anwendung im Bereich der Verkehrsmodellierung sind mit den vorliegenden *Revealed Preference* (RP) und SP-Daten neue Erkenntnisse bezüglich der Erklärungskraft des Wahlverhaltens und der Abwägungsprozesse zwischen verschiedenen Attributen zu erwarten.

Ziel des Projekts ist die Schätzung robuster, plausibler und möglichst differenzierter Modelle der Verkehrsmittel- und Routenwahl auf der Grundlage der beschriebenen Daten. Das primäre Anwendungsfeld der zu erwartenden Ergebnisse sind makroskopische Verkehrsmodelle, in welchen die hier ermittelten Parameter für die Bewertung der vorhandenen Alternativen eingesetzt werden.

Die Übernahme der Ergebnisse des vorliegenden Projekts in verkehrspolitischen Anwendungen erlaubt eine Verfeinerung der aus diesen hervorgehenden Empfehlungen und stellt diese auf eine solide Grundlage.

Operationalisierung der Analyseanliegen

Zur Analyse des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer und deren Reaktion auf Veränderungen in den Attributen der Verkehrsmittelalternativen werden diskrete Entscheidungsmodelle verwendet. Diese eignen sich für die Abbildung von Entscheidungen von Einzelpersonen in einem Kontext mit diskret voneinander abgetrennten Alternativen, wie sie hier vorliegen.

Die kombinierte bzw. sequentielle Erhebung von *Revealed* (beobachteten, RP) und *Stated* (deklarierten, SP) Präferenzen und darauf basierende Modellschätzungen wurden in der Schweiz und im nahen Ausland in den vergangenen Jahren in zahlreichen Projekten erfolgreich angewandt. Die Methodik zur Modellierung der Entscheidungen orientiert sich denn auch sehr stark an den Erfahrungen aus den oben genannten Projekten. Es wird sichergestellt, dass die Modelle plausibel und in der Praxis, also in Verkehrsmodellen oder bei der Kosten-Nutzen-Analyse, anwendbar sind.

Es wurde ein Modellkonzept gewählt, welches die Schätzung sowohl gesamtschweizerischer als auch regional differenzierter Modelle beinhaltet. Deren Formulierungen sind untereinander konsistent, sämtliche Modelle enthalten also dieselben Einflussvariablen und dieselben Formulierungen der Nutzenfunktionen. Für die Nutzenfunktionen wurde ein nicht-linearer Ansatz mit Interaktionstermen gewählt, welcher eine grössere Flexibilität und somit auch eine höhere Modellqualität erlaubt.

Analyse der Verkehrsmodus- und Routenwahl

Es wurde eine deskriptive und auf Entscheidungsmodellen basierende Analyse der Befragungsdaten vorgenommen. Aufbauend auf den Testmodellen (aus ARE, 2016) wurden die Modelle weiterentwickelt und mit zusätzlichen Einflussvariablen und Nicht-Linearitäten angereichert. Zunächst wurde ein Modell mit linearen Nutzenfunktionen ohne den Einbezug der Soziodemographie der Befragten geschätzt. In dieses Modell wurden als erste Erweiterung die soziodemographischen Eigenschaften der Befragten als Einflüsse auf deren Verkehrsverhalten eingebaut. Als nächstes wurden die Nutzenfunktionen um nicht-lineare Komponenten (Interaktionsterme) erweitert. Dann wurde die Trennung nach Fahrtzwecken vorgenommen und für jeden vorliegenden Fahrtzweck eigene Parameter geschätzt. Abschliessend wurde die regionale Differenzierung des Datensatzes implementiert, so dass für jede Analyseregion eigene Parameter geschätzt werden konnten. Diese Verfeinerungen des Modells entsprechen dem Stand der Technik bei der Etablierung von Entscheidungsmodellen und erlauben einen Einsatz der Ergebnisse bei Anwendungen mit einem deren Betrachtungsebene entsprechenden Differenzierungsgrad.

Die Modellschätzungen führen durchgängig zu plausiblen Ergebnissen. Die wichtigen Parameter konnten mit einer ausreichend grossen statistischen Signifikanz geschätzt werden. Die Grössenordnungen und Verläufe der resultierenden Kenngrössen, wie z.B. Zahlungsbereitschaften und Nachfrageelastizitäten, liegen im Bereich der Ergebnisse früherer SP-Studien. So ergeben sich beispielsweise für die bevölkerungsgemittelten Zeitwerte von 13.- CHF pro Stunde im motorisierten Individualverkehr (MIV) und 12.- pro Stunde im öffentlichen Ver-

kehr (ÖV). So ist die Schweizer Bevölkerung bereit, 12 bis 13 Franken zu zahlen, um eine Stunde Reisezeit einzusparen, das heisst 2 Franken, um 10 Minuten Reisezeit einzusparen. Die Nachfrageelastizitäten für die Fahrtzeit betragen -0.1 im MIV und -0.8 im ÖV, jene für die Kosten -0.1 im MIV und -0.5 im ÖV. Dies bedeutet, dass Autofahrer weniger empfindlich gegenüber Veränderungen der Fahrtzeit und der Kosten sind als ÖV-Nutzer. Des Weiteren würde im ÖV eine Reduktion der Fahrtzeiten um 1% zu einem grösseren Anstieg der Nachfrage führen als eine Reduktion der Preise um 1%. Diese Lesebeispiele sind als Mittelwerte zu verstehen; im vorliegenden Bericht variieren die Kennwerte abhängig von der Reiseweite, vom Fahrtzweck, vom Einkommen etc.

Untenstehende Tabelle zeigt die bevölkerungsgewichteten und nach Fahrtzwecken gegliederten Zahlungsbereitschaften für alle in den Modellen berücksichtigten Einflussvariablen auf.

Attribut		Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausbildung	Einkauf	Nutzfahrt	Freizeit
Fuss	Gehzeit [h]	6.0	6.7	11.6	4.5	26.1	6.1
Velo	Fahrtzeit [h]	9.9	7.9	8.2	9.9	32.6	10.3
MIV	Fahrtzeit [h]	13.2	14.6	15.8	10.3	24.6	12.1
	Parkplatzsuchzeit [h]	25.7	26.4	19.8	23.2	41.7	24.3
	Verspätung [h]	26.9	23.6	22.8	21.8	44.3	30.0
ÖV	Fahrtzeit [h]	12.3	12.4	13	10.9	29.1	11.2
	Zu- und Abgangszeit [h]	13.3	16.0	15.9	12.8	34.5	8.2
	Umsteigen [-]	1.3	1.1	1.5	1.3	4.1	1.3
	Wartezeit [h]	9.1	8.6	7.1	9.2	45.0	6.7
	Takt [h]	4.0	3.4	5.1	5.3	11.8	3.0
	Verspätung [h]	30.8	28.5	26.8	26.7	57.0	34.2

Somit sind die Ergebnisse der Entscheidungsmodelle für die vorgesehenen Zwecke, vorab den Einsatz in Verkehrsmodellen und die daraus hervorgehende Ableitung verkehrspolitischer Empfehlungen, bestens geeignet.

Weitergehende Analysen

Zeitvergleich: Die aus Sicht der Verkehrsplanung wichtigsten Indikatoren – die Bewertung der MIV- und ÖV-Fahrtzeit – unterscheiden sich zwischen den beiden SP-Erhebungen 2010 und 2015 nicht, wodurch man von einer gewissen Konstanz der Parameter ausgehen kann. Auch kann es sich speziell für Teilgruppen (z.B. Kantone) mit einer kleinen Teilstichprobe lohnen, die beiden Datensätze gemeinsam und somit die Parameter robuster und präziser zu schätzen. Die Reisezeitbewertungen im Langsamverkehr sowie die Umsteigevorgänge weisen jedoch substantielle Diskrepanzen auf, die auf methodische Unterschiede im Routing zwischen 2010 und 2015 zurückzuführen sind. Um solche Unterschiede auszugleichen, kann es für die Verkehrsmodellierung von Vorteil sein, auch diese Parameter gemeinsam zu schätzen.

Verkehrspolitische Einstellungen: Den zusätzlichen Erklärungsgehalt der Verkehrsmodus- und Routenwahlmodelle unter Berücksichtigung der verkehrspolitischen Einstellungen der Befragten zu quantifizieren, führt zu einem tieferen Verständnis der individuellen Entscheidungsprozesse. Diese Einstellungen z.B. „für mehr Abgaben im Strassenverkehr“ oder „für mehr Investitionen in die öffentliche Infrastruktur“ werden anhand von beobachtbaren, soziodemographischen Charakteristiken identifiziert, was speziell für die Verkehrspolitik von grossem Interesse sein kann. Werden diese Einstellungen in den Entscheidungsmodellen mitberücksichtigt, so zeigen sie zwar Effekte auf die Wahlwahrscheinlichkeiten der jeweiligen Verkehrsmittel, tragen aber nicht zu einer substantiellen Verbesserung der Modellgüte bei und führen kaum zu Unterschieden bezüglich der Zahlungsbereitschaften.

Bahn- und Fernverkehr: Abschliessend wird untersucht, ob sich das Verkehrsverhalten und die Bewertung von Angebotsvariablen im Bahn- und Fernverkehr gegenüber dem MIV- und Mittelstreckenverkehr unterscheidet, wobei der Fokus im komparativen Vorteil der Bahn gegenüber anderen Verkehrsmitteln liegt. Da eine starke Korrelation zwischen der Distanz und Bahnverfügbarkeit vorliegt und das einzige ÖV Konkurrenzverkehrsmittel für längere Distanzen die S-Bahn ist, kann man anhand der Daten einen solchen Bahnbonus nicht identifizieren. Da die Effekte praktisch deckungsgleich sind mit einem nach Distanz segmentierten Kontrollmodell, wo die Bahn *immer* verfügbar ist, können die Unterschiede in der Bewertung der Angebotsvariablen nicht der Bahn zugeschrieben werden. Um einen solchen Bahnbonus zu identifizieren, müssten die Anforderungen an die SP Datenerhebung angepasst werden. Dies erfordert, dass auch für längere Distanzen (hypothetische) ÖV Konkurrenzverkehrsmittel (wie z.B. Fernbusse) verfügbar sind.

Résumé

Introduction et objectifs

L'Office fédéral du développement territorial (ARE) et l'Office fédéral de la statistique (OFS) effectuent tous les cinq ans le microrecensement mobilité et transports (MRMT ; OFS et ARE, 2012, 2017), qui donne une image représentative de la Suisse quant aux caractéristiques des trajets et quant à l'échantillonnage des personnes interrogées. En 2015, un sondage sur les préférences déclarées (*Stated Preferences*, SP) concernant le choix du moyen de transport et de l'itinéraire est venu pour la deuxième fois compléter le MRMT. Ce sondage a été mené sur mandat de l'ARE, avec le soutien des Offices fédéraux des routes (OFROU), des transports (OFT) et de l'environnement (OFEV), des Chemins de fer fédéraux (CFF) et de plusieurs cantons (ZH, BE, LU, ZG, SO, BS, BL, SG, GR, AG, TG, TI, VD, VS, GE) (ARE, 2016).

Les données SP recueillies constituent une base adéquate pour l'estimation des modèles de choix et la mise à jour du modèle national du trafic voyageurs et des modèles de transport cantonaux. L'estimation des modèles de choix fait l'objet du présent projet. Pour l'application dans le domaine de la modélisation des transports, les données existantes de préférences révélées (*Revealed Preferences*, RP) et déclarées (SP) devraient permettre d'obtenir de nouvelles informations sur les attributs de la prise de décision et les compromis entre ces divers attributs.

Le projet a pour but l'estimation de modèles de choix modal et d'itinéraire consistants, plausibles et aussi nuancés que possible, sur la base des données décrites. Les résultats escomptés doivent servir en premier lieu à des modèles macroscopiques de transport, dans lesquels les paramètres identifiés ici sont utilisés pour l'évaluation des différentes options.

La prise en compte des résultats du présent projet dans des applications de politique des transports permet de préciser les recommandations qui en découlent et leur donne une base solide.

Opérationnalisation des objectifs d'analyse

Pour l'analyse du comportement des usagers et de leur réaction aux changements affectant les attributs des solutions proposées quant au moyen de transport, on utilise des modèles de choix discret. Ces modèles conviennent pour représenter le choix des individus face à un ensemble d'options distinctes les unes des autres.

Au cours des dernières années, la collecte combinée et séquentielle de données de préférences révélées (*Revealed Preferences*, RP) et de préférences déclarées (*Stated Preferences*, SP), et

les estimations de modèles qui se fondent sur ces données ont été utilisées avec succès dans de nombreux projets en Suisse et dans les pays voisins. L'approche utilisée dans ce rapport pour la modélisation du choix se réfère très fortement aux expériences faites dans ces projets. On a ainsi la garantie que les modèles sont plausibles et applicables dans la pratique, c'est-à-dire dans des modèles de transport ou dans les analyses coûts-bénéfices.

L'approche choisie comporte des estimations de modèles valables pour l'ensemble de la Suisse autant que pour des modèles régionaux. Leurs formulations sont cohérentes entre elles. Tous les modèles contiennent donc les mêmes variables déterminantes et les mêmes formulations des fonctions d'utilité. Pour les fonctions d'utilité, on a choisi une approche non linéaire avec des termes d'interaction, qui présente une plus grande souplesse et améliore donc la qualité du modèle.

Analyse du choix du mode de transport et de l'itinéraire

Une analyse descriptive et une estimation de modèles de choix ont été effectuées sur les données du sondage. Les modèles tests (tirés d'ARE, 2016) ont permis de perfectionner les modèles et de les compléter par des variables déterminantes supplémentaires et des non-linéarités. On a d'abord évalué un modèle à fonctions d'utilité linéaires sans prise en compte des caractéristiques socio-démographiques des personnes interrogées. Le premier perfectionnement a consisté à ajouter à ce modèle les caractéristiques socio-démographiques des personnes interrogées comme facteurs déterminants de leur comportement en matière de transports. Puis les fonctions d'utilité ont été complétées par des composantes non linéaires (termes d'interaction). Une distinction a ensuite été faite en fonction du motif de déplacement, et les paramètres propres à chaque motif de déplacement ont été évalués. L'étape finale a été la différenciation régionale des données, de manière à pouvoir évaluer des paramètres propres à chaque région d'analyse. Ces perfectionnements du modèle satisfont au niveau actuel des techniques d'établissement de modèles de choix et permettent d'utiliser les résultats dans des applications avec un degré de différenciation correspondant au niveau d'analyse.

L'estimation des modèles mène de manière constante à des résultats plausibles. Les paramètres importants sont statistiquement significatifs. Les ordres de grandeur et l'évolution des variables résultantes, telles la disposition à payer et l'élasticité de la demande, sont comparables aux résultats des études précédentes. Les valeurs du temps pour la moyenne de la population sont par exemple de 13.- CHF par heure dans les transports individuels motorisés (TIM), et de 12.- CHF par heure dans les transports publics (TP). La population suisse est donc disposée à payer 12 à 13 francs pour économiser une heure de trajet, soit 2 francs par 10 minutes de temps gagné. L'élasticité de la demande pour le temps de trajet est de -0,1 dans les

TIM et de -0,8 dans les TP ; pour les coûts, elle est de -0,1 dans les TIM et de -0,5 dans les TP. Autrement dit, les automobilistes réagissent moins aux variations de la durée de trajet et des coûts que les usagers des TP. En outre, dans les TP, une réduction des temps de trajet de 1% entraînerait une plus grande croissance de la demande qu'une diminution des prix de 1%. Ces exemples choisis doivent cependant être compris comme des valeurs moyennes ; dans le présent rapport, les valeurs caractéristiques varient en fonction de la longueur du voyage, du but du trajet, du revenu des personnes, etc.

Le tableau ci-dessous montre la disposition à payer, pondérée par la population, en fonction du motif de déplacement, pour toutes les variables prises en compte dans les modèles.

Attribut		Motif de déplacement					
		Tous	Travail	Formation	Achats	Utilitaire	Loisirs
Pied	Temps de marche [h]	6.0	6.7	11.6	4.5	26.1	6.1
Vélo	Temps de trajet [h]	9.9	7.9	8.2	9.9	32.6	10.3
TIM	Temps de trajet [h]	13.2	14.6	15.8	10.3	24.6	12.1
	Temps recherche place stationnement [h]	25.7	26.4	19.8	23.2	41.7	24.3
	Retard [h]	26.9	23.6	22.8	21.8	44.3	30.0
TP	Temps de trajet [h]	12.3	12.4	13	10.9	29.1	11.2
	Temps de et vers les arrêts [h]	13.3	16.0	15.9	12.8	34.5	8.2
	Changements [-]	1.3	1.1	1.5	1.3	4.1	1.3
	Temps d'attente [h]	9.1	8.6	7.1	9.2	45.0	6.7
	Fréquence [h]	4.0	3.4	5.1	5.3	11.8	3.0
	Retard [h]	30.8	28.5	26.8	26.7	57.0	34.2

Les résultats des modèles de choix sont ainsi parfaitement appropriés pour les buts recherchés, en tout premier lieu pour leur utilisation dans les modèles de transport et les recommandations faites sur cette base en matière de politique des transports.

Analyses détaillées

Comparaison temporelle 2010-2015 : Les indicateurs les plus importants du point de vue de la planification des transports – l'évaluation des temps de trajet TIM et TP – ne présentent pas de différences entre les enquêtes SP 2010 et 2015. On peut donc admettre une certaine constance des paramètres. En particulier pour des sous-groupes (cantons par exemple) à petit échantillon, il peut se révéler utile d'évaluer conjointement les deux ensembles de données, pour avoir des paramètres plus robustes et plus précis. Les écarts importants qui apparaissent dans l'évaluation du temps de trajet de la mobilité douce et dans les changements de moyen de transport sont à imputer à des différences méthodologiques dans le routage entre 2010 et 2015. Afin de compenser de telles différences, il peut aussi être utile, pour la modélisation des transports, d'évaluer également ces paramètres de manière conjointe.

Attitudes sur la politique des transports : La prise en compte des attitudes individuelles sur la politique des transports comme attribut des modèles de choix modal et d'itinéraire permet une compréhension plus détaillée des processus de décision des individus. Ces attitudes individuelles, par exemple « *pour plus de redevances dans le trafic routier* » ou « *pour plus d'investissements dans l'infrastructure publique* » sont identifiées à l'aide de caractéristiques socio-démographiques observables, ce qui peut présenter un grand intérêt, en particulier pour la politique des transports. Si ces attitudes sont prises en compte dans les modèles de choix, elles influencent les probabilités de choix entre les différents moyens de transport, mais ne contribuent pas à améliorer substantiellement le modèle et changent peu la disposition à payer.

Chemin de fer et transports à longue distance : L'étude examine pour terminer si le comportement en matière de transport et l'estimation des variables de l'offre ferroviaire et de l'offre à longue distance diffèrent d'avec les TIM et les transports à moyenne distance. L'accent est mis sur l'avantage comparatif du chemin de fer par rapport aux autres moyens de transport. Comme il existe une étroite corrélation entre la distance parcourue et la disponibilité du choix du train, et que pour les longues distances, le seul moyen de transport public en concurrence est le RER, les données ne permettent pas d'identifier un avantage pour le chemin de fer. Et comme les effets sont pratiquement identiques avec un modèle de contrôle segmenté en fonction de la distance où il y a *toujours* un chemin de fer à disposition, il n'est pas possible d'imputer au chemin de fer les différences de valeurs des variables estimées. Afin de pouvoir identifier un avantage du chemin de fer, il faut adapter les exigences quant à la collecte des données SP. Mais la condition pour cela est d'avoir, pour les longues distances également, d'autres moyens (hypothétiques) de transport publics en concurrence (comme par exemple l'autocar).

Riassunto

Premessa e obiettivi

Gli Uffici federali dello sviluppo territoriale (ARE) e di statistica (UST) ogni cinque anni conducono il Microcensimento mobilità e trasporti (MCMT; UST e ARE, 2012, 2017), che consente di illustrare in modo rappresentativo sul piano nazionale le caratteristiche dei tragitti e le informazioni relative a un campione di persone. Nel 2015, su incarico dell'ARE e con il sostegno degli Uffici federali delle strade (USTRA), dei trasporti (UFT), dell'energia (UFE) e dell'ambiente (UFAM), delle Ferrovie federali svizzere (FFS) e numerosi Cantoni (ZH, BE, LU, ZG, SO, BS, BL, SG, GR, AG, TG, TI, VD, VS, GE), a completamento del MCMT si è svolta un'indagine sulle preferenze dichiarate *Stated Preference* (SP) relative alla scelta del mezzo di trasporto e del percorso (ARE, 2016).

I dati SP rilevati costituiscono una base adeguata per la stima dei modelli di scelta e l'aggiornamento del modello nazionale del traffico viaggiatori e dei modelli di trasporto cantonali. La stima dei modelli di scelta è oggetto di studio del presente progetto. Per poterli trasferire nella modellizzazione del traffico, i dati esistenti sulle preferenze rilevate *Revealed Preference* (RP) e dichiarate (SP) dovrebbero permettere di ottenere nuove informazioni sugli attributi della scelta e dei processi di ponderazione.

L'obiettivo del progetto è stimare modelli di scelta modale e di percorso consolidati, plausibili e possibilmente differenziati, sulla base dei dati dell'indagine complementare sulle preferenze dichiarate 2015 (*stated preference*, SP). Il principale campo di applicazione dei risultati attesi è costituito da modelli di trasporto macroscopici, nei quali i parametri qui identificati possono essere utilizzati per valutare le alternative esistenti.

La ripresa dei risultati emersi dal presente progetto in applicazioni concernenti la politica dei trasporti permette di precisare le raccomandazioni che ne derivano, dando loro una solida base.

Operazionalizzazione degli obiettivi di analisi

Per l'analisi del comportamento degli utenti e la loro reazione alle variazioni concernenti gli attributi delle alternative proposte per i mezzi di trasporto, vengono utilizzati modelli di scelta discreti. Questi modelli si prestano a rappresentare la scelta degli individui in un contesto, come quello dato, di alternative distinte le une dalle altre.

Negli ultimi anni, il rilevamento combinato e sequenziale di *Revealed* (RP osservati) e *Stated* (SP dichiarati) e le stime di modelli che si basano su questi dati sono stati impiegati con successo in numerosi progetti in Svizzera e nei Paesi confinanti. Il metodo utilizzato per la modellizzazione delle scelte si orienta molto fortemente alle esperienze emerse dai progetti summenzionati. Si ha così la garanzia che i modelli sono plausibili e applicabili nella prassi, vale a dire nei modelli di trasporto o nelle analisi costi-benefici.

La strategia scelta prevede la stima di modelli validi sul piano nazionale e di modelli regionali. Le loro formulazioni hanno una coerenza reciproca. Tutti i modelli contengono quindi le medesime variabili determinanti e le medesime formulazioni delle funzioni di utilità. Per queste ultime funzioni, è stato scelto un approccio non lineare con termini di interazione, che consente una maggiore flessibilità e di conseguenza anche una qualità del modello più elevata.

Analisi della scelta del mezzo di trasporto e del percorso

Nel quadro dei dati scaturiti dall'indagine sono state condotte un'analisi descrittiva e una stima dei modelli di scelta. I modelli di test (presi dall'ARE, 2016) hanno permesso di migliorare i modelli e di completarli con ulteriori variabili e non linearità. Dapprima è stato valutato un modello con funzioni di utilità lineari, senza considerare le caratteristiche socio-demografiche delle persone interrogate. In questo modello, come primo completamento, sono state poi integrate le caratteristiche socio-demografiche degli interrogati come fattore determinante per il loro comportamento in materia di trasporti. In seguito, le funzioni di utilità sono state ampliate con componenti non lineari (termini di interazione). Poi si è proceduto a una distinzione in funzione del motivo del viaggio, valutando ogni parametro connesso ai vari motivi del viaggio. Infine, è stata introdotta la differenziazione regionale dei dati, così da permettere una valutazione dei parametri propria a ogni regione d'analisi. Questi miglioramenti del modello corrispondono allo stato della tecnica per la definizione dei modelli di scelta e consentono un utilizzo dei risultati in applicazioni con un grado di differenziazione corrispondente al livello di analisi.

La stima dei modelli porta sistematicamente a risultati plausibili. I parametri principali hanno potuto essere stimati con una sufficiente significatività statistica. Gli ordini di grandezza e l'evoluzione dei parametri risultanti, come la disponibilità a pagare e l'elasticità della domanda, si situano nel campo dei valori registrati negli studi SP precedenti: i valori di tempo per la media della popolazione sono pari a 13 franchi all'ora per il trasporto individuale motorizzato (TIM) e 12 franchi all'ora per i trasporti pubblici (TP). La popolazione svizzera è dunque disposta a pagare 12 - 13 franchi per risparmiare un'ora di viaggio; vale a dire, 2 franchi per 10

minuti di tempo da risparmiare. L'elasticità della domanda per il tempo di viaggio è di -0,1 per il TIM e -0,8 per i TP, quella per i costi -0,1 per il TIM e -0,5 per i TP. Ciò significa che gli automobilisti sono meno sensibili alle variazioni dei tempi di viaggio e dei costi rispetto agli utenti dei TP. Inoltre, nei TP una riduzione dei tempi di viaggio dell'1 per cento porterebbe a una maggiore crescita della domanda rispetto a una riduzione dei prezzi dell'1 per cento. Questi esempi menzionati vanno tuttavia intesi come valori mediani; nel presente rapporto i parametri variano in funzione della lunghezza del percorso, del motivo dello spostamento, del reddito ecc.

La tabella sottostante mostra la disponibilità a pagare, ponderata in base alla popolazione, a seconda del motivo dello spostamento, per tutte le variabili determinanti considerate nei modelli.

Attributo		Motivo dello spostamento					
		Tutti	Lavoro	Formazione	Acquisti	Commissioni	Tempo libero
A piedi	Tempo di cammino [h]	6,0	6,7	11,6	4,5	26,1	6,1
Bici	Tempo di viaggio [h]	9,9	7,9	8,2	9,9	32,6	10,3
TIM	Tempo di viaggio [h]	13,2	14,6	15,8	10,3	24,6	12,1
	Tempo di ricerca parcheggio [h]	25,7	26,4	19,8	23,2	41,7	24,3
	Ritardo [h]	26,9	23,6	22,8	21,8	44,3	30,0
TP	Tempo di viaggio [h]	12,3	12,4	13	10,9	29,1	11,2
	Tempo da e per la fermata [h]	13,3	16,0	15,9	12,8	34,5	8,2
	Cambi [-]	1,3	1,1	1,5	1,3	4,1	1,3
	Tempo di attesa [h]	9,1	8,6	7,1	9,2	45,0	6,7
	Cadenza [h]	4,0	3,4	5,1	5,3	11,8	3,0
	Ritardo [h]	30,8	28,5	26,8	26,7	57,0	34,2

I risultati dei modelli di scelta sono così appropriati per gli scopi dello studio, in primo luogo per il loro impiego nei modelli di trasporto e nelle raccomandazioni formulate su questa base in materia di politica dei trasporti.

Analisi dettagliate

Confronto temporale 2010-2015: nell'ottica della pianificazione dei trasporti, gli indicatori più importanti – la valutazione dei tempi di viaggio TIM e TP – non presentano nessuna differenza di rilievo tra i rilevamenti SP svolti nel 2010 e nel 2015; si può dunque presumere che ci sia una certa costanza dei parametri. In particolare per dei sottogruppi (come ad es. i Cantoni) con prove a campione contenute, può essere utile valutare congiuntamente i due set di dati al fine di disporre di parametri più consolidati e precisi. Le sostanziali discrepanze riscontrate nella valutazione del tempo di viaggio nel traffico lento e nei cambi di mezzo di trasporto sono da ricondurre alle differenze metodologiche di «routing» tra il 2010 e il 2015. Per compensare queste differenze, potrebbe essere vantaggioso, per la modellizzazione del traffico, valutare anche questi parametri in maniera congiunta.

Attitudini in materia di politica dei trasporti: la considerazione delle attitudini individuali in materia di politica dei trasporti come attributo dei modelli di scelta modale e di percorso permette una comprensione più minuziosa del processo decisionale degli individui. Le attitudini come, ad esempio, «più tasse nel traffico stradale» o «maggiori investimenti nell'infrastruttura pubblica», vengono identificate grazie alle caratteristiche socio-demografiche osservabili e possono avere una grande valenza soprattutto per la politica dei trasporti. Se queste attitudini vengono considerate nei modelli di scelta, influenzano sì le probabilità di scelta tra i diversi mezzi di trasporto, ma non contribuiscono tuttavia a migliorare sostanzialmente il modello e a cambiare le disponibilità a pagare.

Trasporto ferroviario e traffico a lunga distanza: lo studio analizza infine se il comportamento in materia di trasporti e la stima delle variabili dell'offerta nel trasporto ferroviario e nel traffico a lunga distanza variano rispetto al TIM e al trasporto a media distanza; a riguardo l'accento è posto sul vantaggio comparativo della ferrovia nei confronti degli altri mezzi di trasporto. Siccome esiste una forte correlazione tra distanza percorsa e la disponibilità di scelta del treno, e che per le lunghe distanze il solo mezzo di trasporto concorrenziale è la rete celere (S-Bahn), i dati non permettono di stabilire un vantaggio della ferrovia. Inoltre, poiché gli effetti sono praticamente identici con un modello di controllo segmentato in funzione della distanza dove vi è *sempre* a disposizione una linea ferroviaria, non è possibile attribuire alla ferrovia le differenze dei valori delle variabili stimate. Per poter identificare un vantaggio della ferrovia, occorre adattare le esigenze relative al rilevamento di dati SP; la condizione è avere, anche per le lunghe distanze, altri mezzi (ipotetici) di trasporto pubblico in concorrenza (come ad es. autobus a lunga percorrenza).

1 Einleitung

Die Bundesämter für Raumentwicklung (ARE) und Statistik (BFS) führen im 5-Jahres-Rhythmus den Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV; BFS und ARE, 2012, 2017) durch, der sowohl bezüglich der Wegecharakteristiken als auch der Personenstichprobe repräsentativ für die Schweiz ist. Im Jahr 2015 wurde bereits zum zweiten Mal im Auftrag des ARE und mit der Unterstützung der Bundesämter für Strassen (ASTRA), für Verkehr (BAV), für Energie (BFE) und Umwelt (BAFU), der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) sowie mehrerer Kantone (ZH, BE, LU, ZG, SO, BS, BL, SG, GR, AG, TG, TI, VD, VS, GE) eine an den MZMV gekoppelte *Stated Preference* (SP) Befragung zur Verkehrsmittel- und Routenwahl durchgeführt (ARE, 2016).

In der SP-Befragung wurden Daten für das Verkehrsmittel- und Routenwahlverhalten erhoben. Die dabei gesammelten Informationen ergänzen die Daten des MZMV und lassen sich vor allem zur Beantwortung verkehrspolitischer Fragestellungen und die Schätzung von Modellen im Bereich der Verkehrsmodus- und Routenwahl nutzen. Sie dienen also u.a. zur Weiterentwicklung und Aktualisierung von nationalen und kantonalen Verkehrsmodellen sowie zur Parametrisierung von Kosten-Nutzen-Analysen. Mit der Methode der SP-Befragung werden mögliche Verhaltensänderungen der Befragten durch die Vorgabe mehrerer Alternativen mit veränderten Rahmenbedingungen ermittelt.

Erste Tests haben ergeben, dass auf der Grundlage der erhobenen SP-Daten geschätzte Entscheidungsmodelle durchwegs sinnvolle Resultate produzieren und die erwarteten Wirkungen zeigen (ARE, 2016). Somit stellen die Daten eine vielversprechende Grundlage für weitergehende Analysen dar.

Die erhobenen SP-Daten sind somit eine geeignete Grundlage für ein breites Feld möglicher Anwendungen, wie zum Beispiel die Schätzung von Entscheidungsmodellen und die Aktualisierung der Modellansätze des nationalen und der kantonalen Verkehrsmodelle. Diese sind der Gegenstand des vorliegenden Projekts.

Für die Anwendung im Bereich der Verkehrsmodellierung sind mit den vorliegenden *Revealed Preference* (RP) und SP-Daten Fortschritte und neue Erkenntnisse bezüglich der Erklärungskraft des Wahlverhaltens und der Abwägungsprozesse zwischen verschiedenen Attributen zu erwarten.

2 Operationalisierung der Analyseperimeter und -anliegen

2.1 Operationalisierung der Analyseperimeter

2.1.1 Ziel

Dieses Kapitel befasst sich mit der Suche nach einer sinnvollen räumlichen Aufteilung der Stichprobe. Eine solche Aufteilung sollte einerseits die Differenzierung der geschätzten Parameter in den Verkehrsmittel- und Routenwahlmodellen sowie deren Anwendung in den Verkehrsmodellen sicherstellen, andererseits aber auch statistisch sinnvoll sein, also genügend grosse Teilstichproben für die Schätzung signifikanter Parameter beibehalten.

Die Schätzung der Entscheidungsmodelle für die Verkehrsmittel- und Routenwahl soll einerseits nach den fünf in der SP-Befragung berücksichtigten Verkehrszwecken (Arbeit, Bildung, Einkauf, Nutzfahrt und Freizeit), andererseits aber zusätzlich auch nach den zu bestimmenden regionalen Teilräumen aufgegliedert werden.

Bei der Erstellung dieser Analyseregionen sollte darauf geachtet werden, dass:

- das im MZMV 2015 berichtete Verkehrsverhalten im Teilraum möglichst homogen ist;
- die Stichprobe der SP-Befragung für jeden Teilraum gross genug ist, um die gewünschten Modellansätze schätzen zu können;
- die Handhabbarkeit der Komplexität des Nachfragemodells gewährleistet bleibt (Bildung von maximal drei bis vier Teilräumen).

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Vorprojekts (ARE, 2016, Kapitel 7) auf der Grundlage des MZMV 2010 bereits erste Analysen erstellt, welche zu provisorischen Vorschlägen einer Aufteilung führten. Daran anknüpfend wird hier auf der Datengrundlage des MZMV 2015 eine Aufteilung für die Analyse der SP-Befragung 2015 unterbreitet. Die Entscheidung für eine definitive Aufteilung der Regionen im Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) des UVEK kann auf der Grundlage der hier erzielten Ergebnisse getroffen werden.

Die nachfolgenden Ausführungen betreffen die Aufteilung der nationalen Stichprobe. Für die separat durchzuführende Schätzung der Parameter für die Gesamtverkehrsmodelle des Kantons Bern (GVM BE) und Solothurn (GVM SO) werden die Perimeter dieser beiden Modelle

zusammengelegt (siehe auch Weis *et al.*, 2012a). Die entsprechenden Modelle werden separat geschätzt und deren Ergebnisse in Kapitel 3 jeweils entsprechend dokumentiert.

2.1.2 Analyse der Verhaltenskenngrossen

Bisherige räumliche Trennungen der Gesamtstichprobe des MZMV bzw. der SP-Befragung waren stets von den Bedürfnissen regionaler Modellperimeter getrieben (siehe z.B. Weis *et al.*, 2012a, 2012b; Vrtic *et al.*, 2015). Für diese wurden je separate Auswertungen des MZMV 2010 und der SP-Befragung 2010 durchgeführt, um die Kenngrossen der Verkehrserzeugung und des Verkehrsverhaltens zu ermitteln.

Die naheliegendste Aufteilung wäre jene über die Sprachregionen (Atasoy *et al.*, 2013). Eine solche ist hier jedoch wenig sinnvoll, da einerseits die Heterogenität des Verkehrsverhaltens nicht auf die Sprachregionen beschränkt ist, sondern sowohl innerhalb dieser als auch über deren Grenzen hinaus festzustellen ist. Andererseits wäre bei einer solchen Aufteilung die Stichprobe für die italienischsprachige Schweiz zu klein, um signifikante Modellschätzungen durchführen zu können (siehe auch Vrtic *et al.*, 2015).

In der Vorstudie (ARE, 2016; Kapitel 7) wurde die Aufteilung der Teilräume unter anderem über die Ähnlichkeit des Verkehrsverhaltens im MZMV 2010 durchgeführt. Diese Analyse wird hier für die Daten des MZMV 2015 reproduziert. Dazu wurden der Modal Split (bezogen auf die MIV- und ÖV-Wege) sowie die mittlere Weglänge der motorisierten Wege (MIV und ÖV) der Bewohner der einzelnen Kantone (die Halbkantone Obwalden und Nidwalden, Basel-Stadt und Basel-Land sowie Appenzell Ausserrhoden und Appenzell Innerrhoden wurden jeweils zu einem Gesamtkanton zusammengefasst) im MZMV 2015 ausgewertet. Die Gegenüberstellung dieser beiden Kenngrossen zeigt Abbildung 1.

Hier ist ersichtlich, dass die regionalen Unterschiede insbesondere im Modal Split sehr deutlich sind – in den beiden Basler Kantonen beträgt der ÖV-Anteil am motorisierten Verkehr im Durchschnitt knapp 36% (BS: 53%; BL: 26%), im Jura nur knapp 9%. Grössere Verschiebungen gegenüber dem MZMV 2010 (ARE, 2016) finden nur in Kantonen mit relativ geringer Stichprobengrösse (Uri und Glarus mit je ca. 800 Befragten im MZMV 2015) statt und sind mit dementsprechenden Unsicherheiten behaftet.

Abbildung 1 Modal Split und mittlere Weglänge nach Kanton (MZMV 2015)

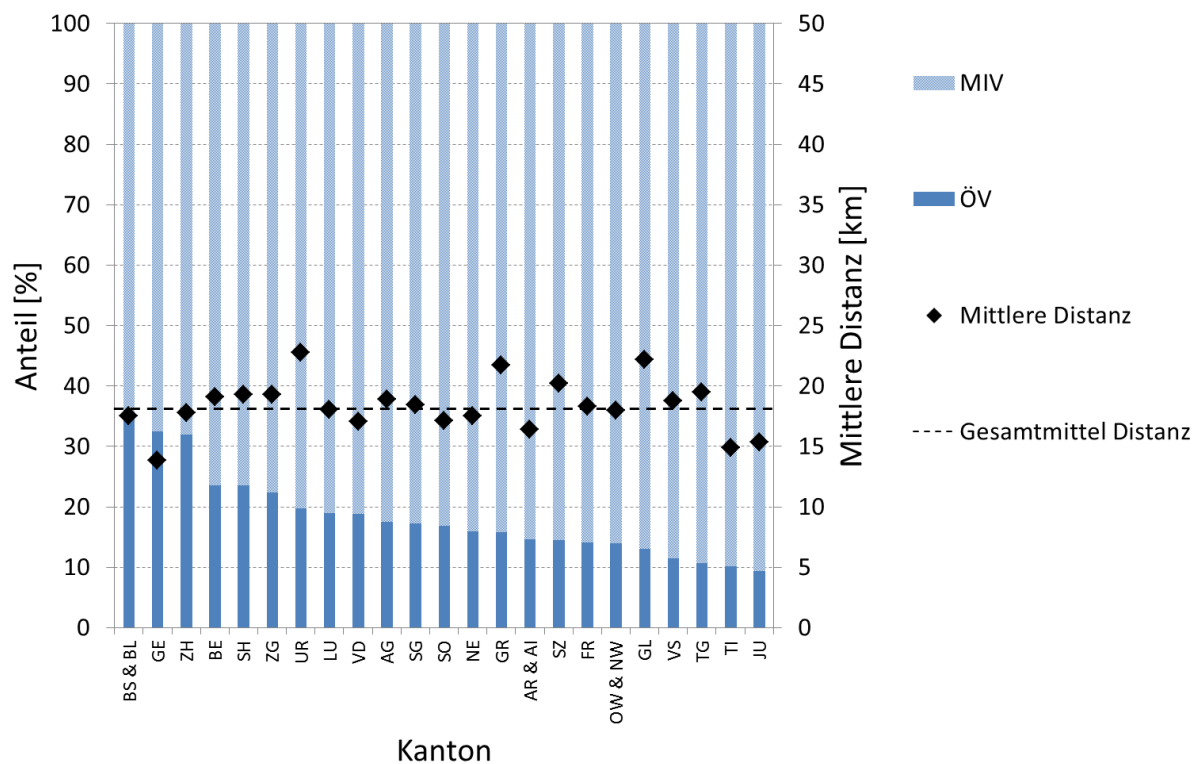


Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen die räumliche Variation der beiden Kenngrössen. Hier wird deutlich, dass sich von der Westschweiz durch das Mittelland bis nach Zürich ein Korridor mit eher höheren ÖV-Anteilen erstreckt. Der (Vor-)Alpenraum hingegen ist eher MIV-affin. In der Westschweiz und in den urbanen Gebieten dominieren zudem die eher kürzeren Wege, während diese in ländlichen Regionen tendenziell länger sind; bei den Weglängen ist das Bild gesamthaft jedoch weniger dispers als beim Modal Split.

Abbildung 2 ÖV-Anteile [%] nach Kanton

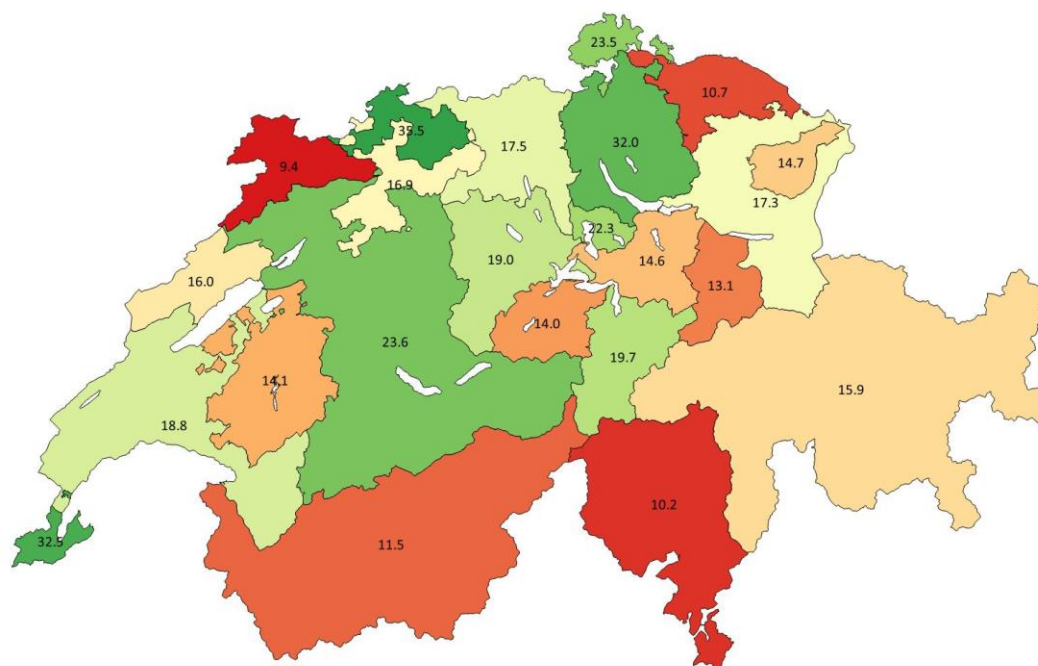
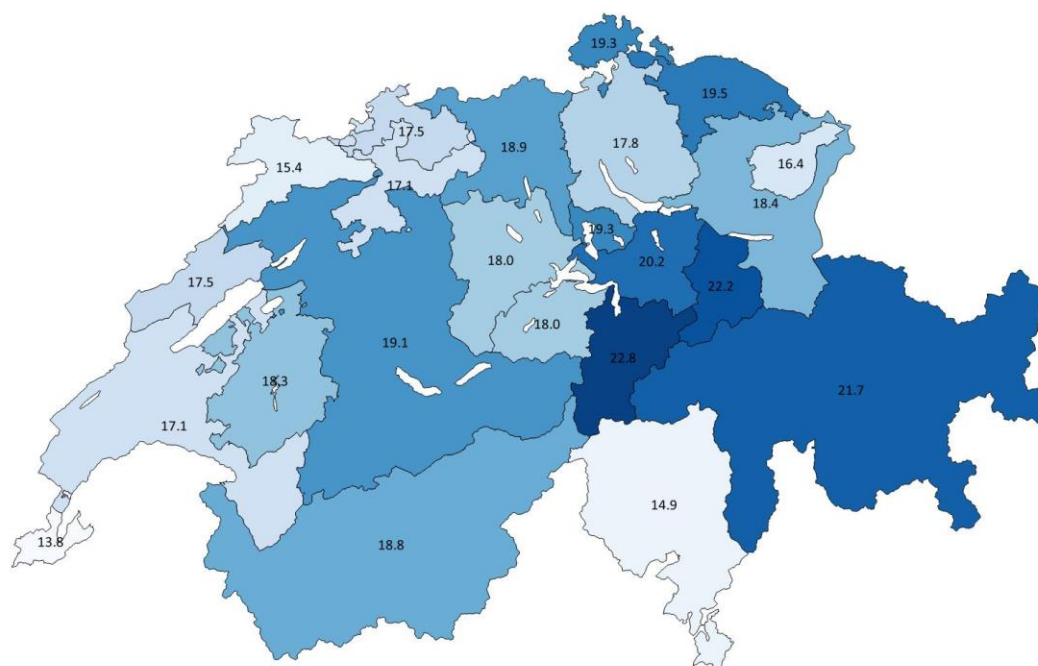


Abbildung 3 Mittlere Weglängen [km] nach Kanton



2.1.3 Clusteranalyse

Aufgrund einer Clusteranalyse (*TwoStep Cluster* mit Log-Likelihood-Distanzmass; IBM, 2012) in der Software *SPSS Statistics* mit den beiden erwähnten Kenngrössen (mittlere Weglänge der motorisierten Wege und ÖV-Anteil am Bimodal Split) als Eingangsvariablen wurde anschliessend versucht, eine statistisch sinnvolle Aufteilung der Kantone zu erzielen. Die Ergebnisse mit der Vorgabe von vier Gruppen zeigt Abbildung 4, jene mit drei Gruppen ist in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 4 Aufteilung in 4 Cluster

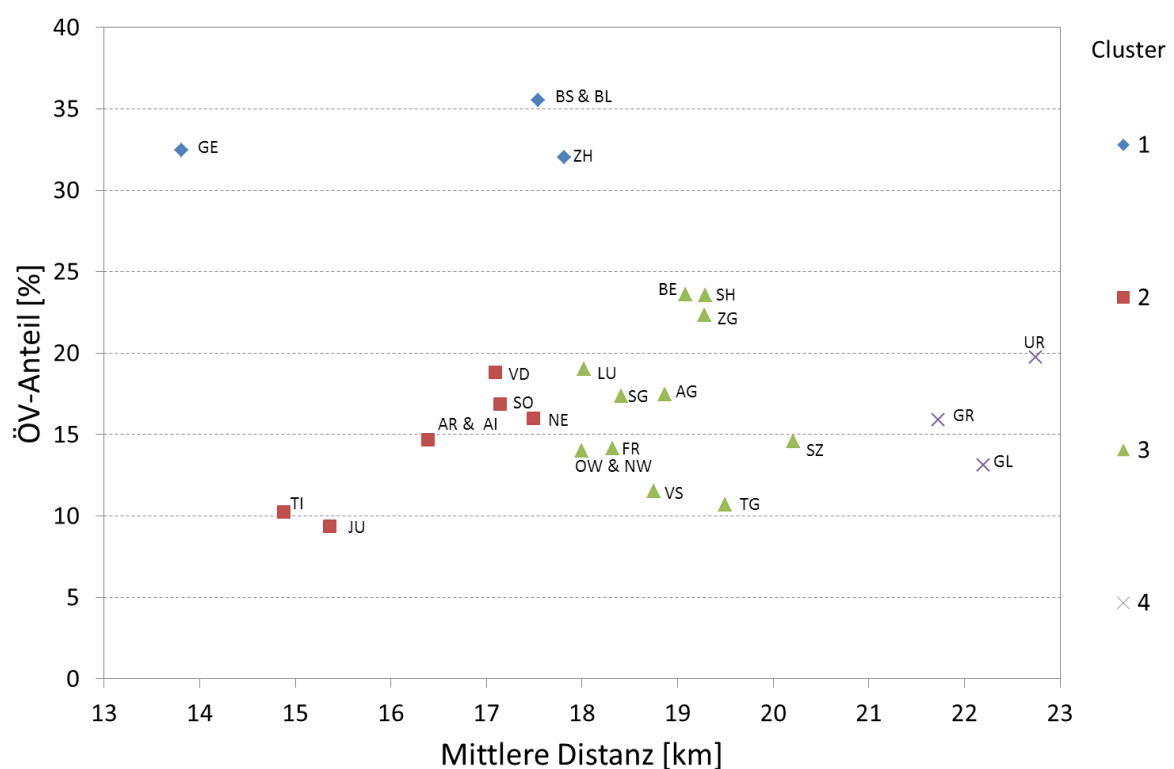
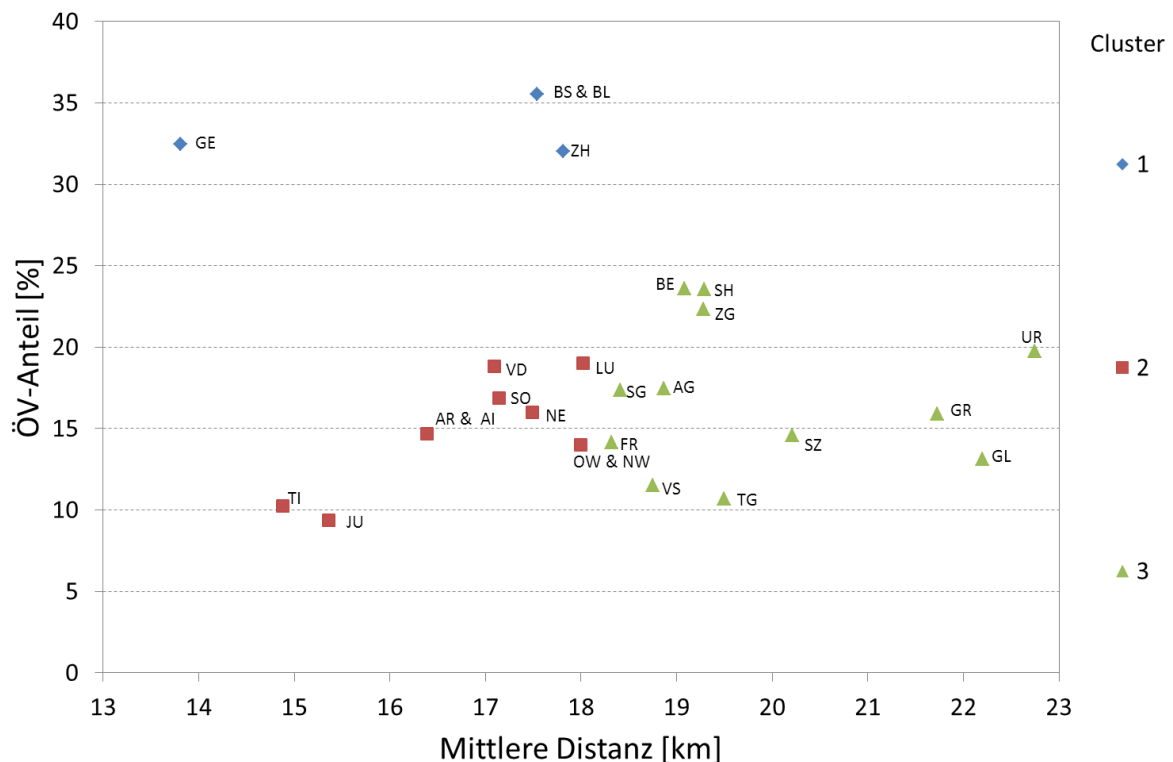


Abbildung 5 Aufteilung in 3 Cluster



2.1.4 Aufteilung der Analyseregionen

Die Clusterzuteilung, welche die Verhaltensähnlichkeiten zwischen den einzelnen Kantonen abbildet, führt zu einer statistisch fundierten Aufteilung der Regionen. Wenngleich die dadurch entstehenden Teilräume räumlich nicht kongruent sind, soll sich die Regionalisierung der Stichprobe an dieser Aufteilung orientieren, da ein räumlicher Zusammenhang keine zwingende Voraussetzung für die spätere Umsetzung in einem Verkehrsmodell ist. Die Stichprobengrößen (womohl im MZMV als auch in der SP-Befragung) sind jedoch in der Grösse ungleichmässig verteilt und insbesondere bei der Einteilung in 4 Cluster für die vierte Gruppe (bestehend aus den Kantonen Uri, Glarus und Graubünden) nicht ausreichend.

Es wird daher für die weiteren Analysen auf die Einteilung in 3 Cluster zurückgegriffen. Diese wird des Weiteren dahingehend angepasst, dass die Kantone Bern, Zug und Schaffhausen (ÖV-Anteile über 20%) der ersten anstatt der dritten Gruppe zugeteilt werden. Dies führt zu einer homogenen Verteilung der Stichprobengrößen, ohne dass wesentliche Abstriche bei den Verhaltensähnlichkeiten innerhalb der Gruppen in Kauf genommen werden müssten. Die daraus resultierende Aufteilung der Cluster zeigt Abbildung 6; die räumliche Verteilung der Teilregionen ist in Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 6 Aufteilung in 3 Cluster mit Anpassung

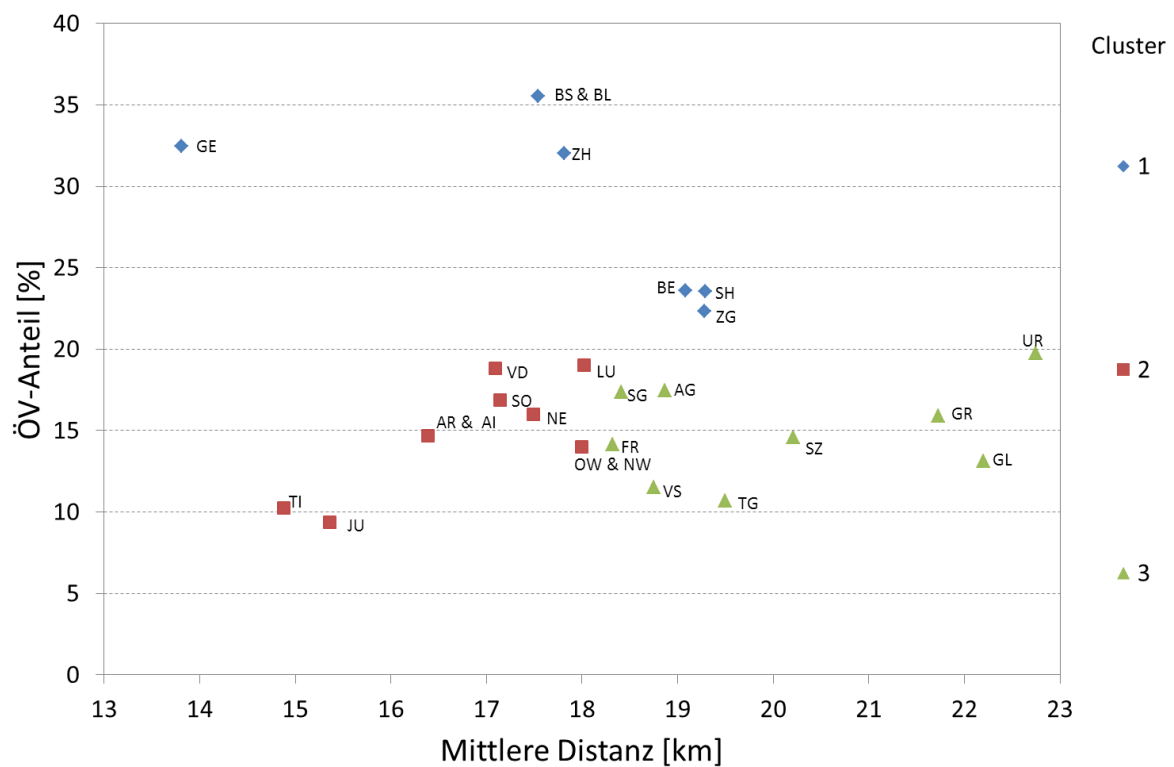
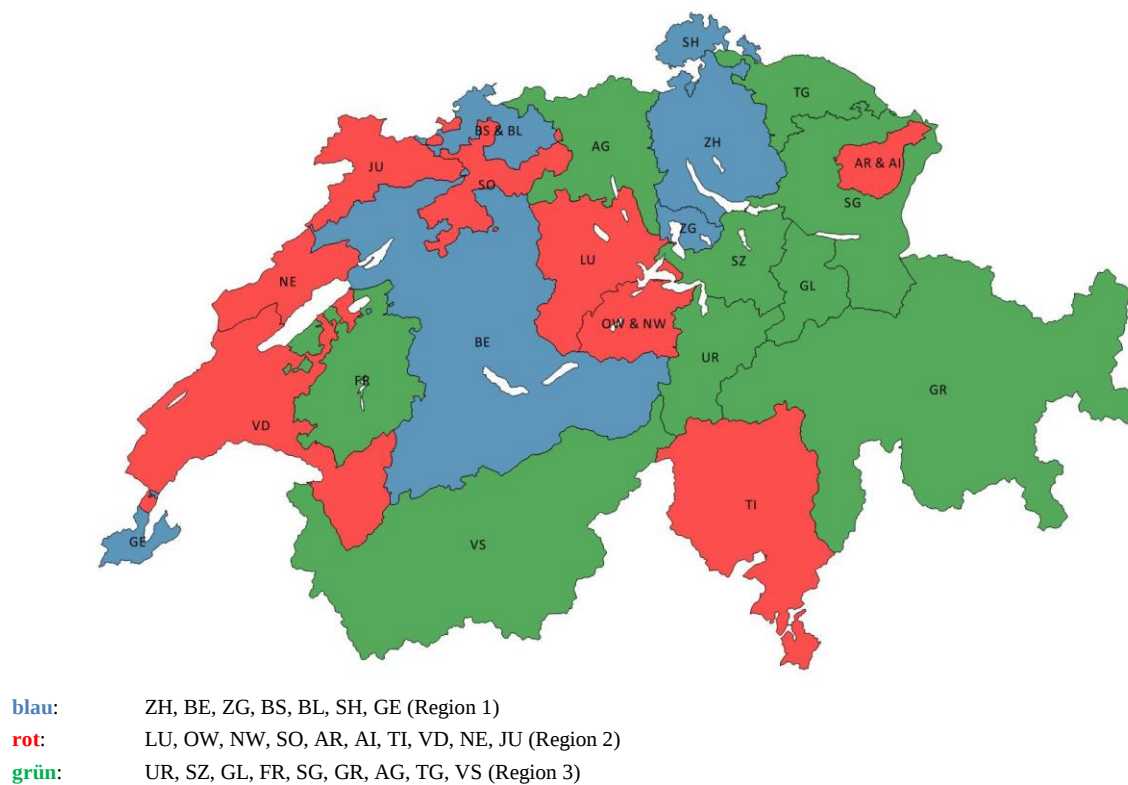


Abbildung 7 Aufteilung der Analyseregionen



Die beschriebene aus der Zuteilung zu verhaltensstatistisch homogenen Teilräumen entstandene Aufteilung umfasst die in Tabelle 1 mit deren relevanten Kennzahlen aufgelisteten Regionen. Die Zahlen pro Kanton können dem Anhang A1 (Tabelle 28) entnommen werden.

Tabelle 1 Modal Split und mittlere Weglänge (MZMV 2015) nach Analyseregion

Analyseregion	Anzahl Kantone	ÖV-Anteil [%]	Mittlere Distanz [km]
Region 1 (blau)	7	29.6	17.7
Region 2 (rot)	10	16.3	16.9
Region 3 (grün)	9	15.1	19.1

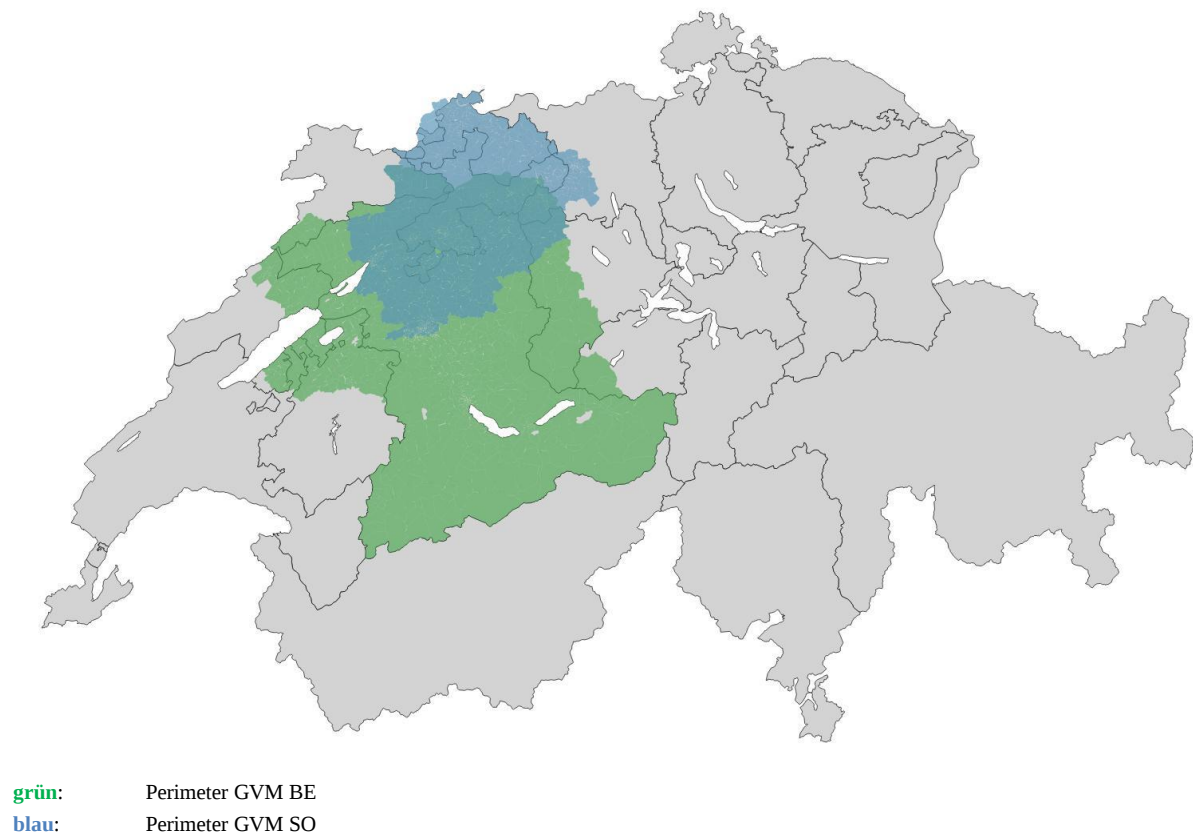
Bei den vorgeschlagenen Aufteilungen ist jeweils sichergestellt, dass die einzelnen Regionen im SP-Datensatz mit genügend grossen Teilstichproben vertreten sind. Angesichts der Tatsache, dass vergangene SP-Befragungen mit Stichproben von ca. 1'000 Befragten zu sehr robusten Schätzungen der hier angestrebten Modellansätze (nicht-lineare Nutzenfunktionen mit Aufteilung nach Fahrtzweck) geführt haben (siehe z.B. Weis *et al.*, 2012a, 2012b; Fröhlich *et al.*, 2014), dürfte dies auch hier der Fall sein. Die SP-Stichprobe ist zudem recht gleichmässig auf die Analyseregionen verteilt, wie Tabelle 2 zeigt (Tabelle 29 im Anhang A2 zeigt die Aufteilung auf die einzelnen Kantone). Dies sollte eine vollumfängliche Schätzung aller in Abschnitt 2.2 beschriebenen Teilmodelle (separiert nach Region und Fahrtzweck) erlauben.

Tabelle 2 Stichprobengrösse (SP-Befragung 2015) nach Analyseregion

Analyseregion	Anzahl Kantone	Anzahl SP-Befragte	Anzahl Entscheidungen
Region 1 (blau)	7	2'165	23'066
Region 2 (rot)	10	2'047	22'668
Region 3 (grün)	9	1'887	21'631
Total	26	6'099	67'365

Wie eingangs erwähnt werden zusätzlich zu den Modellen für die Gesamtstichprobe und die drei festgelegten Analyseregionen separate Modelle für die (sich teilweise überlappenden) Perimeter der GVM BE und SO geschätzt. Für diese Schätzung können in den Daten der SP-Befragung 17'441 Entscheidungen von 1'608 Befragten berücksichtigt werden. Die Schätzungen sollten also in einem ähnlichen Detaillierungsgrad wie für die Analyseregionen durchführbar sein.

Abbildung 8 Perimeter der GVM BE und SO



2.2 Operationalisierung der Analyseanliegen

2.2.1 Entscheidungsmodelle

Zur Analyse des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer und deren Reaktion auf Veränderungen in den Attributen der Verkehrsmittelalternativen werden diskrete Entscheidungsmodelle (Ben-Akiva und Lermann, 1985; Louviere *et al.*, 2000; Train, 2003) verwendet. Diese eignen sich für die Abbildung von Entscheidungen von Einzelpersonen in einem Kontext mit diskret voneinander abgetrennten Alternativen, wie sie hier vorliegen.

Die kombinierte bzw. sequentielle Erhebung von RP- und SP-Daten und darauf basierende Modellschätzungen wurden in der Schweiz und im nahen Ausland in den vergangenen Jahren in zahlreichen Projekten erfolgreich angewandt; hierzu seien einige Beispiele grösserer SP-Befragungen in der Schweiz und in Deutschland genannt, die in den letzten 15 Jahren durchgeführt wurden:

- Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr am Beispiel Einführung des ICN (Vrtic *et al.*, 2003);
- Schweizer Zeitwertstudie (König *et al.*, 2004);
- Studie zu möglichen *Mobility Pricing* Massnahmen (Vrtic *et al.*, 2007);
- Studie zum Einfluss steigender Treibstoffkosten auf die Nachfrage im öffentlichen Verkehr (Weis und Axhausen, 2009);
- SP-Befragung 2010 zum Verkehrsverhalten (ARE, 2012) ;
- Untersuchung zur Anpassung des Verkehrsverhaltens im Personenverkehr als Reaktion auf veränderte Rahmenbedingungen (Weis und Axhausen, 2012);
- Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrsmittel auf die Verkehrsmittel- und Routenwahl (Fröhlich *et al.*, 2014);
- Einfluss des Parkierungsangebots auf das Verkehrsverhalten (Widmer *et al.*, 2017);
- Deutsche Zeitkostenstudie im Auftrag des BMVI (Axhausen *et al.*, 2014).

Die Methodik zur Modellierung der Entscheidungen orientiert sich denn auch sehr stark an den Erfahrungen aus den oben genannten Projekten. Es soll sichergestellt werden, dass die Modelle mit dem *State of the Art* entsprechenden Ansätzen geschätzt werden und die Ergebnisse gleichzeitig plausibel und in der Praxis, also in Verkehrsmodellen oder bei der Kosten-Nutzen-Analyse, anwendbar sind.

2.2.2 Umsetzung in Verkehrsmodellen

Alle in diesem Bericht beschriebenen Modelle werden zunächst nach dem Ansatz des Multinomialen Logit-Modells (MNL) geschätzt. Der Einsatz eines Nested-Logit-Modells (NL) würde Alternativen mit sehr ähnlichen Eigenschaften (z.B. zwei ÖV-Verbindungen im Verkehrsmittelwahlmodell) voraussetzen, welche in der SP-Befragung jedoch nicht gegeben sind. Die Theorie und die Annahmen des MNL werden in Abschnitt 2.2.3 beschrieben. Die Schätzung komplexerer Modellformen wird Gegenstand von Kapitel 4 sein.

Der Fokus bei den Modellen, welche in Kapitel 3 geschätzt werden, liegt auf deren Umsetzbarkeit in die gängigen Verkehrsmodelle und insbesondere das NPVM sowie das GVM BE und das GVM SO. Diese Umsetzbarkeit ist, sowohl für die Verkehrsmittel- als auch für die Routenwahl, beim MNL vollumfänglich gegeben und die aktuellen Versionen der genannten Modelle beinhalten diese Formulierung.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die Umsetzbarkeit in den bisherigen Versionen der genannten Modelle und der dafür verwendeten Softwarepakete (PTV VISUM inkl. Nachfragemodell EVA).

Die Abbildung der in Abschnitt 2.2.8 beschriebenen Modelle mit linearen Nutzenfunktionen ist in den gängigen Verkehrsmodellen ohne Weiteres möglich. Auch bei den flexibleren Modellen mit nicht-linearen Nutzenfunktionen (Abschnitt 2.2.9) wird Wert darauf gelegt, dass die resultierende Parametrisierung für den Einsatz in den gängigen Verkehrsmodellen geeignet ist.

Sowohl das NPVM als auch das GVM BE und das GVM SO greifen bisher auf die Formulierung mit Interaktionstermen zurück. Beim GVM BE und beim GVM SO soll diese Struktur auf absehbare Zeit beibehalten werden, so dass hier eine Schätzung der entsprechenden Modellformen vorgegeben ist.

Der kommende Neuaufbau des NPVM erlaubt prinzipiell den Einbezug eventueller neuer Formulierungen, beispielsweise der hier vorgestellten Box-Cox-Transformationen.

2.2.3 Schätzung der Modellparameter

Für die Modellschätzungen wird die Software *Biogeme* (Bierlaire, 2003, 2009) verwendet.

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

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

V_{jq} systematischer, messbarer Anteil

ε_{jq} nicht systematischer, nicht messbarer Anteil, welcher die Präferenzen der Person, allfällig fehlende Variablen sowie den Messfehler des Modells widerspiegelt

Beim MNL wird angenommen, dass die Residuen ε_{jq} voneinander unabhängig und mit gleichen Parametern Gumbel-verteilt (die Gumbelverteilung ist eine Extremwertverteilungsfunktion mit Mittelwert 0) sind.

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

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

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

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

$$P_{jq} = P(\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq}), \quad \forall i \neq j$$

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

wobei $f(\varepsilon)$ die Dichtefunktion der gemeinsamen Verteilung der Störterme ist. Unter der oben erwähnten Annahme der Gumbelverteilung ergibt sich schliesslich:

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

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

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

N Anzahl Beobachtungen

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

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

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

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

Durch die Maximierung dieser Gleichung wird sichergestellt, dass das durch die geschätzten Parameter modellierte Verhalten so genau wie möglich das tatsächliche Verhalten wiedergibt.

Für die Schätzung der Güte des geschätzten Modells wird die Grösse ρ^2 verwendet, ein Mass dafür, welcher Anteil der Gesamtvarianz in den Daten durch das Modell erklärt wird. Eine angepasste Variante des Gütemasses (*adjusted ρ^2*), welche zusätzlich die für das Erreichen der Modellqualität notwendige Anzahl Freiheitsgrade (Anzahl geschätzter Parameter) berücksichtigt, ist gegeben durch:

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

$Adj.\rho^2$ *adjusted ρ^2* ; angepasstes Gütemass zur Berücksichtigung der Anzahl Freiheitsgrade

L *Log-Likelihood* des geschätzten Modells

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

k Anzahl geschätzter Parameter

Für den Vergleich einzelner Modelle untereinander können zudem sogenannte *Likelihood Ratio* Tests durchgeführt werden. Bei diesen wird die doppelte Differenz der *Log-Likelihood* zweier Modelle den tabellierten Werten der χ^2 -Verteilung (NIST, 2013) gegenübergestellt, wobei die Anzahl Freiheitsgrade gleich der Differenz der Anzahl Parameter der beiden Modelle ist. Für zwei Modelle, bei welchen das eine eine vereinfachte Formulierung des anderen darstellt, kann so die Signifikanz des Gütebeitrags der zusätzlichen Parameter überprüft werden.

Mit den t-Test der einzelnen Parameter zusammen erlauben diese Tests die Abschätzung, ob bei einem Modell mit mehr abgebildeten Effekten und besserer Erklärungskraft letztere statistisch signifikant besser ist als bei einem einfacheren Modell.

2.2.4 Umgang mit SP-Daten

Die hier geschätzten Modelle berücksichtigen den sogenannten *Panel*-Effekt, also die Tatsache, dass pro befragter Person mehrere, und gegebenenfalls unterschiedlich viele, Beobachtungen vorliegen. Bei *Panel*-Daten liefert die MNL-Schätzung trotz der zugrundeliegenden Annahme, dass alle Beobachtungen voneinander unabhängig sind, korrekte Schätzwerte der Parameter an sich (Daly und Hess, 2010). Die Standardfehler sind aber nicht mehr korrekt geschätzt. Der hier verwendete robuste Schätzer berücksichtigt die Annahme, dass Präferenzen für eine Alternative oder ein Attribut sich hier nicht von einer Beobachtung zur anderen, sondern nur zwischen den einzelnen befragten Personen, unterscheiden. Die Standardfehler werden daher entsprechend korrigiert geschätzt.

Da Daten von N Befragten mit je n Beobachtungen in der Regel weniger Information enthalten als solche von $N \cdot n$ einzelnen Individuen, führt die Annahme unabhängiger Beobachtungen zu fehlerhaften Schätzungen der Standardfehler und somit der statistischen Signifikanz der Parameter. Um unter diesen Umständen eine unverzerrte und effiziente Schätzung der Modellgenauigkeit sicherstellen zu können, muss bei der Schätzung eine Korrektur der Standardfehler vorgenommen werden. Das entsprechende Schätzverfahren ist in *Biogeme* implementiert und mit einer einfachen Anpassung der dortigen Modellspezifikation (Hinweis, dass Beobachtungen derselben Person bei der Berechnung der Standardfehler gruppiert werden sollen) umsetzbar.

2.2.5 Datengrundlage

Für die Modellschätzungen stehen die in Tabelle 3 aufgelisteten Datensätze zur Verfügung.

Tabelle 3 Struktur der Datenbank: vorhandene Dateien

Datensatz	Anzahl Entscheidungen
RP-Daten zur Verkehrsmittelwahl (zu Fuss / Velo / MIV / ÖV)	6'099
SP-Daten zur Verkehrsmittelwahl (zu Fuss / Velo / MIV / ÖV)	32'802
SP-Daten zur Routenwahl im MIV	22'033
SP-Daten zur Routenwahl im ÖV	6'431
Gesamt (Summe der vorangegangenen)	67'365

Die detaillierte Beschreibung der Befragungsanlage und der daraus resultierenden Daten inklusive aller enthaltenen Variablen und Entscheidungen ist im Bericht zur Vorstudie (ARE, 2016) zu finden. Insbesondere wird dort (in Kapitel 2) das Verfahren zur Generierung der Alternativen zu den gewählten Verkehrsmitteln in der RP-Befragung beschrieben.

Die Grundlage für die Modellschätzung ist der jeweilige Gesamtdatensatz aus allen 67'365 RP- und SP-Beobachtungen (mit sämtlichen Verkehrsmittel- und Routenwahlbeobachtungen). Diese gemeinsame Schätzung hat den Vorteil der grösseren zugrundeliegenden Stichprobe und der damit resultierenden robusteren Schätzung der Parameter. Für die Routenwahl im ÖV alleine (6'431 Beobachtungen) könnten beispielsweise die nachfolgend beschriebenen Modelle nicht im gewünschten Detail geschätzt werden. Dies wird erst durch die erwähnte Anreicherung des Datensatzes möglich. Letztere stellt zudem sicher, dass die für die Interpretation der Ergebnisse wichtigen Parameterverhältnisse (siehe auch Abschnitt 3.4) für alle Beobachtungen konsistent sind und sich zwischen einer Verkehrsmittel- und Routenwahlentscheidung nicht unterscheiden. Dies ist konsistent mit den Überlegungen in Hess *et al.* (2007, 2008); dort wurde gezeigt, dass die so errechneten Kenngrössen stabiler und repräsentativer sind als solche, die aus separaten Datensätzen entstehen. Entsprechende Tests wurden in der Vorstudie (ARE, 2016; Kapitel 6) durchgeführt. Dort konnte auch gezeigt werden, dass die besprochene Anreicherung des Datensatzes zu signifikant besseren Modellergebnissen führt und somit beibehalten werden sollte. Die entsprechenden Empfehlungen finden sich beispielsweise in Louviere *et al.* (2000, S. 243ff).

Durch die Kombination der Datenquellen kann von den Vorteilen beider Datentypen profitiert werden. Hier nennen wiederum Louviere *et al.* (2000, S. 228ff) die als Charakteristiken von RP-Daten die Abbildung realistischer Attributwerte und -korrelationen, der Verfügbarkeit

bestimmter Alternativen sowie personenbezogener Restriktionen von deren Nutzung. SP-Daten erlauben hingegen eine grössere Bandbreite an Attributwerten und die Einführung neuer Alternativen (stets unter Rücksichtnahme auf individuelle Begebenheiten).

Die Methodik wurde auch bei der Schätzung der Parameter für die kantonalen Gesamtverkehrsmodelle ZH/ZG (Weis *et al.*, 2012a) und BE/SO (Weis *et al.*, 2012b) mit den Daten der SP-Befragung 2010 (ARE, 2012) angewandt und führte zu sehr robusten Ergebnissen. Wie erwähnt hat sie sich ebenfalls bei der Schätzung der Testmodelle mit der hier vorliegenden Datengrundlage (ARE, 2016) bewährt und wird daher hier weiterverfolgt.

2.2.6 Skaleneffekte

Diese gemeinsame Schätzung hat den Vorteil der grösseren zugrundeliegenden Stichprobe und der damit resultierenden robusteren Schätzung der Parameter. Bei einer solchen gemeinsamen Schätzung für Daten aus verschiedenen Quellen (RP und verschiedene SP-Ansätze, also z.B. Verkehrsmittel- und Routenwahlbeobachtungen) ist der Einbezug sogenannter Skalenparameter notwendig. Skaleneffekte entstehen durch die potentiell unterschiedlichen Grössenordnungen von beobachtetem und unbeobachtetem Nutzen in den Nutzenfunktionen für die einzelnen Befragungsmethoden. Die Skalenparameter bewirken eine Anpassung der Nutzenfunktionen an die Gesamtvariabilität der jeweiligen Teildatensätze (Verkehrsmittel- bzw. Routenwahl). Somit weichen die Parameter für die einzelnen Entscheidungsdimensionen in ihren absoluten Werten, jedoch nicht in ihren relativen Grössenordnungen, voneinander ab.

Wie Hess *et al.* (2007, 2008) feststellen, sind diese Skaleneffekte am grössten, wenn Daten aus gänzlich verschiedenen Quellen (mit verschiedenen Befragungshintergründen und -themen) für die Schätzung eines gemeinsamen Modells verwendet werden. Auch bei der Verwendung von Daten aus verschiedenen Sub-Befragungen, wie es hier der Fall ist, können aber solche Effekte auftreten und signifikant sein, weshalb sie entsprechend in den Modellen berücksichtigt werden sollten.

Die Skalenparameter werden im Verhältnis zu einer (willkürlich festgelegten) Teilstichprobe geschätzt, für welche der Skalenparameter auf den Wert 1 festgesetzt wird (Hess *et al.*, 2007, 2008). Wenn ein geschätzter Skalenparameter grösser als 1 ist, bedeutet dies, dass die Varianz des unbeobachteten Nutzens (also der Fehlerterm) in der entsprechenden Sub-Stichprobe kleiner ist als in der Referenzstichprobe (und umgekehrt). Als Referenzstichprobe werden hier die SP-Beobachtungen zur Verkehrsmittelwahl verwendet. Die Skalenparameter werden in der Resultattabellen ebenfalls angegeben.

Die Erwartung ist hier, dass der Skalenparameter für die RP-Daten kleiner ist als jener für die SP-Daten. In den SP-Experimenten ist die Varianz der Attribute grösser und der relative Einfluss nicht beobachtbarer Effekte gegenüber den beobachteten Variablen somit kleiner (d.h. das Verhalten stärker von den Werten der in den Fragebögen abgebildeten Attribute getrieben), was zu einer Verringerung der Fehlerterme führt (Hess *et al.*, 2007, 2008). Analog sollten die Fehlerterme bei den SP-Routenwahlexperimenten deutlich kleiner (und die Skalenparameter somit grösser) sein als bei der RP- und SP-Verkehrsmittelwahl, da hier keine inhärente Präferenz für eine der angebotenen Alternativen besteht und das Verhalten somit alleine durch die Angebotsvariablen bestimmt wird.

Bei der Modellschätzung werden jeweils die Eigenschaften der vorhandenen Alternativen (Verkehrsmittel oder Routen) gegenübergestellt und für den Gesamtdatensatz aller Beobachtungen der Parametersatz bestimmt, der die Gesamtheit der Entscheidungen am besten abbildet.

Für den Einsatz in Umlegungssmodellen müssen neue Parameter aus den oben genannten Skalenparametern für die MIV- oder ÖV-Routenwahl, multipliziert mit den jeweiligen Schätzwerten (aus den Ergebnistabellen), berechnet werden (siehe auch die ausformulierten Nutzenfunktionen in Abschnitt 3.2).

2.2.7 Einbezogene Variablen

Bei der Erarbeitung der Modellansätze und bei der Eruierung der einzubeziehenden Effekte ist insbesondere auf folgende Aspekte zu achten:

- Konsistenz des abgebildeten Verkehrsverhaltens (Vorzeichen und Verhältnisse der Parameter) mit den Erwartungen bzw. der ökonomischen Realität;
- Möglichkeit der Implementierung in Verkehrsmodellen;
- statistische Signifikanz der Ergebnisse (t-Tests, ausreichende Variation der Attribute, Korrelationen zwischen den Variablen etc.).

Die bei der Entscheidungsmodellierung einzubeziehenden Variablen lassen sich dabei in folgende Klassen gliedern:

- Beschreibung des (veränderlichen) Verkehrsangebots, gegliedert nach Verkehrsmittel;
- Beschreibung der (fixen, verkehrsmittelunabhängigen) Wegeeigenschaften;
- Beschreibung der sozioökonomischen Eigenschaften der befragten Personen;
- Beschreibung der Mobilitätswerkzeuge der befragten Personen;
- Beschreibung des räumlichen Kontexts.

Welche Variablen verwendet werden können, ist in erster Linie durch die Verfügbarkeit der entsprechenden Daten getrieben. Dies betrifft insbesondere die Beschreibung des Verkehrsangebots, bei welchem auf die Attribute zurückgegriffen wird, welche in der SP-Befragung variiert wurden (ARE, 2016). Ebenfalls massgebend ist hier die Bandbreite an Variablen, die in den gängigen Verkehrsmodellen abgebildet werden bzw. als Kenngrössen aus den entsprechenden Netzmodellen generiert werden können. Sämtliche in den hier betrachteten Modellen (NPVM, GVM BE, GVM SO) abgebildeten Attribute sind in den SP-Daten vorhanden und werden dementsprechend auch in die Entscheidungsmodelle integriert.

Bei den übrigen Effekten wird auf Erfahrungen aus früheren Modellen in der Schweiz zurückgegriffen (siehe z.B. Hess *et al.*, 2007, 2008; Axhausen *et al.* 2007, 2008; Weis *et al.*, 2012a, 2012b; Fröhlich *et al.*, 2014). Die dort üblicherweise verwendeten Variablen, insbesondere zu den sozioökonomischen Eigenschaften der Befragten, haben sich bewährt und zu robusten Ergebnissen geführt. Es wird daher auf die bisherigen Erfahrungen zurückgegriffen, die hier geschätzten Modelle werden jedoch zusätzlich mit Variablen erweitert, von denen Effekte auf die Verkehrsmittelwahl erwartet werden können, welche bisher in der Schweiz aber noch nicht oder wenig getestet worden sind.

Aus dem Zusammenspiel der verschiedenen Variablentypen können Aussagen über die Einflüsse auf das Verkehrsverhalten der Befragten getroffen werden. Dabei sollen die in den nachfolgenden Listen genannten Variablen (und deren Transformationen bzw. Interaktionen) angewandt werden. Die ersten Modelltests dienen dazu, die bestmöglichen Kombinationen zu eruieren.

Neben den hier aufgezählten Variablen werden bei den Verkehrsmittelwahlentscheidungen (RP und SP) auch sogenannte alternativenspezifische Konstanten mit einbezogen. Diese dienen dazu, allfällige Effekte nicht messbarer oder nicht beobachteter Einflüsse im Stichprobenmittel abzubilden. Beispiele wären hier persönliche Präferenzen, situationsbedingte Umstände (Wetter, Gepäck, etc.) und sonstige Grössen, welche nicht in den SP-Entscheidungen abgefragt wurden und auch nicht sinnvoll hergeleitet werden können. Der Einbezug der Konstanten hat den Effekt, dass die mittleren vom Modell vorhergesagten Auswahlwahrscheinlichkeiten für jede Alternative den tatsächlich in der Stichprobe vorliegenden Verteilungen der Entscheidungen entsprechen.

Beim Einbezug von Konstanten und von Dummy-Variablen muss jeweils eine Alternative, bzw. eine Kategorie, als Referenz verwendet werden. Für diese wird der Wert des Parameters auf null fixiert – die Werte aller übrigen Kategorien können dann im Vergleich zur Referenzkategorie ausgewiesen werden. Dieses Vorgehen ist durch den Umstand bedingt, dass im Lo-

git-Modell nur die Differenzen der Nutzen der einzelnen Alternativen die Verhältnisse der Einflusswahrscheinlichkeiten beeinflussen und somit bei n Kategorien jeweils nur für $n - 1$ eine Konstante geschätzt werden kann (siehe auch Train, 2003). In den Ergebnistabellen wird jeweils aufgezeigt, welche Kategorie als Referenz verwendet wurde (dies hat keinen Einfluss auf die Schätzung der Parameter oder auf die Modellgüte).

Dieselben Überlegungen gelten auch für den Einbezug soziodemographischer Eigenschaften in den Nutzenfunktionen. In den ausformulierten Nutzenfunktionen (Abschnitte 3.2.1 bis 3.2.4) werden die Konstanten und soziodemographischen parameter jeweils für alle vier Verkehrsmittel ausgewiesen; in der praktischen Schätzung der Modelle wurden diese aber für die MIV-Alternative auf null fixiert (und tauchen daher in den Ergebnistabellen in Abschnitt 3.3 nicht mehr auf).

Der Einbezug von Konstanten ist nur in Fällen von nominell voneinander unterscheidbaren Alternativen (also z.B. verschiedenen Verkehrsmitteln) sinnvoll. Im Falle austauschbarer Alternativen (also z.B. Route 1 vs. Route 2) können keine Konstanten für eine der Alternativen geschätzt werden, da diese keinen inhärenten Nutzen einander gegenüber aufweisen.

Beschreibung des Verkehrsangebots

Folgende das Verkehrsangebot beschreibende Variablen sind in die Entscheidungsmodelle einzubeziehen; in Klammern sind jeweils die in den nicht-linearen Modellansätzen (siehe Abschnitt 2.2.9) vorgesehenen Formulierungen aufgelistet:

- zu Fuss:
 - Gehzeit (Interaktion mit Distanz / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
- Velo:
 - Fahrtzeit (Interaktion mit Distanz / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
- MIV:
 - Fahrtzeit (Interaktion mit Distanz / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
 - Parkplatzsuchzeit
 - Treibstoffkosten (Interaktion mit Distanz & Einkommen / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
 - Strassenbenutzungsabgabe (Interaktion mit Distanz & Einkommen / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
 - Parkkosten (Interaktion mit Einkommen)

- Verspätungswahrscheinlichkeit
- Verspätung¹
- ÖV:
 - Fahrtzeit (Interaktion mit Distanz / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
 - Zu- und Abgangszeit
 - Umsteigewartezeit
 - Billettpreis (Interaktion mit Distanz & Einkommen / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
 - Umsteigeanzahl (Interaktion mit Distanz / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
 - Takt (Interaktion mit Distanz / logarithmiert oder Box-Cox-transformiert)
 - Verspätungswahrscheinlichkeit
 - Verspätung
 - Auslastung (quadratisch)
 - Hauptverkehrsmittel (als Dummy zur Abbildung des inhärenten Vorteils oder Nachteils einer Verbindung mit einem Verkehrsmittel; diese Parameter können bei Bedarf im Verkehrsmodell zum Einbezug sogenannter Malus-Faktoren verwendet werden)

Sonstige Wegeeigenschaften

Folgende sonstige Wegeeigenschaften, welche nicht veränderbar sind und somit nicht dem Verkehrsangebot zugeordnet werden, sollten in den Entscheidungsmodellen berücksichtigt werden; die Form der Einflüsse ist jeweils in Klammern genannt:

- Distanz (als Interaktionsterm für die oben entsprechend gekennzeichneten Variablen)
- Fahrtzweck (als Dummies im Gesamtmodell, später dann als separate Modelle):
 - Arbeit (evt. weiter differenziert nach einfach / qualifiziert)
 - Ausbildung (evt. weiter differenziert nach Schüler / Student)
 - Einkauf (evt. weiter differenziert nach täglichem / langfristigen Bedarf)
 - Nutzfahrt (geschäftliche / dienstliche Wege)
 - Freizeit (inkl. Begleitwege)

¹ Es wurden auch Formulierungen mit einem multiplikativen Term aus Verspätungswahrscheinlichkeit und –dauer (mittlere erwartete Verspätung) getestet, diese wurden jedoch aufgrund der weniger guten Erklärungskraft in den endgültigen Modellen verworfen.

Sozioökonomie

Folgende sozioökonomische Eigenschaften der befragten Personen haben einen Einfluss auf deren Verkehrsverhalten und sollten daher in die Entscheidungsmodelle einbezogen werden; die Funktionsformen, welche dabei verwendet werden, sind jeweils in Klammern gelistet:

- Geschlecht (als Dummy)
- Alter (logarithmiert, quadratisch oder in Klassen)
- Haushaltsgrösse / -typ (Single-Haushalt, Paar ohne Kinder, Paar mit Kindern, alleinerziehend, grössere Familie)
- Einkommen (quadratisch oder als Interaktionsterm)

Mobilitätswerkzeuge

Der Besitz von Mobilitätswerkzeugen hat einen signifikanten Einfluss auf die Wahl eines Verkehrsmittels, weshalb die folgenden Variablen in die Entscheidungsmodelle einfließen sollten:

- PW-Besitz /-Verfügbarkeit (als Dummy oder Anzahl)
- ÖV-Abonnemente (Halbtax / Verbundabo / GA / sonstige) (als Dummies)

Räumliche Charakteristiken

Bei folgenden räumlichen Eigenschaften kann davon ausgegangen werden, dass ein Einfluss auf das Verkehrsverhalten besteht bzw. bestimmte Regionen und Regionstypen Ähnlichkeiten aufweisen; diese Einflüsse sollten in den Entscheidungsmodellen entsprechend getestet werden:

- Analyseregion (siehe Abschnitt 2.1) (als Dummies im Gesamtmodell, später dann als separate Modelle)
- Gemeindetyp (urban / ländlich / ...) (als Dummy)

2.2.8 Modelle mit linearen Nutzenfunktionen

Zunächst wird für die Gesamtschweiz sowie für jede Analyseregion ein Grundmodell mit linearen Nutzenkomponenten für alle relevanten Attribute geschätzt. Die linearen Nutzenfunktionen bestehen aus Summentermen aller in den Nutzen einer Alternative einflussenden Variablen, also:

$$V_i = \sum_j \beta_{ij} \cdot x_{ij}$$

i	betrachtete Alternative (Verkehrsmittel oder Route)
j	betrachtetes Attribut (z.B. Fahrtzeit, Kosten, etc.)
β_{ij}	Nutzenparameter des betrachteten Attributs für die betrachtete Alternative

Hier wäre anzumerken, dass allfällige direkte Transformationen der Variablen (quadriert, logarithmiert o.ä.) immer noch als „lineare“ Nutzenfunktionen gelten, da die Parameter weiterhin eine Linearkombination bilden. Erst bei den im nächsten Abschnitt beschriebenen nicht-linearen Nutzenfunktionen wird diese Beschränkung aufgehoben.

2.2.9 Modelle mit nicht-linearen Nutzenfunktionen

Aufbauend auf die oben beschriebenen linearen Nutzenfunktionen werden die Modelle mit nicht-linearen Interaktionen zwischen einzelnen Attributen ausgebaut oder als logarithmierte Funktionen geschätzt. Diese Modelle erlauben die Abbildung der heterogenen Bewertung einzelner Attribute in verschiedenen Situationen bzw. durch verschiedene Befragte.

Die mathematische Theorie der Entscheidungsmodelle (und die Modellsoftware) erlaubt im Prinzip unbegrenzte Kombinationsmöglichkeiten der Attribute und die Abbildung beliebiger nicht-linearer Funktionsansätze. Die hier getesteten Ansätze orientieren sich jedoch primär an der Literatur zur Entscheidungsmodellierung im Verkehrsbereich und den daraus resultierenden Erwartungen an das abzubildende Verhalten, sowie an der Anwendbarkeit der Ergebnisse in Verkehrsmodellen.

Modelle mit Interaktionstermen

Die Anwendung der Interaktionsterme wird in Mackie *et al.* (2003) vorgestellt; Anwendungen für Schweizer Daten finden sich u.a. in Axhausen *et al.* (2007, 2008), Hess *et al.* (2007, 2008), Weis *et al.* (2009, 2010), Weis *et al.* (2012a, 2012b), Fröhlich *et al.* (2014) und Widmer *et al.* (2017).

Im Gegensatz zur a priori willkürlichen Aufteilung der Befragten in verschiedene Gruppen aufgrund ihrer soziodemographischen oder Wegeigenschaften und der separaten Schätzung von Parametern für diese einzelnen Gruppen kommen hier kontinuierliche Interaktionsterme zur Verwendung. Aufgrund der expliziten Abbildung der deterministischen Heterogenität in der Bewertung von Angebotsattributen durch verschiedene Nutzer und für verschiedene Wege ist diese Formulierung auch Gründen der Interpretierbarkeit der Ergebnisse gegenüber Modellen mit Zufallsverteilungen der Parameter. Daneben ist auch die Modellschätzung deutlich effizienter, was angesichts der umfangreichen Datengrundlage hier ein nicht vernachlässigbares Kriterium ist (Hess *et al.*, 2007, 2008)

Die allgemeine Form dieser Interaktionsterme lautet wie folgt:

$$f(y, x) = \beta_x \cdot \left(\frac{y}{\bar{y}} \right)^{\lambda_{y,x}} \cdot x,$$

x beobachtete Variable, z.B. Reisezeit, Kosten, ...

β_x linearer Nutzenparameter der beobachteten Variable x

y beobachteter Wert für eine andere Variable

$\bar{y}$ Referenzwert für die Variable y (Distanz: 20 km; Einkommen: 7'000 CHF/Monat)

$\lambda_{y,x}$ Elastizität der Abhängigkeit des Nutzens vom Wert der Variable y

Die Wahl des Referenzwerts $\bar{y}$ ist beliebig und hat keinerlei Auswirkungen auf den geschätzten Wert der Parameter oder die Modellgüte (Hess *et al.*, 2008). Der Parameter β_x gibt direkt, also ohne Berücksichtigung von $\lambda_{y,x}$, den Nutzen einer Einheit der Variable x bei $y = \bar{y}$ an (da dann der Interaktionsterm gleich 1 ist und somit aus der Gleichung verschwindet). In allen nachfolgend geschätzten Modellen wird $\bar{y}$ für die Distanz auf 20 km und für das Haushaltseinkommen auf 7'000 CHF/Monat gesetzt.

Die im vorliegenden Projekt verwendeten Interaktionsterme sind in Tabelle 4 aufgelistet (siehe auch Abschnitt 2.2.7). Die Bandbreite an Interaktionen, welche hier angenommen werden, geht etwas weiter als jene aus früheren Anwendungen (siehe die Auflistung in Abschnitt 2.2.1), in welchen meist nur Interaktionen von Kosten und Fahrtzeiten mit der Distanz und dem Einkommen angenommen wurden. Hier werden Interaktionsterme bei jenen Attributen verwendet, deren Bewertung sich mit der Weglänge verändern könnte.

Ausgeschrieben ergibt sich beispielsweise für die Nutzenkomponente der Kosten folgende Formel:

$$\beta_{\text{Kosten}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{\text{Einkommen, Kosten}}} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz, Kosten}}} \cdot \text{Kosten}$$

Tabelle 4 In den Modellen verwendete Interaktionsterme

Verkehrsmittel	Attribut	Interaktion mit
Alle	Geh-/Fahrtzeit [min]	Distanz [km]
MIV	Treibstoffkosten [CHF]	Distanz [km]
		Haushaltseinkommen [CHF/Monat]
	Strassenbenutzungsabgabe [CHF]	Distanz [km]
		Haushaltseinkommen [CHF/Monat]
	Verspätung	Distanz [km]
ÖV	Billettpreis [CHF]	Distanz [km]
		Haushaltseinkommen [CHF/Monat]
	Anzahl Umsteigevorgänge	Distanz [km]
	Takt	Distanz [km]
	Verspätung	Distanz [km]

Modelle mit Box-Cox-Transformation der Variablen

Die hier beschriebenen Modelle basieren ebenfalls auf der Annahme, dass die Bewertung des Anstiegs eines Attributs von deren Grundwert abhängig ist, unterscheiden sich aber in der Formulierung dieses Umstands. Die unterschiedliche Bewertung der Variablen (und damit der Verlauf von Kenngrössen wie z.B. der Zeitkosten oder anderer Zahlungsbereitschaften) wird hier nicht mehr über die Weglänge modelliert, sondern über sich verändernde Grenzwiderstände der einzelnen Variablen selber.

Bei diesem Modellansatz werden die in den vorangegangenen Auflistungen entsprechend gekennzeichneten Variablen mit einer Box-Cox-Transformation (einer Erweiterung des Logarithmus), und ohne weitere Interaktionsterme, in die Nutzenfunktionen einbezogen. Der Ansatz ist in der Schweizer Modellierungspraxis noch weitestgehend unerprobt, wurde aber in Weis (2006) erfolgreich getestet. Er ist eine Modifikation des in der Zeitwertstudie in Deutschland, welche auf einer sehr ähnlichen Datengrundlage basiert (Axhausen *et al.*, 2014), erfolgreich angewandten logarithmischen Ansatzes.

Die dabei zum Einsatz kommenden Nutzenfunktionen beinhalten für die nicht-linear einfließenden Variablen folgende Form:

$$f(x) = \beta_x \cdot \frac{x^{\lambda_x} - 1}{\lambda_x},$$

x beobachtete Variable, z.B. Reisezeit, Kosten, ...

β_x	linearer Nutzenparameter der beobachteten Variable x
λ_x	Box-Cox-Parameter der beobachteten Variable

Im Laufe der Modellschätzung kann festgestellt werden, ob sich die Werte der λ_x -Parameter signifikant von null, oder eins unterscheidet. Falls λ nicht signifikant unterschiedlich von eins ist, kann auf eine lineare Formulierung zurückgegriffen werden. Wenn der Wert nicht signifikant unterschiedlich von null ist, kann der Wert auf null fixiert werden, und der Nutzenterm für die entsprechende Variable x wird zu deren Logarithmus. Die ersten Modelltests werden also zeigen, ob die Box-Cox-Formulierung beibehalten werden sollte oder die Vereinfachung zu einer logarithmischen Formulierung (für einzelne oder alle Variablen) zulässig ist. Die dabei zum Einsatz kommenden Nutzenfunktionen würden dann folgende Form annehmen:

$$f(x) = \beta_x \cdot x + \beta_{\ln(x)} \cdot \ln(\gamma_x + x),$$

x	beobachtete Variable, z.B. Reisezeit, Kosten, ...
β_x	linearer Nutzenparameter der beobachteten Variable x
$\beta_{\ln(x)}$	Nutzenparameter für den Logarithmus der beobachteten Variable x
γ_x	Konstante (fixiert)

Der Einbezug der γ -Parameter hat sich bei Tests verschiedener Modellformulierungen in Axhausen *et al.* (2014) als notwendig erwiesen, um die Nutzenfunktion (und deren Ableitung, welche für die Berechnung der Bewertungsverhältnisse verwendet wird) bei Attributwerten nahe an null (also insbesondere bei sehr kurzen Wegen), für welche der Logarithmus ansonsten sehr grosse Werte annehmen würde, korrekt abbilden zu können. Diese Parameter dienen also primär der numerischen Handhabbarkeit der Modelle. Die Werte für die γ -Parameter können geschätzt oder im Voraus festgelegt werden – sie haben keinen Einfluss auf die Schätzwerte der restlichen Parameter oder die Modellgüte, sondern dienen lediglich der erwähnten Normierung der Nutzenfunktionen. Es werden Tests für verschiedene Wertekombinationen durchgeführt, als Startwerte werden jeweils Referenzwerte von null verwendet; diese werden nur verändert, falls es Hinweise auf numerische Probleme bei der Schätzung gibt. Auch die Notwendigkeit des Einbezugs der linearen Komponente ($\beta_x \cdot x$) zusätzlich zur logarithmierten wird überprüft.

Die Grundlage für die Schätzung der Ansätze mit den nicht-linearen Nutzenfunktionen ist wie bei der linearen Spezifikation (Abschnitt 2.2.8) der Gesamtdatensatz aller RP- und SP-Beobachtungen (Verkehrsmittel-, MIV- und ÖV-Routenwahl) für die Schweiz bzw. die einzelnen Analyseregionen.

2.2.10 Fahrtzweckspezifische Modelle

Letztendlich wird noch die fahrtzweckspezifische Trennung der Modelle vorgenommen. Für jede Teilstichprobe je Analyse- und Fahrtzweck (Arbeit, Ausbildung, Einkauf, Nutzfahrt, Freizeit) wird hier ein eigenes lineares Modell mit dem Gesamtdatensatz aus RP- und SP-Beobachtungen geschätzt. Die Struktur der Modelle ist dabei jeweils identisch wie für das entsprechende Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen (Abschnitt 2.2.9). Allfällige Vereinfachungen der Nutzenfunktionen (z.B. die Rückkehr zu linearen Formulierungen für bestimmte Attribute) werden, falls notwendig (also falls die Stichprobengrösse die signifikante Schätzung aller Effekte nicht zulässt), im Laufe der Modelletablierung getätigt.

2.2.11 Modellformulierung und Vorgehen

Die Entwicklung von Entscheidungsmodellen ist ein iterativer Prozess, welcher schrittweise zur Formulierung des endgültig zu verwendenden Modellansatzes führt. Zunächst werden hier Modelle mit einem rein linearen Ansatz geschätzt. Diese Modelle dienen zur Plausibilisierung der erhobenen Daten und der daraus resultierenden Parameter (korrekte Grössenordnungen, Vorzeichen und relative Werte der Parameter; Signifikanz der Parameter; Modellgüte). Hier können erste Erkenntnisse über die relevanten Einflussgrössen gewonnen und ermittelt werden, ob die daraus gewonnenen Ergebnisse mit der Theorie bzw. den Erwartungen konsistent sind.

Nach der Stabilisierung der Modellergebnisse aus dem einfachen linearen Modell werden dann die sozioökonomischen Effekte abgebildet. Anschliessend wird zunächst das nicht-lineare Modell aufgebaut. Hier werden die Terme, welche die nicht-lineare Abhängigkeit der Bewertung der einzelnen Attribute der Alternativen vom Einkommen des Befragten sowie von der Weglänge beschreiben, progressiv in die Nutzenfunktionen eingeführt.

Letztendlich werden die regionale sowie die fahrtzweckspezifische Trennung der Modelle vorgenommen. Auch hier müssen mehrere Modellläufe durchgeführt werden, um zu eruieren, für welche Parameter eine Trennung nach Fahrtzweck sinnvoll und relevant ist.

3 Analyse der Verkehrsmodus- und Routenwahl

3.1 Deskriptive Analyse der Daten

In ARE (2016) wurde bereits eine umfassende deskriptive Auswertung der SP-Daten vorgenommen. Die wichtigsten statistischen Kennwerte (Mittelwert, Median und Standardabweichung) jedes in den SP-Befragungen vorkommenden Attributs sind in den folgenden Tabellen nochmals dargestellt. Tabelle 5 enthält die Auswertungen für den RP-Datensatz, Tabelle 6 jene für den SP-Verkehrsmittelwahl Datensatz, Tabelle 7 jene für die MIV-Routenwahl und Tabelle 8 jene für die ÖV-Routenwahl.

Tabelle 5 Statistische Kennwerte der RP-Attribute

Alternative	Attribut	Mittelwert	Median	Standardabweichung
zu Fuss	Gehzeit [min]	51.1	41.5	41.2
Velo	Fahrtzeit [min]	22.5	20.0	16.2
	Fahrtzeit [min]	22.5	15.0	24.4
MIV	Parkplatzsuchzeit [min]	2.9	3.0	1.5
	Treibstoffkosten [CHF]'	2.7	1.4	3.2
	Fahrtzeit [min]	29.2	19.0	33.4
	Zu- und Abgangszeit [min]	16.5	13.0	26.0
ÖV	Billettpreis [CHF]	5.6	2.6	7.6
	Anzahl Umsteigevorgänge	1.0	1.0	1.2
	Takt [min]	22.4	17.0	18.9
	Auslastung	2.3	2.0	1.0

Tabelle 6 Statistische Kennwerte der SP-Attribute, Verkehrsmittelwahl

Alternative	Attribut	Mittelwert	Median	Standard- abweichung
zu Fuss	Gehzeit [min]	51.0	42.0	41.3
Velo	Fahrtzeit [min]	22.4	19.0	16.4
MIV	Fahrtzeit [min]	24.9	17.0	27.5
	Parkplatzsuchzeit [min]	3.4	3.0	2.0
	Treibstoffkosten [CHF]'	3.3	1.8	4.0
	Strassenbenutzungsabgabe [CHF]	1.6	0.7	2.7
	Parkplatzkosten [min]	2.3	2.0	2.1
	Verspätungswahrscheinlichkeit [%]	21.1	20.0	9.6
	Verspätungsdauer [min]	2.6	2.0	2.9
ÖV	Fahrtzeit [min]	28.6	18.0	34.4
	Zu- und Abgangszeit [min]	16.3	13.0	26.7
	Billettpreis [CHF]	6.9	3.4	9.6
	Anzahl Umsteigevorgänge	1.2	1.0	1.3
	Takt [min]	23.3	15.0	20.8
	Verspätungswahrscheinlichkeit [%]	21.2	20.0	9.6
	Verspätungsdauer [min]	3.0	2.0	3.6
	Auslastung	2.3	2.0	1.0

Tabelle 7 Statistische Kennwerte der SP-Attribute, Routenwahl MIV

Alternative	Attribut	Mittelwert	Median	Standard- abweichung
1	Fahrtzeit [min]	22.4	15.0	23.5
	Treibstoffkosten [CHF]'	3.3	2.0	3.8
	Strassenbenutzungsabgabe [CHF]	1.6	0.7	2.6
2	Fahrtzeit [min]	22.4	15.0	23.5
	Treibstoffkosten [CHF]'	3.3	2.0	3.8
	Strassenbenutzungsabgabe [CHF]	1.6	0.7	2.5

Tabelle 8 Statistische Kennwerte der SP-Attribute, Routenwahl ÖV

Alternative	Attribut	Mittelwert	Median	Standard- abweichung
1	Fahrtzeit [min]	34.4	23.0	37.3
	Zu- und Abgangszeit [min]	13.5	11.0	14.9
	Umsteigewartezeit [min]	4.8	0.0	19.2
	Billettpreis [CHF]	5.1	2.6	7.1
	Anzahl Umsteigevorgänge	1.1	1.0	1.3
	Takt [min]	17.9	15.0	16.5
	Auslastung	2.6	3.0	1.0
2	Fahrtzeit [min]	34.5	23.0	37.5
	Zu- und Abgangszeit [min]	13.5	11.0	14.4
	Umsteigewartezeit [min]	4.8	0.0	20.1
	Billettpreis [CHF]	5.1	2.5	7.0
	Anzahl Umsteigevorgänge	1.1	1.0	1.3
	Takt [min]	17.9	15.0	16.5
	Auslastung	2.6	3.0	1.0

3.2 Modellentwicklung

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die verschiedenen im Rahmen der Modellschätzungen getesteten Ansätze. Der im vorigen Abschnitt erwähnte iterative Prozess bedingt, dass nach und nach eruiert werden muss, welche Variablen wie in die Nutzenfunktionen der einzelnen Alternativen einfließen sollen. Diese Vorgehensweise wird hier beschrieben und die schlussendlich beibehaltenen Formulierungen aufgezeigt. Die Ergebnisse der Modellschätzungen für diese Formulierungen sind denn Gegenstand von Abschnitt 3.3.

3.2.1 Modell mit linearen Nutzenfunktionen ohne Soziodemographie

Zunächst wird ein Modell mit linearen Nutzenfunktionen und ohne Abbildung der Effekte der sozioökonomischen Eigenschaften der Befragten geschätzt. Die Nutzenfunktionen sind hier also reine Linearkombinationen der einzelnen in den SP-Experimenten abgefragten Angebotsattribute der Alternativen.

Das einfache lineare Modell dient in erster Linie der Bestätigung der Validität der Datengrundlage, komplementär zu den in ARE (2016) geschätzten Testmodellen. Hier wird analysiert, ob die Vorzeichen, Grössenordnungen/Verhältnisse und Signifikanzen der Parameter korrekt und plausibel sind sowie die Gesamtmodellgüte beurteilt. Zudem kann bereits festgestellt werden, für welche Variablen eine differenziertere Betrachtung der Parameter sinnvoll ist.

Die Verwendung eines gemeinsamen Parameters für alle Verkehrsmittel für die Fahrtkostenkomponenten hat sich bewährt. Dies ist auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll, das die Bewertung eines Frankens unabhängig von dessen Verwendungszweck gleich bleibt. Ebenfalls nicht nach Verkehrsmittel differenziert, also mit einem gemeinsamen Parameter versehen, werden die Verspätungsvariablen im MIV und ÖV.

Es konnte zudem festgestellt werden, dass ein Einbezug des Auslastungsgrades im ÖV als quadrierte Variable die beste Erklärungskraft aufweist. Tests mit einem zusätzlichen linearen Term (welcher aufgrund der Entwicklung des Terms notwendig wäre) haben gezeigt, dass dieser nicht signifikant unterschiedlich von null ist und daher bei der Schätzung weggelassen werden kann.

Die voll ausformulierten Nutzenfunktionen für die einzelnen Entscheidungsfälle sind auf den nachfolgenden Seiten ausgewiesen.

- RP Verkehrsmittelwahl:

$$V_{Fuss} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\frac{\text{Konstante}_{Fuss}}{+\beta_{Gehzeit\ Fuss} \cdot Gehzeit} \right)$$

$$V_{Velo} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\frac{\text{Konstante}_{Velo}}{+\beta_{Fahrtzeit\ Velo} \cdot Fahrtzeit} \right)$$

$$V_{MIV} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\frac{\text{Konstante}_{MIV}}{+\beta_{Fahrtzeit\ MIV} \cdot Fahrtzeit} \right. \\ \left. +\beta_{Suchzeit} \cdot Suchzeit \right. \\ \left. +\beta_{Kosten} \cdot Fahrkosten \right)$$

$$V_{OV} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\frac{\text{Konstante}_{OV}}{+\beta_{Fahrtzeit\ OV} \cdot Fahrtzeit} \right. \\ \left. +\beta_{Zu-und\ Abgangszeit} \cdot Zu-und\ Abgangszeit \right. \\ \left. +\beta_{Wartezeit} \cdot Wartezeit \right. \\ \left. +\beta_{Umsteigen} \cdot Umsteigen \right. \\ \left. +\beta_{Takt} \cdot Takt \right. \\ \left. +\beta_{Auslastung} \cdot Auslastung^2 \right. \\ \left. +\beta_{Kosten} \cdot Fahrkosten \right)$$

- SP Verkehrsmittelwahl:

$$V_{Fuss} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\frac{\text{Konstante}_{Fuss}}{+\beta_{Gehzeit\ Fuss} \cdot Gehzeit} \right)$$

$$V_{Velo} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\frac{\text{Konstante}_{Velo}}{+\beta_{Fahrtzeit\ Velo} \cdot Fahrtzeit} \right)$$

$$V_{MIV} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\frac{\text{Konstante}_{MIV}}{+\beta_{Fahrtzeit\ MIV} \cdot Fahrtzeit} \right. \\ \left. +\beta_{Suchzeit} \cdot Suchzeit \right. \\ \left. +\beta_{Kosten} \cdot Fahrkosten \right. \\ \left. +\beta_{Kosten} \cdot Maut \right. \\ \left. +\beta_{Parkkosten} \cdot Parkkosten \right. \\ \left. +\beta_{Verspätungswahrscheinlichkeit} \cdot Verspätungswahrscheinlichkeit \right. \\ \left. +\beta_{Verspätung} \cdot Verspätung \right)$$

$$V_{OV} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\frac{\text{Konstante}_{OV}}{+\beta_{Fahrtzeit\ OV} \cdot Fahrtzeit} \right. \\ \left. +\beta_{Zu-und\ Abgangszeit} \cdot Zu-und\ Abgangszeit \right. \\ \left. +\beta_{Kosten} \cdot Fahrkosten \right. \\ \left. +\beta_{Umsteigen} \cdot Umsteigen \right. \\ \left. +\beta_{Takt} \cdot Takt \right. \\ \left. +\beta_{Auslastung} \cdot Auslastung^2 \right. \\ \left. +\beta_{Verspätungswahrscheinlichkeit} \cdot Verspätungswahrscheinlichkeit \right. \\ \left. +\beta_{Verspätung} \cdot Verspätung \right)$$

- SP Routenwahl MIV:

$$U_{Route\ 1/2} = Skalenparameter_{SP\ 2} \cdot \begin{pmatrix} \beta_{Fahrtzeit\ MIV} \cdot Fahrtzeit \\ + \beta_{Kosten} \cdot Fahrkosten \\ + \beta_{Kosten} \cdot Maut \end{pmatrix}$$

- SP Routenwahl ÖV:

$$U_{Route\ 1/2} = Skalenparameter_{SP\ 3} \cdot \begin{pmatrix} \beta_{Fahrtzeit\ ÖV} \cdot Fahrtzeit \\ + \beta_{Zu-und\ Abgangszeit} \cdot Zu-und\ Abgangszeit \\ + \beta_{Wartezeit} \cdot Wartezeit \\ + \beta_{Kosten} \cdot Fahrkosten \\ + \beta_{Umsteigen} \cdot Umsteigen \\ + \beta_{Takt} \cdot Takt \\ + \beta_{Auslastung} \cdot Auslastung^2 \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Hauptverkehrsmittel\ j} \cdot Hauptverkehrsmittel\ j \end{pmatrix}$$

3.2.2 Modell mit linearen Nutzenfunktionen mit Soziodemographie

Nachdem ein stabiles lineares Modell geschätzt werden konnte, wurde dieses iterativ mit soziodemographischen Variablen erweitert, um deren Einfluss auf das Verkehrsverhalten abbilden zu können. Hierbei wurde getestet, für welche Variablen ein Einbezug sinnvoll ist (hinsichtlich der Signifikanz der dazugehörigen Parameter und der Verbesserung der Gesamtmodellgüte) und welche Form die Einflüsse annehmen.

Die Tests haben ergeben, dass die Variablen Alter und Einkommen als Polynome mit einem linearen und einem quadrierten Term in die Nutzenfunktionen einfließen sollten. Zu Normierungszwecken wird dabei vorgängig das Alter durch 10 und das Einkommen durch 1'000 geteilt. Es hat sich zudem gezeigt, dass die Haushaltsgrösse keinen signifikanten Einfluss auf die hier untersuchten Entscheidungen hat und somit von der Analyse ausgeschlossen werden sollte. Ebenfalls nicht signifikant ist die Ausbildungsstufe – diese korreliert sehr stark mit dem Einkommen, wodurch eine Trennung der Effekte dieser beiden Variablen in den Modellen nicht möglich ist.

Die Analyseregionen (siehe Abschnitt 2.1) werden als Dummy-Variablen in das Modell einbezogen. Gleichermassen werden auch die in Tabelle 9 aufgelisteten Raumtypen, basierend auf der aus einer Kombination zwischen den Grossregionen, der Agglomerationsdefinition 2000 sowie der Gemeindetypologie hervorgehenden Typisierung des ARE (2014), unterschieden.

Tabelle 9 In den Entscheidungsmodellen verwendete Gemeindetypen (ARE, 2014)

ARE-Typ	ARE-Name	Kategorie für Modelle
1	Grosszentren	urban
2	Nebenzentren der Grosszentren	urban
3	Gürtel der Grosszentren	suburban
4	Mittelzentren	urban
5	Gürtel der Mittelzentren	suburban
6	Kleinzentren	ländlich
7	Periurbane ländliche Gemeinden	ländlich
8	Agrargemeinden	ländlich
9	Touristische Gemeinden	ländlich

Für die in der Folge verwendete Nummerierung der Dummy-Variablen werden folgende Definitionen verwendet:

- *Fahrtzweck i* 1: Arbeit, 2: Ausbildung, 3: Einkauf, 4: Nutzfahrt, 5: Freizeit;
- *Region j* Aufteilung gemäss Abschnitt 2.1;
- *Gemeindetyp k* 1: urban, 2: suburban, 3: ländlich;
- *ÖV-Abonnement l* 0: keines, 1: Halbtax, 2: Verbundabo, 3: GA.

Die Nutzenfunktionen für die einzelnen Entscheidungsfälle sind wie auf den folgenden Seiten beschrieben formuliert.

- RP Verkehrsmittelwahl:

$$V_{Fuss} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{Fuss} \\ + \beta_{Alter, Fuss} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2, Fuss} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann, Fuss} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen, Fuss} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2, Fuss} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i, Fuss} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j, Fuss} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k, Fuss} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Gehzeit} \cdot \text{Gehzeit} \end{array} \right)$$

$$V_{Velo} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{Velo} \\ + \beta_{Alter, Velo} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2, Velo} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann, Velo} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen, Velo} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2, Velo} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{j=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i, Velo} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j, Velo} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k, Velo} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Fahrtzeit\ Velo} \cdot \text{Fahrtzeit} \end{array} \right)$$

$$V_{MIV} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{MIV} \\ + \beta_{Alter, MIV} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2, MIV} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann, MIV} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen, MIV} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2, MIV} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \beta_{PW-Verfügbarkeit, MIV} \cdot \text{PW-Verfügbarkeit} \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i, MIV} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j, MIV} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k, MIV} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Fahrtzeit\ MIV} \cdot \text{Fahrtzeit} \\ + \beta_{Suchzeit} \cdot \text{Suchzeit} \\ + \beta_{Kosten} \cdot \text{Fahrtkosten} \end{array} \right)$$

$$V_{\text{ÖV}} = \text{Skalenparameter}_{\text{RP}} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{\text{ÖV}} \\ + \beta_{\text{Alter}, \text{ÖV}} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2, \text{ÖV}} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{\text{Mann}, \text{ÖV}} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{\text{Einkommen}, \text{ÖV}} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2, \text{ÖV}} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{\text{Fahrtzweck } i, \text{ÖV}} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j, \text{ÖV}} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k, \text{ÖV}} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \sum_{l=0}^3 \beta_{\text{ÖV-Abonnement } l, \text{ÖV}} \cdot \text{ÖV-Abonnement } l \\ + \beta_{\text{Fahrzeit } \text{ÖV}} \cdot \text{Fahrzeit} \\ + \beta_{\text{Zu-und Abgangszeit}} \cdot \text{Zu- und Abgangszeit} \\ + \beta_{\text{Wartezeit}} \cdot \text{Wartezeit} \\ + \beta_{\text{Kosten}} \cdot \text{Fahrtkosten} \\ + \beta_{\text{Umsteigen}} \cdot \text{Umsteigen} \\ + \beta_{\text{Takt}} \cdot \text{Takt} \\ + \beta_{\text{Auslastung}} \cdot \text{Auslastung}^2 \end{array} \right)$$

- SP Verkehrsmittelwahl:

$$V_{\text{Fuss}} = \text{Skalenparameter}_{\text{SP } 1} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{\text{Fuss}} \\ + \beta_{\text{Alter}, \text{Fuss}} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2, \text{Fuss}} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{\text{Mann}, \text{Fuss}} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{\text{Einkommen}, \text{Fuss}} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2, \text{Fuss}} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{\text{Fahrtzweck } i, \text{Fuss}} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j, \text{Fuss}} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k, \text{Fuss}} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{\text{Gehzeit}} \cdot \text{Gehzeit} \end{array} \right)$$

$$V_{Velo,i} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{Velo} \\ + \beta_{Alter,Velo} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,Velo} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann,Velo} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen,Velo} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,Velo} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i,Velo} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,Velo} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,Velo} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Fahrtzeit\ Velo} \cdot \text{Fahrtzeit} \end{array} \right)$$

$$V_{MIV,i} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{MIV} \\ + \beta_{Alter,MIV} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,MIV} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann,MIV} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen,MIV} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,MIV} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \beta_{PW-Verfügbarkeit,MIV} \cdot \text{PW-Verfügbarkeit} \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i,MIV} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,MIV} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,MIV} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Fahrtzeit\ MIV} \cdot \text{Fahrtzeit} \\ + \beta_{Suchzeit} \cdot \text{Suchzeit} \\ + \beta_{Kosten} \cdot \text{Fahrtkosten} \\ + \beta_{Kosten} \cdot \text{Maut} \\ + \beta_{Parkkosten} \cdot \text{Parkkosten} \\ + \beta_{Verspätungswahrscheinlichkeit} \cdot \text{Verspätungswahrscheinlichkeit} \\ + \beta_{Verspätung} \cdot \text{Verspätung} \end{array} \right)$$

$$V_{\ddot{O}V} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{\ddot{O}V} \\ + \beta_{\text{Alter}, \ddot{O}V} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2, \ddot{O}V} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{\text{Mann}, \ddot{O}V} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{\text{Einkommen}, \ddot{O}V} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2, \ddot{O}V} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{\text{Fahrtzweck } i, \ddot{O}V} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j, \ddot{O}V} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k, \ddot{O}V} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \sum_{l=0}^3 \beta_{\ddot{O}V\text{-Abonnement } l, \ddot{O}V} \cdot \ddot{O}V\text{-Abonnement } l \\ + \beta_{\text{Fahrzeit } \ddot{O}V} \cdot \text{Fahrzeit} \\ + \beta_{\text{Zu-und Abgangszeit}} \cdot \text{Zu- und Abgangszeit} \\ + \beta_{\text{Kosten}} \cdot \text{Fahrtkosten} \\ + \beta_{\text{Umsteigen}} \cdot \text{Umsteigen} \\ + \beta_{\text{Takt}} \cdot \text{Takt} \\ + \beta_{\text{Auslastung}} \cdot \text{Auslastung}^2 \\ + \beta_{\text{Verspätungswahrscheinlichkeit}} \cdot \text{Verspätungswahrscheinlichkeit} \\ + \beta_{\text{Verspätung}} \cdot \text{Verspätung} \end{array} \right)$$

- SP Routenwahl MIV:

$$V_{\text{Route } 1/2} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 2} \cdot \left(\begin{array}{l} \beta_{\text{Fahrzeit MIV}} \cdot \text{Fahrzeit} \\ + \beta_{\text{Kosten}} \cdot \text{Fahrtkosten} \\ + \beta_{\text{Kosten}} \cdot \text{Maut} \end{array} \right)$$

- SP Routenwahl ÖV:

$$V_{\text{Route } 1/2} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 3} \cdot \left(\begin{array}{l} \beta_{\text{Fahrzeit } \ddot{O}V} \cdot \text{Fahrzeit} \\ + \beta_{\text{Zu-und Abgangszeit}} \cdot \text{Zu- und Abgangszeit} \\ + \beta_{\text{Wartezeit}} \cdot \text{Wartezeit} \\ + \beta_{\text{Kosten}} \cdot \text{Fahrtkosten} \\ + \beta_{\text{Umsteigen}} \cdot \text{Umsteigen} \\ + \beta_{\text{Takt}} \cdot \text{Takt} \\ + \beta_{\text{Auslastung}} \cdot \text{Auslastung}^2 \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Hauptverkehrsmittel } j} \cdot \text{Hauptverkehrsmittel } j \end{array} \right)$$

3.2.3 Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen

Auf dem linearen Modell mit Soziodemographie aufbauend wurden die verschiedenen Formulierungen für die nicht-linearen Nutzenfunktionen getestet. Hierbei hat sich gezeigt, dass der „klassische“ Ansatz mit Interaktionstermen nach Mackie *et al.* (2003) für die Modellierung der hier vorliegenden Entscheidungen am besten geeignet ist.

Neben der verbesserten Modellgüte gegenüber dem logarithmischen und dem Box-Cox-Ansatz hat dieser Ansatz auch den Vorteil, dass die für die Bewertung von Projekten wichtigen Kenngrößen wie z.B. die Zeitwerte problemlos berechnet werden können. Diese werden gewichtet für den gesamten Wegedatensatz des MZMV 2015 berechnet. Da die Kenngrößen beim Modell mit Interaktionstermen nur von der Weglänge und vom Einkommen abhängig sind, müssen dem Datensatz keine sekundären Variablen (geroutete Angebotsvariablen der gewählten und der nicht-gewählten Alternativen) zugespielt werden, wie dies bei den anderen Ansätzen notwendig wäre. Folgend dem Prinzip der Parsimonie (*Occam's Razor*, Stanford Encyclopedia, 2015) sollte unter vielen möglichen Modellen stets dasjenige verwendet werden, welches gleich- oder besserwertige Informationen mit dem dafür geringstmöglichen Aufwand liefert. Dies ist hier aufgrund der einfacheren Formulierung und der besseren Erklärungskraft das in der Folge vorgestellte Modell.

Die nach eingehenden Tests im finalen Modell beibehaltenen Interaktionsterme sind in Tabelle 10 dargestellt (siehe auch Tabelle 4). Die ausformulierten Nutzenfunktionen folgen auf den nächsten Seiten.

Tabelle 10 In den Entscheidungsmodellen verwendete Interaktionsterme

Verkehrsmittel	Angebotsvariable	Interaktion mit
zu Fuss	Gehzeit	Distanz
Velo	Fahrtzeit	Distanz
MIV	Fahrtzeit	Distanz
	Treibstoffkosten	Distanz & Haushaltseinkommen*
	Strassennutzungsgebühr	Distanz & Haushaltseinkommen *
	Parkkosten	Einkommen*
	Verspätung	Distanz
ÖV	Fahrtzeit	Distanz
	Umsteigen	Distanz
	Takt	Distanz
	Billettkosten	Distanz & Haushaltseinkommen *
	Verspätung	Distanz

* gemeinsamer Interaktionsparameter für alle Kostenkomponenten

- RP Verkehrsmittelwahl:

$$V_{Fuss} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{Fuss} \\ + \beta_{Alter,Fuss} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,Fuss} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann,Fuss} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen,Fuss} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,Fuss} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i,Fuss} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,Fuss} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,Fuss} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Gehzeit\ Fuss} \cdot \text{Gehzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Gehzeit Fuss}}} \end{array} \right)$$

$$V_{Velo} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{Velo} \\ + \beta_{Alter,Velo} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,Velo} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann,Velo} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen,Velo} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,Velo} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i,Velo} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,Velo} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,Velo} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Fahrtzeit\ Velo} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Fahrtzeit Velo}}} \end{array} \right)$$

$$V_{MIV} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{MIV} \\ + \beta_{Alter,MIV} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,MIV} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann,MIV} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen,MIV} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,MIV} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \beta_{PW-Verfügbarkeit,MIV} \cdot \text{PW-Verfügbarkeit} \\ + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i,MIV} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,MIV} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,MIV} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Fahrtzeit\ MIV} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Fahrtzeit MIV,i}}} \\ + \beta_{Suchzeit} \cdot \text{Suchzeit} \\ + \beta_{Kosten} \cdot \text{Fahrtkosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Fahrtkosten MIV}}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{\text{Einkommen,Kosten}}} \end{array} \right)$$

$$V_{\text{ÖV}} = \text{Skalenparameter}_{\text{RP}} \cdot \left(\begin{aligned} & \text{Konstante}_{\text{ÖV}} \\ & + \beta_{\text{Alter}, \text{ÖV}} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2, \text{ÖV}} \cdot \text{Alter}^2 \\ & + \beta_{\text{Mann}, \text{ÖV}} \cdot \text{Mann} \\ & + \beta_{\text{Einkommen}, \text{ÖV}} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2, \text{ÖV}} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ & + \sum_{i=1}^5 \beta_{\text{Fahrtzweck } i, \text{ÖV}} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ & + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j, \text{ÖV}} \cdot \text{Region } j \\ & + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k, \text{ÖV}} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ & + \sum_{l=0}^3 \beta_{\text{ÖV-Abonnement } l, \text{ÖV}} \cdot \text{ÖV-Abonnement } l \\ & + \beta_{\text{Fahrtzeit } \text{ÖV}} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz}, \text{Fahrtzeit } \text{ÖV}}} \\ & + \beta_{\text{Zu- und Abgangszeit}} \cdot \text{Zu- und Abgangszeit} \\ & + \beta_{\text{Wartezeit}} \cdot \text{Wartezeit} \\ & + \beta_{\text{Kosten}} \cdot \text{Fahrtkosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz}, \text{Fahrtkosten } \text{ÖV}}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{\text{Einkommen}, \text{Kosten}}} \\ & + \beta_{\text{Umsteigen}} \cdot \text{Umsteigen} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz}, \text{Umsteigen}}} \\ & + \beta_{\text{Takt}} \cdot \text{Takt} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz}, \text{Takt}}} \\ & + \beta_{\text{Auslastung}} \cdot \text{Auslastung}^2 \end{aligned} \right)$$

- SP Verkehrsmittelwahl:

$$V_{\text{Fuss}} = \text{Skalenparameter}_{\text{SP } 1} \cdot \left(\begin{aligned} & \text{Konstante}_{\text{Fuss}} \\ & + \beta_{\text{Alter}, \text{Fuss}} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2, \text{Fuss}} \cdot \text{Alter}^2 \\ & + \beta_{\text{Mann}, \text{Fuss}} \cdot \text{Mann} \\ & + \beta_{\text{Einkommen}, \text{Fuss}} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2, \text{Fuss}} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ & + \sum_{i=1}^5 \beta_{\text{Fahrtzweck } i, \text{Fuss}} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ & + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j, \text{Fuss}} \cdot \text{Region } j \\ & + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k, \text{Fuss}} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ & + \beta_{\text{Gehzeit } \text{Fuss}} \cdot \text{Gehzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz}, \text{Gehzeit } \text{Fuss}}} \end{aligned} \right)$$

$$V_{\text{Velo}} = \text{Skalenparameter}_{\text{SP } 1} \cdot \left(\begin{aligned} & \text{Konstante}_{\text{Velo}} \\ & + \beta_{\text{Alter}, \text{Velo}} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2, \text{Velo}} \cdot \text{Alter}^2 \\ & + \beta_{\text{Mann}, \text{Velo}} \cdot \text{Mann} \\ & + \beta_{\text{Einkommen}, \text{Velo}} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2, \text{Velo}} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ & + \sum_{i=1}^5 \beta_{\text{Fahrtzweck } i, \text{Velo}} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\ & + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j, \text{Velo}} \cdot \text{Region } j \\ & + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k, \text{Velo}} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ & + \beta_{\text{Fahrtzeit } \text{Velo}, i} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz}, \text{Fahrtzeit } \text{Velo}}} \end{aligned} \right)$$

$$\begin{aligned}
 V_{MIV} = & \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\begin{aligned}
 & \text{Konstante}_{MIV} \\
 & + \beta_{Alter,MIV} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,MIV} \cdot \text{Alter}^2 \\
 & + \beta_{Mann,MIV} \cdot \text{Mann} \\
 & + \beta_{Einkommen,MIV} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,MIV} \cdot \text{Einkommen}^2 \\
 & + \beta_{PW-Verfügbarkeit,MIV} \cdot PW - \text{Verfügbarkeit} \\
 & + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i,MIV} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\
 & + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,MIV} \cdot \text{Region } j \\
 & + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,MIV} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\
 & + \beta_{Fahrtzeit\ MIV} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ MIV,i}} \\
 & + \beta_{Suchzeit} \cdot \text{Suchzeit} \\
 & + \beta_{Kosten} \cdot \text{Fahrtkosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ MIV}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\
 & + \beta_{Kosten} \cdot \text{Maut} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Maut}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\
 & + \beta_{Parkkosten} \cdot \text{Parkkosten} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\
 & + \beta_{Verspätungswahrscheinlichkeit} \cdot \text{Verspätungswahrscheinlichkeit} \\
 & + \beta_{Verspätung} \cdot \text{Verspätung} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Verspätung}}
 \end{aligned} \right) \\
 \\
 V_{ÖV} = & \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot \left(\begin{aligned}
 & \text{Konstante}_{ÖV} \\
 & + \beta_{Alter,ÖV} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,ÖV} \cdot \text{Alter}^2 \\
 & + \beta_{Mann,ÖV} \cdot \text{Mann} \\
 & + \beta_{Einkommen,ÖV} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,ÖV} \cdot \text{Einkommen}^2 \\
 & + \sum_{i=1}^5 \beta_{Fahrtzweck\ i,ÖV} \cdot \text{Fahrtzweck } i \\
 & + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,ÖV} \cdot \text{Region } j \\
 & + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,ÖV} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\
 & + \sum_{l=0}^3 \beta_{ÖV-Abonnement\ l,ÖV} \cdot \text{ÖV} - \text{Abonnement } l \\
 & + \beta_{Fahrtzeit\ ÖV} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ ÖV}} \\
 & + \beta_{Zu-und\ Abgangszeit,i} \cdot \text{Zu- und Abgangszeit} \\
 & + \beta_{Kosten} \cdot \text{Fahrtkosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ ÖV}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\
 & + \beta_{Umsteigen} \cdot \text{Umsteigen} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Umsteigen}} \\
 & + \beta_{Takt} \cdot \text{Takt} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Takt}} \\
 & + \beta_{Auslastung} \cdot \text{Auslastung}^2 \\
 & + \beta_{Verspätungswahrscheinlichkeit} \cdot \text{Verspätungswahrscheinlichkeit} \\
 & + \beta_{Verspätung} \cdot \text{Verspätung} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Verspätung}}
 \end{aligned} \right)
 \end{aligned}$$

- SP Routenwahl MIV:

$$V_{Route\ 1/2} = Skalenparameter_{SP\ 2} \cdot \left(\begin{array}{l} \beta_{Fahrtzeit\ MIV} \cdot Fahrtzeit \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ MIV,i}} \\ + \beta_{Kosten} \cdot Fahrtkosten \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ MIV}} \cdot \left(\frac{Einkommen}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\ + \beta_{Kosten} \cdot Maut \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Maut}} \cdot \left(\frac{Einkommen}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \end{array} \right)$$

- SP Routenwahl ÖV:

$$V_{Route\ 1/2} = Skalenparameter_{SP\ 3} \cdot \left(\begin{array}{l} \beta_{Fahrtzeit\ ÖV} \cdot Fahrtzeit \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ ÖV}} \\ + \beta_{Zu-und\ Abgangszeit} \cdot Zu-und\ Abgangszeit \\ + \beta_{Wartezeit} \cdot Wartezeit \\ + \beta_{Kosten} \cdot Fahrtkosten \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ ÖV}} \cdot \left(\frac{Einkommen}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\ + \beta_{Umsteigen} \cdot Umsteigen \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Umsteigen}} \\ + \beta_{Takt} \cdot Takt \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Takt}} \\ + \beta_{Auslastung} \cdot Auslastung^2 \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Hauptverkehrsmittel\ j} \cdot Hauptverkehrsmittel\ j \end{array} \right)$$

3.2.4 Fahrtzweckspezifisches Modell

Das fahrtzweckspezifische Modell dient der weiteren Ausdifferenzierung der Bewertung der Angebotskenngrößen und der daraus resultierenden Kenngrößen. Tests haben gezeigt, dass bei einer völligen Trennung der Stichproben nach Fahrtzweck zahlreiche soziodemographische und auch einige Angebotsparameter nicht mehr signifikant geschätzt werden können. Daher wurde auf einen hybriden Ansatz zurückgegriffen, welcher die Modellschätzung mit dem gemeinsamen Datensatz durchführt und dabei für diejenigen Variablen, bei welchen Tests dies als sinnvoll erwiesen haben, nach Fahrtzwecken differenzierte Parameter schätzt. Der Ansatz ähnelt jenem, welche in der Deutschen Zeitwertstudie (Axhausen *et al.*, 2014) zum Einsatz gekommen ist.

Dieses Modell führt zu sehr robusten und vor allem plausiblen Ergebnissen. Bei der Entscheidung, welche Parameter differenziert betrachtet werden sollen, wurde neben der statistischen Signifikanz der Unterschiede zwischen den Parametern und der allgemeinen Güte des Modells jeweils insbesondere auch die Plausibilität der Ergebnisse ausgewertet und letztendlich das Modell beibehalten, welches hinsichtlich beider Qualitätsmerkmale optimale Resultate hervorbringt.

Es konnten für den Kostenparameter und für folgende Angebotsvariablen fahrtzweckspezifische β -Parameter (lineare Nutzenbeiträge) geschätzt werden:

- zu Fuss: Gehzeit;
- Velo: Fahrtzeit;
- MIV: Fahrtzeit, Parkkosten;
- ÖV: Fahrtzeit, Zu- und Abgangszeit, Wartezeit, Umsteigen, Takt.

Die Schätzung fahrtzweckspezifischer λ -Parameter (Interaktionseffekte) hat sich nur bei den Fahrtzeiten im MIV und ÖV als sinnvoll (bezogen auf die statistische Signifikanz und die Plausibilität) erwiesen.

Zudem wurden für die Ausstattung mit Mobilitätswerkzeugen (PW-Verfügbarkeit und Besitz eines ÖV-Abonnements) fahrtzweckspezifische Parameter geschätzt.

- RP Verkehrsmittelwahl:

$$V_{Fuss,i} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{Fuss,i} \\ + \beta_{Alter,Fuss} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,Fuss} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann,Fuss} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen,Fuss} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,Fuss} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,Fuss} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,Fuss} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Gehzeit\ Fuss,i} \cdot \text{Gehzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Gehzeit\ Fuss}} \end{array} \right)$$

$$V_{Velo,i} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{Velo,i} \\ + \beta_{Alter,Velo} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,Velo} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann,Velo} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen,Velo} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,Velo} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,Velo} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,Velo} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Fahrtzeit\ Velo,i} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ Velo}} \end{array} \right)$$

$$V_{MIV,i} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Konstante}_{MIV,i} \\ + \beta_{Alter,MIV} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,MIV} \cdot \text{Alter}^2 \\ + \beta_{Mann,MIV} \cdot \text{Mann} \\ + \beta_{Einkommen,MIV} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,MIV} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ + \beta_{PW-Verfügbarkeit,MIV,i} \cdot \text{PW-Verfügbarkeit} \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,MIV} \cdot \text{Region } j \\ + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,MIV} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ + \beta_{Fahrtzeit,i} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ MIV,i}} \\ + \beta_{Suchzeit,MIV} \cdot \text{Suchzeit} \\ + \beta_{Kosten,i} \cdot \text{Fahrtkosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ MIV}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \end{array} \right)$$

$$V_{\text{ÖV},i} = \text{Skalenparameter}_{RP} \cdot \left(\begin{aligned} & \text{Konstante}_{\text{ÖV},i} \\ & + \beta_{\text{Alter},\text{ÖV}} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2,\text{ÖV}} \cdot \text{Alter}^2 \\ & + \beta_{\text{Mann},\text{ÖV}} \cdot \text{Mann} \\ & + \beta_{\text{Einkommen},\text{ÖV}} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2,\text{ÖV}} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ & + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j,\text{ÖV}} \cdot \text{Region } j \\ & + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k,\text{ÖV}} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ & + \sum_{l=0}^3 \beta_{\text{ÖV-Abonnement } l,\text{ÖV},i} \cdot \text{ÖV-Abonnement } l \\ & + \beta_{\text{Fahrzeit } \text{ÖV},i} \cdot \text{Fahrzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Fahrtzeit } \text{ÖV}}} \\ & + \beta_{\text{Zu- und Abgangszeit},i} \cdot \text{Zu- und Abgangszeit} \\ & + \beta_{\text{Wartezeit},i} \cdot \text{Wartezeit} \\ & + \beta_{\text{Kosten},i} \cdot \text{Fahrtkosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Fahrtkosten } \text{ÖV}}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{\text{Einkommen,Kosten}}} \\ & + \beta_{\text{Umsteigen},i} \cdot \text{Umsteigen} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Umsteigen}}} \\ & + \beta_{\text{Takt},i} \cdot \text{Takt} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Takt}}} \\ & + \beta_{\text{Auslastung}} \cdot \text{Auslastung}^2 \end{aligned} \right)$$

- SP Verkehrsmittelwahl:

$$V_{\text{Fuss},i} = \text{Skalenparameter}_{SP1} \cdot \left(\begin{aligned} & \text{Konstante}_{\text{Fuss},i} \\ & + \beta_{\text{Alter},\text{Fuss}} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2,\text{Fuss}} \cdot \text{Alter}^2 \\ & + \beta_{\text{Mann},\text{Fuss}} \cdot \text{Mann} \\ & + \beta_{\text{Einkommen},\text{Fuss}} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2,\text{Fuss}} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ & + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j,\text{Fuss}} \cdot \text{Region } j \\ & + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k,\text{Fuss}} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ & + \beta_{\text{Gehzeit } \text{Fuss},i} \cdot \text{Gehzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Gehzeit } \text{Fuss}}} \end{aligned} \right)$$

$$V_{\text{Velo},i} = \text{Skalenparameter}_{SP1} \cdot \left(\begin{aligned} & \text{Konstante}_{\text{Velo},i} \\ & + \beta_{\text{Alter},\text{Velo}} \cdot \text{Alter} + \beta_{\text{Alter}^2,\text{Velo}} \cdot \text{Alter}^2 \\ & + \beta_{\text{Mann},\text{Velo}} \cdot \text{Mann} \\ & + \beta_{\text{Einkommen},\text{Velo}} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{\text{Einkommen}^2,\text{Velo}} \cdot \text{Einkommen}^2 \\ & + \sum_{j=1}^3 \beta_{\text{Region } j,\text{Velo}} \cdot \text{Region } j \\ & + \sum_{k=1}^3 \beta_{\text{Gemeindetyp } k,\text{Velo}} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\ & + \beta_{\text{Fahrzeit } \text{Velo},i} \cdot \text{Fahrzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz,Fahrtzeit } \text{Velo}}} \end{aligned} \right)$$

$$\begin{aligned}
 V_{MIV,i} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot & \left(\begin{aligned}
 & \text{Konstante}_{MIV,i} \\
 & + \beta_{Alter,MIV} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,MIV} \cdot \text{Alter}^2 \\
 & + \beta_{Mann,MIV} \cdot \text{Mann} \\
 & + \beta_{Einkommen,MIV} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,MIV} \cdot \text{Einkommen}^2 \\
 & + \beta_{PW-Verfügbarkeit,MIV,i} \cdot PW - \text{Verfügbarkeit} \\
 & + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,MIV} \cdot \text{Region } j \\
 & + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,MIV} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\
 & + \beta_{Fahrtzeit\ MIV,i} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ MIV,i}} \\
 & + \beta_{Suchzeit} \cdot \text{Suchzeit} \\
 & + \beta_{Kosten,i} \cdot \text{Fahrtkosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ MIV}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\
 & + \beta_{Kosten,i} \cdot \text{Maut} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Maut}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\
 & + \beta_{Parkkosten,i} \cdot \text{Parkkosten} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\
 & + \beta_{Verspätungswahrscheinlichkeit} \cdot \text{Verspätungswahrscheinlichkeit} \\
 & + \beta_{Verspätung} \cdot \text{Verspätung} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Verspätung}}
 \end{aligned} \right) \\
 \\
 V_{ÖV,i} = \text{Skalenparameter}_{SP\ 1} \cdot & \left(\begin{aligned}
 & \text{Konstante}_{ÖV,i} \\
 & + \beta_{Alter,ÖV} \cdot \text{Alter} + \beta_{Alter^2,ÖV} \cdot \text{Alter}^2 \\
 & + \beta_{Mann,ÖV} \cdot \text{Mann} \\
 & + \beta_{Einkommen,ÖV} \cdot \text{Einkommen} + \beta_{Einkommen^2,ÖV} \cdot \text{Einkommen}^2 \\
 & + \sum_{j=1}^3 \beta_{Region\ j,ÖV} \cdot \text{Region } j \\
 & + \sum_{k=1}^3 \beta_{Gemeindetyp\ k,ÖV} \cdot \text{Gemeindetyp } k \\
 & + \sum_{l=0}^3 \beta_{ÖV-Abonnement\ l,ÖV,i} \cdot \text{ÖV} - \text{Abonnement } l \\
 & + \beta_{Fahrtzeit\ ÖV,i} \cdot \text{Fahrtzeit} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ ÖV}} \\
 & + \beta_{Zu-und\ Abgangszeit,i} \cdot \text{Zu- und Abgangszeit} \\
 & + \beta_{Kosten,i} \cdot \text{Fahrtkosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ ÖV}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\
 & + \beta_{Umsteigen,i} \cdot \text{Umsteigen} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Umsteigen}} \\
 & + \beta_{Takt,i} \cdot \text{Takt} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Takt}} \\
 & + \beta_{Auslastung} \cdot \text{Auslastung}^2 \\
 & + \beta_{Verspätungswahrscheinlichkeit} \cdot \text{Verspätungswahrscheinlichkeit} \\
 & + \beta_{Verspätung} \cdot \text{Verspätung} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Verspätung}}
 \end{aligned} \right)
 \end{aligned}$$

- SP Routenwahl MIV:

$$V_{Route\ 1/2,i} = Skalenparameter_{SP\ 2} \cdot \left(\begin{array}{l} \beta_{Fahrtzeit\ MIV,i} \cdot Fahrtzeit \cdot \left(\frac{Distanz}{20}\right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ MIV,i}} \\ + \beta_{Kosten,i} \cdot Fahrtkosten \cdot \left(\frac{Distanz}{20}\right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ MIV}} \cdot \left(\frac{Einkommen}{7'000}\right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\ + \beta_{Kosten,i} \cdot Maut \cdot \left(\frac{Distanz}{20}\right)^{\lambda_{Distanz,Maut}} \cdot \left(\frac{Einkommen}{7'000}\right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \end{array} \right)$$

- SP Routenwahl ÖV:

$$V_{Route\ 1/2,i} = Skalenparameter_{SP\ 3} \cdot \left(\begin{array}{l} \beta_{Fahrtzeit\ ÖV,i} \cdot Fahrtzeit \cdot \left(\frac{Distanz}{20}\right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit\ ÖV}} \\ + \beta_{Zu-und\ Abgangszeit,i} \cdot Zu-und\ Abgangszeit \\ + \beta_{Wartezeit,i} \cdot Wartezeit \\ + \beta_{Kosten,i} \cdot Fahrtkosten \cdot \left(\frac{Distanz}{20}\right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtkosten\ ÖV}} \cdot \left(\frac{Einkommen}{7'000}\right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \\ + \beta_{Umsteigen,i} \cdot Umsteigen \cdot \left(\frac{Distanz}{20}\right)^{\lambda_{Distanz,Umsteigen}} \\ + \beta_{Takt,i} \cdot Takt \cdot \left(\frac{Distanz}{20}\right)^{\lambda_{Distanz,Takt}} \\ + \beta_{Auslastung} \cdot Auslastung^2 \\ + \sum_{j=1}^3 \beta_{Hauptverkehrsmittel\ j} \cdot Hauptverkehrsmittel\ j \end{array} \right)$$

3.2.5 Regionale Differenzierung

Der letzte Schritt bei der Modellentwicklung ist die Differenzierung nach den in Abschnitt 2.1 beschriebenen regionalen Teilräumen sowie die Schätzung des separaten Modells für den Perimeter der GVM BE und SO. Hier wurde jeweils ein eigener Datensatz für die einzelnen Teilräume gebildet und auf diesen zunächst das voll ausformulierte Modell (siehe Abschnitt 3.2.4) angewandt. Die anschliessenden Auswertungen zeigten, dass vereinzelt noch einige Vereinfachungen notwendig waren, um plausible Ergebnisse zu erzielen. So musste die Fahrtzweckdifferenzierung der linearen Parameter für die Parkkosten, jene der Interaktionsparameter für die Fahrtzeiten im MIV und ÖV sowie jene der Mobilitätswerkzeug-Parameter entfernt werden.

3.3 Modellergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse für die verschiedenen Modellschätzungen gezeigt:

- in Abschnitt 0 für die Gesamtstichprobe:
 - Tabelle 11 zeigt die nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle:
 - (1) Modell mit linearen Nutzenfunktionen ohne Soziodemographie;
 - (2) Modell mit linearen Nutzenfunktionen mit Soziodemographie;
 - (3) Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen;
 - Tabelle 12 zeigt das fahrtzweckspezifische Modell;
- in Abschnitt 3.3.2 für die Analyseregionen:
 - Tabelle 13 zeigt die nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle für Analyseregion 1:
 - (1) Modell mit linearen Nutzenfunktionen ohne Soziodemographie;
 - (2) Modell mit linearen Nutzenfunktionen mit Soziodemographie;
 - (3) Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen;
 - Tabelle 14 zeigt das fahrtzweckspezifische Modell für Analyseregion 1;
 - Tabelle 15 zeigt die nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle für Analyseregion 2:
 - (1) Modell mit linearen Nutzenfunktionen ohne Soziodemographie;
 - (2) Modell mit linearen Nutzenfunktionen mit Soziodemographie;
 - (3) Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen;
 - Tabelle 16 zeigt das fahrtzweckspezifische Modell für Analyseregion 2;
 - Tabelle 17 zeigt die nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle für Analyseregion 3:
 - (1) Modell mit linearen Nutzenfunktionen ohne Soziodemographie;
 - (2) Modell mit linearen Nutzenfunktionen mit Soziodemographie;
 - (3) Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen;
 - Tabelle 18 zeigt das fahrtzweckspezifische Modell für Analyseregion 3;
 - Tabelle 19 zeigt die nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle für den Perimeter GVM BE & SO:
 - (1) Modell mit linearen Nutzenfunktionen ohne Soziodemographie;
 - (2) Modell mit linearen Nutzenfunktionen mit Soziodemographie;
 - (3) Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen;
 - Tabelle 20 zeigt das fahrtzweckspezifische Modell für den Perimeter GVM BE & SO.

In den Tabellen ist zu sehen, dass jeweils alle geschätzten Parameter für die Angebotsvariablen das erwartete Vorzeichen haben – ein negatives Vorzeichen bedeutet eine Abnahme des Nutzens der entsprechenden Alternative bei Zunahme des Attributs. Die Größenordnungen der Schätzwerte bewegen sich im Rahmen der angesichts der einschlägigen Literatur ge-

troffenen Erwartungen. Die allermeisten dieser Parameter sind zudem statistisch signifikant. Die Signifikanz ist durch den t-Test bestimmt: wenn der absolute Wert der Testgrösse (Schätzwert geteilt durch Standardfehler) grösser ist als 1.96, ist der Parameter auf dem 95%-Niveau statistisch signifikant; dies lässt sich interpretieren als eine Wahrscheinlichkeit von weniger als 5%, dass der Parameterwert null sein könnte. In den jeweiligen Tabellen sind Parameter, welche nicht auf dem 95%-Niveau statistisch signifikant sind, mit (*) markiert. Die Modellgüten (*adjusted ρ^2*) sind mit Werten zwischen 0.3 und 0.4 vergleichbar zu früheren Studien. Die *Likelihood Ratio Tests* der komplexeren gegenüber den einfacheren Modellen sind durchgehend signifikant, wie die Vergleiche der entsprechenden Werte mit den tabellierten χ^2 -Verteilungen in NIST (2013) zeigen. Die Modellerweiterungen führen also jeweils zu merklichen Verbesserungen der Modellgüte.

Die Distanz-Interaktionsparameter der nicht-linearen Modelle sind allesamt negativ, d.h. die Sensitivität auf die entsprechenden Attribute sinkt mit zunehmender Weglänge. Ebenfalls negativ sind die Interaktionsparameter zwischen dem Einkommen und allen Kostenvariablen, was auf die sinkende Kostensensitivität bei steigendem Einkommen bestätigt.

Bei den soziodemographischen Eigenschaften sind folgende Trends ersichtlich:

- Alter (siehe auch Abbildung 9): je älter eine befragte Person ist, desto geringer ist deren Wahrscheinlichkeit, den Langsamverkehr (und insbesondere das Velo) zu wählen (der Langsamverkehr hat bei ca. 40-jährigen den höchsten impliziten Nutzen), während die ÖV-Alternative an Nutzen gewinnt;
- Geschlecht: Männer haben tendenziell eine höhere Wahrscheinlichkeit, das Velo oder den MIV zu wählen;
- Einkommen (siehe auch Abbildung 10): mit höherem Einkommen sinkt die Wahrscheinlichkeit, einen Weg zu Fuss oder mit dem ÖV zurückzulegen;
- Analyseregion: in Region 1 (ZH, BE, ZG, BS, BL, SH, GE) sind die Konstanten für den Langsamverkehr und den ÖV erwartungsgemäss etwas höher als in den übrigen Regionen;
- Gemeindetyp: ebenfalls erwartungsgemäss ist in suburbanen und ländlichen Gemeinden der MIV beliebter als im urbanen Raum;
- Fahrtzweck: bei Arbeits- und Ausbildungsfahrten ist die Wahrscheinlichkeit, dass der MIV gewählt wird, tendenziell eher tiefer, bei Nutzfahrten und Einkaufswegen eher hoch;
- Verfügbarkeit eines PW: Personen, welche einen PW zur Verfügung haben, haben erwartungsgemäss eine höhere Wahrscheinlichkeit, den MIV zu wählen;
- Besitz eines ÖV-Abonnements: Besitzer eines Halbtaxabonnements, und in noch stärkerem Masse Besitzer eines Verbund- oder Generalabonnements, haben eine höhere Auswahlwahrscheinlichkeit für den ÖV als Personen, welche kein ÖV-Abonnement besitzen.

Abbildung 9 Nutzenbeiträge des Alters

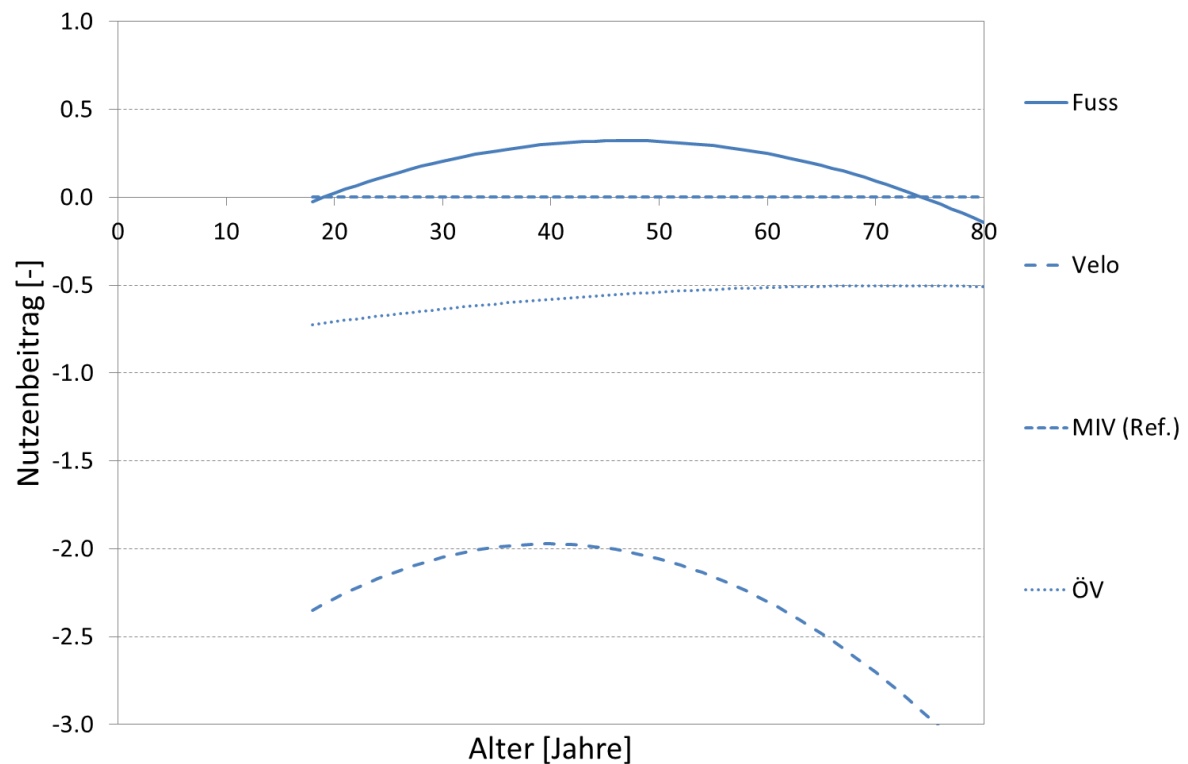
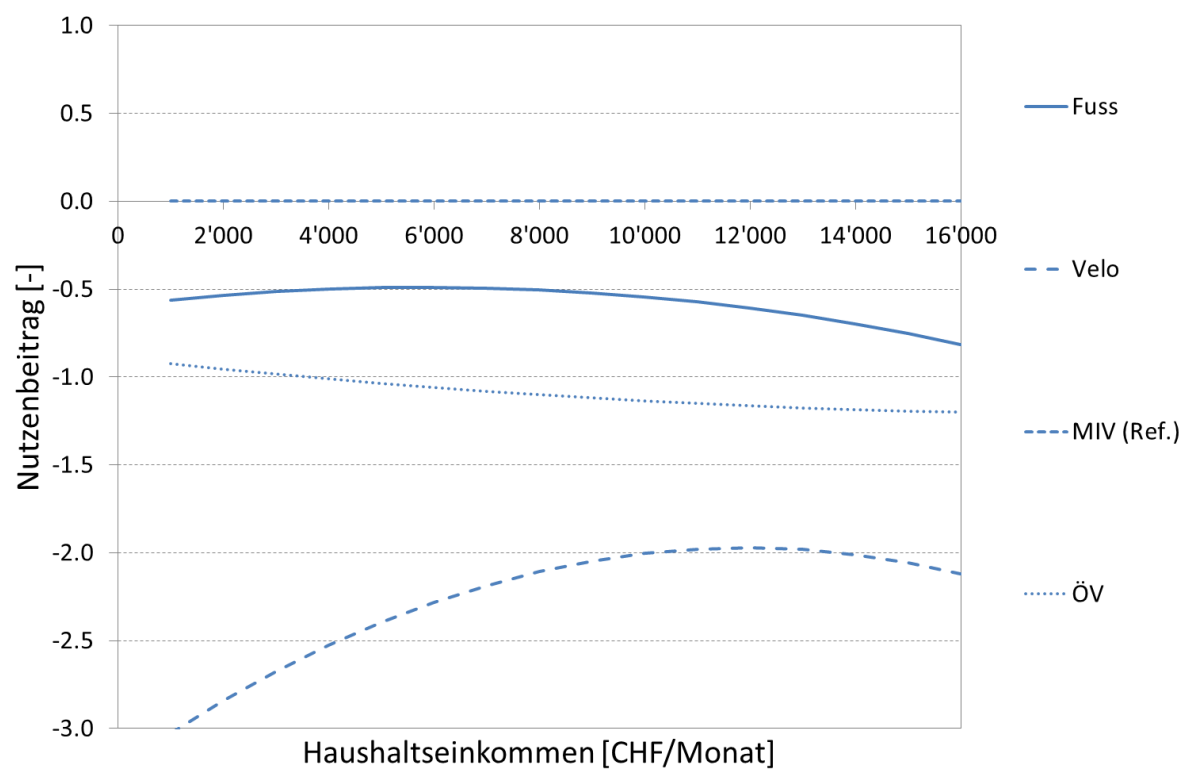


Abbildung 10 Nutzenbeiträge des Einkommens



Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Werte der Parameter losgelöst von Vergleichswerten nur schwierig interpretierbar sind und lediglich Anhaltspunkte über die tendenziellen Nutzenbeiträge der einzelnen Variablen liefern. Der Nutzen ist eine einheitslose und abstrakte Grösse mit arbiträrer Skalierung, welche in sich nur wenige Schlüsse über die Plausibilität der Ergebnisse zulässt. So müssten die oben gezeigten Abbildungen in den jeweiligen Wegekontext (Werte der Angebotsvariablen) eingebettet werden, um den tatsächlichen Einfluss der soziodemographischen Variablen auf das Wahrverhalten abschätzen zu können.

Weitergehende Interpretationen der Modellqualität und -ergebnisse ermöglichen erst die detaillierten Auswertungen und die Berechnungen der Kenngrössen (Zahlungsbereitschaften und Elastizitäten) sowie die Evaluation der Modellqualität im Gesamtkontext, welche in den nachfolgenden Abschnitten aufgezeigt werden.

Bei den fahrtzweckspezifischen Modellen wurden für die relevanten Parameter (insbesondere Zeiten und Kosten) Tests der Signifikanz der Unterschiede in den Bewertungen (mittels der Berechnung entsprechenden t-Werte) durchgeführt. Die in der hier gezeigten Ergebnistabelle enthaltenen Differenzierungen sind allesamt auf dem 95%-Niveau signifikant.

Bei den Skaleneffekten konnten die aus der Theorie hergeleiteten Erwartungen (siehe Abschnitt 2.2.6) bestätigt werden: die Fehlerterme sind bei den SP-Routenwahlexperimenten am geringsten, was zu höheren Werten der Skalenparameter führt. Bei den RP-Beobachtungen sind die Skalenparameter am tiefsten, da dort die Anteile nicht beobachteter Einflüsse am Entscheidungsverhalten (und somit die Varianz der Fehlerterme) am höchsten sind.

3.3.1 Modelle für den Gesamtdatensatz

Tabelle 11 Ergebnisse der nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle

Verkehrsmittel	Parameter	Wert		
		(1)	(2)	(3)
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.164	-0.107	-0.172
	Verspätungsw'keit [%]	-0.921	-1.110	-0.580
	Verspätung [min]	-0.033(*)	-0.062	-0.090
	Interaktionen:			
	Verspätung/Distanz	-	-	-0.406
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-	-	-0.208
	Konstante	0.791	0.879	0.001(*)
	Gehzeit [min]	-0.085	-0.079	-0.048
	Interaktionen:			
	Gehzeit/Distanz	-	-	-0.360
	Geschlecht: Mann	-	-0.052(*)	-0.059(*)
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.430	0.411
	quadriert	-	-0.044	-0.044
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-0.015(*)	0.030(*)
	quadriert	-	-0.002(*)	-0.003(*)
	Zweck: Arbeit	-	-0.112	-0.085
	Ausbildung	-	0.677	0.573
	Einkauf	-	-0.284	-0.327
	Nutzfahrt	-	-1.120	-1.210
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Analyseregion: 1	-	0.352	0.333
	2 (Ref.)	-	-	-
	3	-	-0.246	-0.238
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.190	-0.157
	ländlich	-	-0.044(*)	-0.017(*)
Velo	Konstante	-0.464	-1.510	-2.750
	Fahrtzeit [min]	-0.077	-0.071	-0.052
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.367
	Geschlecht: Mann	-	0.411	0.399
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.590	0.623
	quadriert	-	-0.073	-0.078
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	0.121	0.192
	quadriert	-	-0.006	-0.008
	Zweck: Arbeit	-	0.392	0.383
	Ausbildung	-	0.979	0.869
	Einkauf	-	-0.753	-0.806
	Nutzfahrt	-	-0.684	-0.726
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Analyseregion: 1	-	0.593	0.601
	2 (Ref.)	-	-	-
	3	-	0.609	0.618
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.344	-0.263
	ländlich	-	-0.320	-0.205
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-0.057	-0.040	-0.047
	Suchzeit [min]	-0.047	-0.064	-0.070
	Parkkosten [CHF]	-0.135	-0.158	-0.160
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.305
	Treibstoffkosten/Distanz	-	-	-0.686
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-	-	-0.524
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-

	immer	-	0.853	0.832
Geschlecht: Mann		-	-	-
Frau (Ref.)		-	-	-
Alter [Jahre]: linear		-	-	-
quadriert		-	-	-
Einkommen [CHF/Monat]: linear		-	-	-
quadriert		-	-	-
Zweck: Arbeit		-	-	-
Ausbildung		-	-	-
Einkauf		-	-	-
Nutzfahrt		-	-	-
Freizeit (Ref.)		-	-	-
Analyseregion: 1		-	-	-
2 (Ref.)		-	-	-
3		-	-	-
Gemeindetyp: urban (Ref.)		-	-	-
suburban		-	-	-
ländlich		-	-	-
ÖV	Konstante	-0.522	-1.080	-0.761
	Fahrtzeit [min]	-0.038	-0.028	-0.035
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.050	-0.037	-0.039
	Wartezeit [min]	-0.030	-0.025	-0.020
	Umsteigen [Anzahl]	-0.227	-0.186	-0.215
	Takt [min]	-0.014	-0.009	-0.009
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.362
	Umsteigen/Distanz	-	-	-0.285
	Takt/Distanz	-	-	-0.583
	Billettkosten/Distanz	-	-	-0.480
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.032	-0.030	-0.038
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-
	Tram	-0.279	-0.193	-0.200
	Bus/PostAuto	-0.261	-0.186	-0.212
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-
	Halbtax	-	0.494	0.315
	Verbundabo	-	1.580	1.480
	GA	-	1.790	1.610
	Geschlecht: Mann	-	-0.052(*)	-0.059(*)
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.111(*)	0.132
	quadriert	-	-0.007(*)	-0.010(*)
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-0.027(*)	-0.034(*)
	quadriert	-	0.000(*)	0.001(*)
	Zweck: Arbeit	-	0.321	0.315
	Ausbildung	-	0.891	0.896
	Einkauf	-	-0.354	-0.403
	Nutzfahrt	-	-0.357	-0.307
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Analyseregion: 1	-	0.378	0.390
	2 (Ref.)	-	-	-
	3	-	0.060(*)	0.083
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.191	-0.208
	ländlich	-	-0.242	-0.247
Skalenparameter	RP	0.822	0.956	1.010
	SP 1 (Ref.)	1.000	1.000	1.000
	SP 2	2.280	3.250	3.510
	SP 3	2.090	2.900	2.490
	Stichprobengrösse	67'365	67'365	67'365
	Anzahl geschätzter Parameter	22	65	76
	Log-Likelihood	-40'533	-37'780	-36'008
	Likelihood Ratio Test	-	ggü. (1): 5'506	ggü. (2): 3'544
	Adjusted ρ^2	0.296	0.343	0.373

Tabelle 12 Ergebnisse des fahrtzweckspezifischen Modells

Verkehrsmittel	Parameter	Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausb.	Einkauf	Nutzf.	Freizeit
gemeinsam	Kosten [CHF]		-0.207	-0.209	-0.181	-0.128	-0.166
	Verspätungsw'keit [%]	-0.625					
	Verspätung [min]	-0.080					
	Interaktionen:						
	Verspätung/Distanz	-0.350					
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-0.196					
	Konstante		1.040	2.280	-0.287	2.230	-0.595(*)
	Gehzeit [min]		-0.083	-0.093	-0.052	-0.135	-0.040
	Interaktionen:						
	Gehzeit/Distanz	-0.297					
	Geschlecht: Mann	-0.061(*)					
	Frau (Ref.)						
	Alter [Jahre]: linear	0.393					
	quadriert	-0.042					
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.036(*)					
	quadriert	-0.003(*)					
	Analyseregion: 1	0.176					
	2 (Ref.)						
	3	-0.253					
	Gemeindetyp: urban (Ref.)						
Velo	suburban	-0.173					
	ländlich	-0.061(*)					
	Konstante		-3.140	-2.220	-3.450	-2.150	-3.230
	Fahrtzeit [min]		-0.052	-0.064	-0.074	-0.112	-0.047
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.321					
	Geschlecht: Mann	0.403					
	Frau (Ref.)						
	Alter [Jahre]: linear	0.633					
	quadriert	-0.080					
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.211					
	quadriert	-0.009					
	Analyseregion: 1	0.950					
	2 (Ref.)						
	3	0.886					
	Gemeindetyp: urban (Ref.)						
MIV (Ref.)	suburban	-0.220					
	ländlich	-0.035(*)					
	Konstante		-0.063	-0.063	-0.048	-0.053	-0.042
	Fahrtzeit [min]						
	Suchzeit [min]	-0.066					
	Parkkosten [CHF]		-0.150	-0.173	-0.203	-0.151	-0.152
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz		-0.280	-0.181	-0.213	-0.242	-0.322
	Treibstoffkosten/Distanz	-0.672					
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-0.520					
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)						
	immer	0.826					
	Geschlecht: Mann						
	Frau (Ref.)						
	Alter [Jahre]: linear						
	quadriert						
	Einkommen [CHF/Monat]: linear						
	quadriert						
	Analyseregion: 1						
	2 (Ref.)						
	3						
	Gemeindetyp: urban (Ref.)						
	suburban						
	ländlich						

ÖV	Konstante	-0.305(*)	0.373(*)	-0.740	-0.731	-0.895
	Fahrtzeit [min]	-0.041	-0.045	-0.038	-0.047	-0.032
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.057	-0.055	-0.059	-0.043	-0.024
	Wartezeit [min]	-0.017	-0.037	-0.029	-0.035	-0.018
	Umsteigen [Anzahl]	-0.223	-0.310	-0.348	-0.249	-0.213
	Takt [min]	-0.011	-0.008	-0.009	-0.016	-0.008
	Interaktionen:					
	Fahrtzeit/Distanz	-0.341	-0.243	-0.350	-0.341	-0.385
	Umsteigen/Distanz	-0.213				
	Takt/Distanz	-0.575				
	Billettkosten/Distanz	-0.480				
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.036				
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)					
	Tram	-0.268				
	Bus/PostAuto	-0.251				
	Abonnement: keines (Ref.)					
	Halbtax	0.291				
	Verbundabo	1.480				
	GA	1.540				
	Geschlecht: Mann	-0.066(*)				
	Frau (Ref.)					
	Alter [Jahre]: linear	0.109(*)				
	quadriert	-0.008(*)				
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.032(*)				
	quadriert	0.001(*)				
	Analyseregion: 1	0.374				
	2 (Ref.)					
	3	0.087				
	Gemeindetyp: urban (Ref.)					
	suburban	-0.209				
	ländlich	-0.273				
Skalenparameter	RP	1.000				
	SP 1 (Ref.)	1.000				
	SP 2	3.460				
	SP 3	2.090				
Stichprobengrösse		67'365				
Anzahl geschätzter Parameter		124				
Log-Likelihood		-35'762				
Likelihood Ratio Test (ggü. (3))		346				
Adjusted ρ^2		0.377				

3.3.2 Modelle für die Analyseregionen und den Perimeter GVM BE & SO

Analyseregion 1

Tabelle 13 Ergebnisse der nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle (Analyseregion 1)

Verkehrsmittel	Parameter	Wert		
		(1)	(2)	(3)
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.134	-0.0771	-0.136
	Verspätungsw'keit [%]	-0.071	-0.926	-0.582
	Verspätung [min]	-0.007(*)	-0.044	-0.053
	Interaktionen:			
	Verspätung/Distanz	-	-	-0.339
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-	-	-0.268
	Konstante	1.300	1.360	0.831
	Gehzeit [min]	-0.087	-0.080	-0.051
	Interaktionen:			
	Gehzeit/Distanz	-	-	-0.371
	Geschlecht: Mann	-	0.047(*)	0.061
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.472	0.444
	quadriert	-	-0.049	-0.050
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	0.006(*)	0.066
	quadriert	-	-0.003(*)	-0.004
	Zweck: Arbeit	-	0.053(*)	0.061
	Ausbildung	-	0.908	0.733
	Einkauf	-	-0.557	-0.654
	Nutzfahrt	-	-0.529	-0.699
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.355	-0.382
	ländlich	-	-0.631	-0.712
Velo	Konstante	0.058(*)	-0.413(*)	-1.570
	Fahrtzeit [min]	-0.071	-0.062	-0.048
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.368
	Geschlecht: Mann	-	0.265	0.277
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.538	0.570
	quadriert	-	-0.075	-0.080
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	0.167	0.259
	quadriert	-	-0.009	-0.012
	Zweck: Arbeit	-	0.482	0.468
	Ausbildung	-	1.050	0.937
	Einkauf	-	-0.654	-0.708
	Nutzfahrt	-	0.007(*)	-0.083
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.511	-0.488
	ländlich	-	-0.414	-0.340
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-0.046	-0.029	-0.037
	Suchzeit [min]	-0.027	-0.058	-0.056
	Parkkosten [CHF]	-0.125	-0.140	-0.150
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.339
	Treibstoffkosten/Distanz	-	-	-0.763
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-	-	-0.513
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-
	immer	-	0.960	0.929
	Geschlecht: Mann	-	-	-

	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Zweck: Arbeit	-	-	-
	Ausbildung	-	-	-
	Einkauf	-	-	-
	Nutzfahrt	-	-	-
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-	-
	ländlich	-	-	-
ÖV	Konstante	-0.111	-0.232(*)	-0.311
	Fahrtzeit [min]	-0.034	-0.023	-0.027
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.041	-0.027	-0.027
	Wartezeit [min]	-0.031	-0.024	-0.021
	Umsteigen [Anzahl]	-0.240	-0.171	-0.198
	Takt [min]	-0.013	-0.008	-0.008
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.293
	Umsteigen/Distanz	-	-	-0.267
	Takt/Distanz	-	-	-0.562
	Billettkosten/Distanz	-	-	-0.457
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.028	-0.024	-0.031
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-
	Tram	-0.162	-0.063(*)	-0.049
	Bus/PostAuto	-0.102	-0.106	-0.125
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-
	Halbtax	-	0.459	0.333
	Verbundabo	-	1.670	1.600
	GA	-	2.030	1.940
	Geschlecht: Mann	-	0.047(*)	0.061
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.064(*)	0.108
	quadriert	-	-0.003(*)	-0.008
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-0.087	-0.070
	quadriert	-	0.003(*)	0.002
	Zweck: Arbeit	-	0.420	0.396
	Ausbildung	-	0.786	0.756
	Einkauf	-	-0.530	-0.566
	Nutzfahrt	-	-0.153(*)	-0.109
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.382	-0.366
	ländlich	-	-0.851	-0.834
Skalenparameter	RP	0.801	0.998	1.030
	SP 1 (Ref.)	1.000	1.000	1.000
	SP 2	2.530	4.070	4.340
	SP 3	2.670	3.950	3.200
Stichprobengrösse		23'066	23'066	23'066
Anzahl geschätzter Parameter		22	59	70
Log-Likelihood		-15'493	-14'140	-13'471
Likelihood Ratio Test			ggü. (1): 2'706	ggü. (2): 1'338
Adjusted ρ^2		0.228	0.294	0.326

Tabelle 14 Ergebnisse des fahrtzweckspezifischen Modells (Analyseregion 1)

Verkehrsmittel	Parameter	Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausb.	Einkauf	Nutzf.	Freizeit
gemeinsam	Kosten [CHF]	-	-0.177	-0.158	-0.154	-0.086	-0.137
	Verspätungsw'keit [%]	-0.637	-	-	-	-	-
	Verspätung [min]	-0.044	-	-	-	-	-
	Interaktionen:						
	Verspätung/Distanz	-0.294	-	-	-	-	-
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-0.234	-	-	-	-	-
	Konstante	-	1.470	3.440	0.212(*)	2.510	-0.696(*)
	Gehzeit [min]	-	-0.105	-0.132	-0.081	-0.162	-0.038
	Interaktionen:						
	Gehzeit/Distanz	-0.175	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.059(*)	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.507	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.057	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.061(*)	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.004(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.456	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.639	-	-	-	-	-
Velo	Konstante	-	-2.120	-1.020(*)	-2.050	-0.743(*)	-1.840
	Fahrtzeit [min]	-	-0.042	-0.048	-0.077	-0.094	-0.048
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.268	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.293	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.636	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.088	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.274	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.013	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.514	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.295(*)	-	-	-	-	-
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-	-0.057	-0.044	-0.043	-0.051	-0.032
	Suchzeit [min]	-0.055	-	-	-	-	-
	Parkkosten [CHF]	-0.153	-	-	-	-	-
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.294	-	-	-	-	-
	Treibstoffkosten/Distanz	-0.756	-	-	-	-	-
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-0.502	-	-	-	-	-
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	immer	0.958	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-	-	-	-	-	-
	ländlich	-	-	-	-	-	-
ÖV	Konstante	-	0.199(*)	1.020	-0.325(*)	-0.139(*)	-0.429(*)
	Fahrtzeit [min]	-	-0.034	-0.042	-0.036	-0.035	-0.025
	Zu- und Abgangszeit [min]	-	-0.051	-0.038	-0.056	-0.038	-0.012
	Wartezeit [min]	-	-0.035	-0.010(*)	-0.048	-0.067(*)	-0.018
	Umsteigen [Anzahl]	-	-0.216	-0.302	-0.266	-0.472	-0.226
	Takt [min]	-	-0.011	-0.016	-0.013	-0.009(*)	-0.006
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.298	-	-	-	-	-
	Umsteigen/Distanz	-0.170	-	-	-	-	-

	Takt/Distanz	-0.508	-	-	-	-	-
	Billettkosten/Distanz	-0.460	-	-	-	-	-
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.034	-	-	-	-	-
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Tram	-0.105(*)	-	-	-	-	-
	Bus/PostAuto	-0.173	-	-	-	-	-
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Halbtax	0.310	-	-	-	-	-
	Verbundabo	1.590	-	-	-	-	-
	GA	1.920	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.050(*)	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.108(*)	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.009(*)	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.063	-	-	-	-	-
	quadriert	0.002(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.383	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.846	-	-	-	-	-
Skalenparameter	RP	0.978					
	SP 1 (Ref.)	1.000					
	SP 2	4.090					
	SP 3	2.550					
	Stichprobengrösse	23'066					
	Anzahl geschätzter Parameter	106					
	Log-Likelihood	-13'336					
	Likelihood Ratio Test (ggü. (3))	270					
	Adjusted ρ^2	0.331					

Analyseregion 2**Tabelle 15 Ergebnisse der nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle (Analyseregion 2)**

Verkehrsmittel	Parameter	Wert		
		(1)	(2)	(3)
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.203	-0.146	-0.197
	Verspätungsw'keit [%]	-1.400	-1.310	-0.605
	Verspätung [min]	-0.078(*)	-0.087	-0.153
	Interaktionen:			
	Verspätung/Distanz	-	-	-0.311
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-	-	-0.176
	Konstante	0.368(*)	0.058(*)	-1.400
	Gehzeit [min]	-0.079	-0.080	-0.049
	Interaktionen:			
	Gehzeit/Distanz	-	-	-0.312
	Geschlecht: Mann	-	-0.119(*)	-0.085(*)
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.676	0.745
	quadriert	-	-0.071	-0.080
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	0.049(*)	0.113(*)
	quadriert	-	-0.003(*)	-0.005(*)
	Zweck: Arbeit	-	-0.258	-0.242(*)
	Ausbildung	-	1.120	1.010
	Einkauf	-	-0.338	-0.404
	Nutzfahrt	-	-2.580	-2.560
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.218(*)	-0.186(*)
	ländlich	-	0.135(*)	0.239(*)
Velo	Konstante	-1.430	-3.340	-4.640
	Fahrtzeit [min]	-0.073	-0.075	-0.053
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.403
	Geschlecht: Mann	-	0.655	0.612
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.867	0.958
	quadriert	-	-0.103	-0.113
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	0.218	0.281
	quadriert	-	-0.008	-0.009
	Zweck: Arbeit	-	0.298	0.292
	Ausbildung	-	0.568(*)	0.626(*)
	Einkauf	-	-0.918	-1.050
	Nutzfahrt	-	-0.309(*)	-0.282(*)
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.092(*)	-0.001(*)
	ländlich	-	-0.376	-0.236(*)
MIV (Ref.)	Konstante			
	Fahrtzeit [min]	-0.065	-0.049	-0.051
	Suchzeit [min]	-0.069	-0.073	-0.081
	Parkkosten [CHF]	-0.129	-0.154	-0.151
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.311
	Treibstoffkosten/Distanz	-	-	-0.669
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-	-	-0.568
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-
	immer	-	0.835	0.824
	Geschlecht: Mann	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Zweck: Arbeit	-	-	-

	Ausbildung	-	-	-
	Einkauf	-	-	-
	Nutzfahrt	-	-	-
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-	-
	ländlich	-	-	-
ÖV	Konstante	-0.817	-1.590	-1.260
	Fahrtzeit [min]	-0.039	-0.031	-0.036
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.054	-0.045	-0.043
	Wartezeit [min]	-0.037	-0.033	-0.026
	Umsteigen [Anzahl]	-0.259	-0.227	-0.228
	Takt [min]	-0.011	-0.009	-0.008
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.387
	Umsteigen/Distanz	-	-	-0.385
	Takt/Distanz	-	-	-0.785
	Billettkosten/Distanz	-	-	-0.444
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.033	-0.035	-0.041
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-
	Tram	-0.558	-0.432	-0.460
	Bus/PostAuto	-0.333	-0.261	-0.277
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-
	Halbtax	-	0.398	0.280
	Verbundabo	-	1.660	1.500
	GA	-	1.370	1.210
	Geschlecht: Mann	-	-0.119(*)	-0.085(*)
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.218	0.244
	quadriert	-	-0.019(*)	-0.022(*)
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	0.054(*)	0.037(*)
	quadriert	-	-0.003(*)	-0.002(*)
	Zweck: Arbeit	-	0.237	0.257
	Ausbildung	-	0.895	0.919
	Einkauf	-	-0.316	-0.418
	Nutzfahrt	-	-0.152(*)	-0.165(*)
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.182	-0.213
	ländlich	-	-0.099(*)	-0.121(*)
Skalenparameter	RP	0.888	0.933	0.987
	SP 1 (Ref.)	1.000	1.000	1.000
	SP 2	2.090	2.770	3.270
	SP 3	1.850	2.370	2.350
	Stichprobengrösse	22'668	22'668	22'668
	Anzahl geschätzter Parameter	22	59	70
	Log-Likelihood	-12'593	-11'892	-11'323
	Likelihood Ratio Test		ggü. (1): 1'402	ggü. (2): 1'138
	Adjusted ρ^2	0.346	0.381	0.410

Tabelle 16 Ergebnisse des fahrtzweckspezifischen Modells (Analyseregion 2)

Verkehrsmittel	Parameter	Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausb.	Einkauf	Nutzf.	Freizeit
gemeinsam	Kosten [CHF]	-	-0.230	-0.411	-0.186	-0.203	-0.190
	Verspätungsw'keit [%]	-0.594	-	-	-	-	-
	Verspätung [min]	-0.150	-	-	-	-	-
	Interaktionen:						
	Verspätung/Distanz	-0.306	-	-	-	-	-
	Kosten/Einkommen	-0.167	-	-	-	-	-
zu Fuss	Konstante	-	1.210(*)	-2.520	-2.240	-3.370(*)	-1.890
	Gehzeit [min]	-	-0.123	-0.053	-0.041	-0.072(*)	-0.042
	Interaktionen:						
	Gehzeit/Distanz	-0.281	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-0.439	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.687	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.074	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.139	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.006(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.098(*)	-	-	-	-	-
	ländlich	0.382	-	-	-	-	-
Velo	Konstante	-	-3.970	-5.000	-5.900	-1.770(*)	-4.980
	Fahrtzeit [min]	-	-0.073	-0.083	-0.044	-0.162	-0.042
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.435	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.655	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.992	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.115	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.280	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.009	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	0.044(*)	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.146(*)	-	-	-	-	-
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-	-0.066	-0.120	-0.046	-0.078	-0.045
	Suchzeit [min]	-0.080	-	-	-	-	-
	Parkkosten [CHF]	-	-0.127	-0.215	-0.184	-0.201	-0.164
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.306	-	-	-	-	-
	Treibstoffkosten/Distanz	-0.668	-	-	-	-	-
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-0.572	-	-	-	-	-
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	immer	0.855	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-	-	-	-	-	-
	ländlich	-	-	-	-	-	-
ÖV	Konstante	-	-0.988	-0.685(*)	-1.160	-0.850(*)	-1.370
	Fahrtzeit [min]	-	-0.041	-0.066	-0.032	-0.089	-0.035
	Zu- und Abgangszeit [min]	-	-0.058	-0.076	-0.064	-0.039	-0.029
	Wartezeit [min]	-	-0.031	-0.069	-0.036	-0.185	-0.017
	Umsteigen [Anzahl]	-	-0.229	-0.337	-0.455	-0.091	-0.215
	Takt [min]	-	-0.004(*)	-0.004(*)	-0.010	-0.019	-0.006
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.413	-	-	-	-	-
	Umsteigen/Distanz	-0.273	-	-	-	-	-

	Takt/Distanz	-0.893	-	-	-	-	-
	Billettkosten/Distanz	-0.449	-	-	-	-	-
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.039	-	-	-	-	-
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Tram	-0.593	-	-	-	-	-
	Bus/PostAuto	-0.330	-	-	-	-	-
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Halbtax	0.273	-	-	-	-	-
	Verbundabo	1.490	-	-	-	-	-
	GA	1.160	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-0.074	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.255	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.024	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.024(*)	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.001(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.193	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.128(*)	-	-	-	-	-
Skalenparameter	RP	0.971					
	SP 1 (Ref.)	1.000					
	SP 2	3.220					
	SP 3	1.930					
	Stichprobengrösse	22'668					
	Anzahl geschätzter Parameter	110					
	Log-Likelihood	-11'197					
	Likelihood Ratio Test (ggü. (3))	252					
	Adjusted ρ^2	0.414					

Analyseregion 3**Tabelle 17 Ergebnisse der nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle (Analyseregion 3)**

Verkehrsmittel	Parameter	Wert		
		(1)	(2)	(3)
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.165	-0.122	-0.203
	Verspätungsw'keit [%]	-1.060	-1.420	-1.010
	Verspätung [min]	-0.036(*)	-0.071	-0.098
	Interaktionen:			
	Verspätung/Distanz	-	-	-0.295
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-	-	-0.188
	Konstante	0.538	2.270	1.440
	Gehzeit [min]	-0.090	-0.085	-0.051
	Interaktionen:			
	Gehzeit/Distanz	-	-	-0.384
	Geschlecht: Mann	-	-0.127	-0.204
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-0.087(*)	-0.109(*)
	quadriert	-	0.013(*)	0.016(*)
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-0.192	-0.187
	quadriert	-	0.003(*)	0.004(*)
	Zweck: Arbeit	-	-0.289(*)	-0.262(*)
	Ausbildung	-	-1.300(*)	-1.050(*)
	Einkauf	-	-0.054(*)	-0.030(*)
	Nutzfahrt	-	-0.394(*)	-0.475(*)
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.041(*)	0.049(*)
	ländlich	-	-0.244(*)	-0.286(*)
Velo	Konstante	-0.167(*)	-0.455(*)	-1.710
	Fahrtzeit [min]	-0.087	-0.086	-0.064
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.329
	Geschlecht: Mann	-	0.522	0.521
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.523	0.505
	quadriert	-	-0.061	-0.060
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	0.003(*)	0.058(*)
	quadriert	-	-0.001(*)	-0.002(*)
	Zweck: Arbeit	-	0.345	0.350
	Ausbildung	-	0.874	0.671
	Einkauf	-	-0.999	-1.030
	Nutzfahrt	-	-10.000	-10.000
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.165(*)	0.016(*)
	ländlich	-	0.294	0.441
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-0.063	-0.050	-0.058
	Suchzeit [min]	-0.043	-0.059	-0.067
	Parkkosten [CHF]	-0.178	-0.200	-0.202
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.295
	Treibstoffkosten/Distanz	-	-	-0.635
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-	-	-0.526
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-
	immer	-	0.665	0.665
	Geschlecht: Mann	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Zweck: Arbeit	-	-	-

	Ausbildung	-	-	-
	Einkauf	-	-	-
	Nutzfahrt	-	-	-
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-	-
	ländlich	-	-	-
ÖV	Konstante	-0.815	-1.160	-0.277(*)
	Fahrtzeit [min]	-0.039	-0.032	-0.052
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.059	-0.050	-0.056
	Wartezeit [min]	-0.019	-0.017	-0.013
	Umsteigen [Anzahl]	-0.153	-0.137	-0.194
	Takt [min]	-0.014	-0.012	-0.013
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.480
	Umsteigen/Distanz	-	-	-0.271
	Takt/Distanz	-	-	-0.518
	Billettkosten/Distanz	-	-	-0.530
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.039	-0.038	-0.045
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-
	Tram	-0.512	-0.396	-0.375
	Bus/PostAuto	-0.427	-0.341	-0.379
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-
	Halbtax	-	0.645	0.403
	Verbundabo	-	1.360	1.260
	GA	-	1.880	1.650
	Geschlecht: Mann	-	-0.127	-0.204
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-0.134(*)	-0.145(*)
	quadriert	-	0.017(*)	0.020(*)
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	0.030(*)	0.021(*)
	quadriert	-	-0.002(*)	-0.002(*)
	Zweck: Arbeit	-	0.316	0.342
	Ausbildung	-	1.100	1.200
	Einkauf	-	-0.179	-0.217
	Nutzfahrt	-	-0.853	-0.753
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	0.177	0.137(*)
	ländlich	-	0.097(*)	0.069(*)
Skalenparameter	RP	0.784	0.847	0.909
	SP 1 (Ref.)	1.000	1.000	1.000
	SP 2	2.180	2.740	2.940
	SP 3	1.680	2.170	1.910
	Stichprobengrösse	21'631	21'631	21'631
	Anzahl geschätzter Parameter	22	59	70
	Log-Likelihood	-11'962	-11'263	-10'687
	Likelihood Ratio Test		ggü. (1): 1'398	ggü. (2): 1'153
	Adjusted ρ^2	0.341	0.377	0.408

Tabelle 18 Ergebnisse des fahrtzweckspezifischen Modells (Analyseregion 3)

Verkehrsmittel	Parameter	Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausb.	Einkauf	Nutzf.	Freizeit
gemeinsam	Kosten [CHF]	-	-0.234	-0.210	-0.230	-0.127	-0.185
	Verspätungsw'keit [%]	-1.010	-	-	-	-	-
	Verspätung [min]	-0.094	-	-	-	-	-
	Interaktionen:						
	Verspätung/Distanz	-0.276	-	-	-	-	-
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-0.176	-	-	-	-	-
	Konstante	-	0.614(*)	5.310(*)	0.969(*)	1.000(*)	1.590
	Gehzeit [min]	-	-0.051	-0.150(*)	-0.048	-0.214	-0.054
	Interaktionen:						
	Gehzeit/Distanz	-0.356	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.189(*)	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-0.069(*)	-	-	-	-	-
	quadriert	0.011(*)	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.152(*)	-	-	-	-	-
	quadriert	0.002(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.029(*)	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.271(*)	-	-	-	-	-
Velo	Konstante	-	-2.020	-0.593	-2.110	-9.920(*)	-1.750
	Fahrtzeit [min]	-	-0.058	-0.095	-0.102	-1.800(*)	-0.061
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.285	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.506	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.521	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.062	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.075(*)	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.003(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	0.036(*)	-	-	-	-	-
	ländlich	0.474(*)	-	-	-	-	-
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-	-0.071	-0.067	-0.061	-0.047	-0.052
	Suchzeit [min]	-0.064	-	-	-	-	-
	Parkkosten [CHF]	-	-0.224	-0.301	-0.193	-0.052	-0.196
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.276	-	-	-	-	-
	Treibstoffkosten/Distanz	-0.613	-	-	-	-	-
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-0.506	-	-	-	-	-
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	immer	0.676	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-	-	-	-	-	-
	ländlich	-	-	-	-	-	-
ÖV	Konstante	-	0.185(*)	0.794(*)	-0.539(*)	-0.341(*)	-0.332(*)
	Fahrtzeit [min]	-	-0.065	-0.046	-0.046	-0.050	-0.049
	Zu- und Abgangszeit [min]	-	-0.065	-0.072	-0.055	-0.066	-0.050
	Wartezeit [min]	-	-0.008	-0.036(*)	-0.019(*)	-0.012(*)	-0.023
	Umsteigen [Anzahl]	-	-0.193	-0.359	-0.326	-0.075(*)	-0.161
	Takt [min]	-	-0.013	-0.010(*)	-0.012	-0.045	-0.012
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.469	-	-	-	-	-
	Umsteigen/Distanz	-0.254	-	-	-	-	-

Takt/Distanz	-0.517	-	-	-	-	-
Billettkosten/Distanz	-0.515	-	-	-	-	-
Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.040	-	-	-	-	-
Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-	-	-	-
Tram	-0.463	-	-	-	-	-
Bus/PostAuto	-0.432	-	-	-	-	-
Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-	-	-	-
Halbtax	0.388	-	-	-	-	-
Verbundabo	1.260	-	-	-	-	-
GA	1.610	-	-	-	-	-
Geschlecht: Mann	-0.201	-	-	-	-	-
Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
Alter [Jahre]: linear	-0.145(*)	-	-	-	-	-
quadriert	0.020(*)	-	-	-	-	-
Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.019(*)	-	-	-	-	-
quadriert	-0.002(*)	-	-	-	-	-
Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
suburban	0.152	-	-	-	-	-
ländlich	0.074(*)	-	-	-	-	-

Skalenparameter	RP	0.896
	SP 1 (Ref.)	1.000
	SP 2	2.970
	SP 3	1.760
	Stichprobengrösse	21'631
	Anzahl geschätzter Parameter	110
	Log-Likelihood	-10'635
	Likelihood Ratio Test (ggü. (3))	104
	Adjusted p^2	0.409

Perimeter GVM BE & SO**Tabelle 19 Ergebnisse der nicht-fahrtzweckspezifischen Modelle (GVM BE &SO)**

Verkehrsmittel	Parameter	Wert		
		(1)	(2)	(3)
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.150	-0.097	-0.166
	Verspätungsw'keit [%]	-0.775	-1.080	-0.378
	Verspätung [min]	-0.035(*)	-0.059	-0.097
	Interaktionen:			
	Verspätung/Distanz	-	-	-0.466
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-	-	-0.237
	Konstante	1.070	0.633(*)	0.315
	Gehzeit [min]	-0.093	-0.085	-0.054
	Interaktionen:			
	Gehzeit/Distanz	-	-	-0.447
	Geschlecht: Mann	-	-0.059(*)	-0.053
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	1.110	1.190
	quadriert	-	-0.112	-0.124
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-0.205	-0.146
	quadriert	-	0.008	0.006
	Zweck: Arbeit	-	0.015(*)	-0.023
	Ausbildung	-	1.370	0.897
	Einkauf	-	-0.249(*)	-0.356
	Nutzfahrt	-	-1.190	-1.850
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.780	-0.781
	ländlich	-	-0.232(*)	-0.140
Velo	Konstante	-0.155(*)	-1.040	-2.080
	Fahrtzeit [min]	-0.074	-0.069	-0.055
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.438
	Geschlecht: Mann	-	0.183	0.208
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	1.140	1.210
	quadriert	-	-0.131	-0.141
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-0.055(*)	0.026
	quadriert	-	0.004(*)	0.002
	Zweck: Arbeit	-	0.437	0.414
	Ausbildung	-	1.560	1.300
	Einkauf	-	-0.913	-1.000
	Nutzfahrt	-	-1.530	-1.600
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.287	-0.173
	ländlich	-	-0.878	-0.785
MIV (Ref.)	Konstante			
	Fahrtzeit [min]	-0.051	-0.035	-0.043
	Suchzeit [min]	-0.045	-0.054	-0.059
	Parkkosten [CHF]	-0.112	-0.133	-0.146
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.293
	Treibstoffkosten/Distanz	-	-	-0.707
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-	-	-0.492
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-
	immer	-	0.965	0.935
	Geschlecht: Mann	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Zweck: Arbeit	-	-	-

	Ausbildung	-	-	-
	Einkauf	-	-	-
	Nutzfahrt	-	-	-
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-	-
	ländlich	-	-	-
ÖV	Konstante	-0.495	-0.694	-0.416
	Fahrtzeit [min]	-0.036	-0.026	-0.034
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.036	-0.025	-0.022
	Wartezeit [min]	-0.029	-0.024	-0.021
	Umsteigen [Anzahl]	-0.222	-0.164	-0.173
	Takt [min]	-0.014	-0.008	-0.008
	Interaktionen:			
	Fahrtzeit/Distanz	-	-	-0.335
	Umsteigen/Distanz	-	-	-0.299
	Takt/Distanz	-	-	-0.545
	Billettkosten/Distanz	-	-	-0.486
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.037	-0.035	-0.043
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-
	Tram	-0.111(*)	-0.069(*)	-0.035
	Bus/PostAuto	-0.109(*)	-0.072(*)	-0.063
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-
	Halbtax	-	0.473	0.318
	Verbundabo	-	1.730	1.640
	GA	-	1.700	71.550
	Geschlecht: Mann	-	-0.059(*)	-0.053
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.252	0.253
	quadriert	-	-0.018(*)	-0.017
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-0.179	-0.199
	quadriert	-	0.008	0.010
	Zweck: Arbeit	-	0.403	0.401
	Ausbildung	-	1.240	1.230
	Einkauf	-	-0.290	-0.341
	Nutzfahrt	-	-0.562	-0.581
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-0.199	-0.184
	ländlich	-	-0.610	-0.660
Skalenparameter	RP	0.862	1.010	1.040
	SP 1 (Ref.)	1.000	1.000	1.000
	SP 2	2.280	3.330	3.590
	SP 3	1.890	2.630	2.310
	Stichprobengrösse	17'441	17'441	17'441
	Anzahl geschätzter Parameter	22	59	70
	Log-Likelihood	-11'001	-10'108	-9'583
	Likelihood Ratio Test		ggü. (1): 1'785	ggü. (2): 1'051
	Adjusted ρ^2	0.265	0.322	0.356

Tabelle 20 Ergebnisse des fahrtzweckspezifischen Modells (GVM BE & SO)

Verkehrsmittel	Parameter	Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausb.	Einkauf	Nutzf.	Freizeit
gemeinsam	Kosten [CHF]	-	-0.190	-0.174	-0.165	-0.196	-0.161
	Verspätungsw'keit [%]	-0.448(*)	-	-	-	-	-
	Verspätung [min]	-0.103	-	-	-	-	-
	Interaktionen:						
	Verspätung/Distanz	-0.437	-	-	-	-	-
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-0.176	-	-	-	-	-
	Konstante	-	0.635	4.950	0.606	-0.081	-0.663(*)
	Gehzeit [min]	-	-0.073	-0.149	-0.071	-0.109	-0.042
	Interaktionen:						
	Gehzeit/Distanz	-0.378	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.319	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	1.190	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.125	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.154	-	-	-	-	-
	quadriert	0.006(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.768	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.148(*)	-	-	-	-	-
Velo	Konstante	-	-2.160	-1.140	-2.700	-1.940	-2.320
	Fahrtzeit [min]	-	-0.057	-0.059	-0.076	-0.150	-0.048
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.362	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	0.254	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	1.240	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.145	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.018(*)	-	-	-	-	-
	quadriert	0.001(*)	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.184	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.784	-	-	-	-	-
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-	-0.061	-0.061	-0.045	-0.073	-0.034
	Suchzeit [min]	-0.067	-	-	-	-	-
	Parkkosten [CHF]	-0.150	-	-	-	-	-
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.251	-	-	-	-	-
	Treibstoffkosten/Distanz	-0.689	-	-	-	-	-
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-0.495	-	-	-	-	-
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	immer	0.944	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-	-	-	-
	quadriert	-	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-	-	-	-	-	-
	ländlich	-	-	-	-	-	-
ÖV	Konstante	-	0.283(*)	0.957	-0.250(*)	-0.659(*)	-0.487(*)
	Fahrtzeit [min]	-	-0.042	-0.042	-0.034	-0.050	-0.031
	Zu- und Abgangszeit [min]	-	-0.056	-0.053	-0.058	-0.059	-0.008
	Wartezeit [min]	-	-0.020	-0.035	-0.048(*)	-0.062(*)	-0.019
	Umsteigen [Anzahl]	-	-0.184	-0.184	-0.274	-0.367(*)	-0.196
	Takt [min]	-	-0.015	-0.011(*)	-0.011	-0.006(*)	-0.006
	Interaktionen:						
	Fahrtzeit/Distanz	-0.333	-	-	-	-	-
	Umsteigen/Distanz	-0.193(*)	-	-	-	-	-

	Takt/Distanz	-0.509	-	-	-	-	-
	Billettkosten/Distanz	-0.484	-	-	-	-	-
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.059	-	-	-	-	-
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Tram	-0.089(*)	-	-	-	-	-
	Bus/PostAuto	-0.098(*)	-	-	-	-	-
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Halbtax	0.307	-	-	-	-	-
	Verbundabo	1.670	-	-	-	-	-
	GA	1.510	-	-	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-0.030(*)	-	-	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.258	-	-	-	-	-
	quadriert	-0.018(*)	-	-	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.189	-	-	-	-	-
	quadriert	0.009	-	-	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-	-	-	-
	suburban	-0.205	-	-	-	-	-
	ländlich	-0.694	-	-	-	-	-
Skalenparameter	RP	1.010					
	SP 1 (Ref.)	1.000					
	SP 2	3.600					
	SP 3	2.030					
	Stichprobengrösse	17'441					
	Anzahl geschätzter Parameter	106					
	Log-Likelihood	-9'466					
	Likelihood Ratio Test (ggü. (3))	241					
	Adjusted ρ^2	0.362					

3.4 Analyse der Modellqualität

Wie die nachfolgenden Auswertungen zeigen, ist die Modellqualität hinsichtlich der Abbildung der durch die Befragten gefällten Entscheidungen sehr zufriedenstellend. Es wurde für den gesamten Datensatz der SP-Verkehrsmittel- und Routenwahlentscheide die durch die Nutzenfunktionen vorgegebenen Auswahlwahrscheinlichkeiten berechnet und diese den tatsächlichen Entscheidungen gegenübergestellt. Diese Vergleiche geben Anhaltspunkte zur Vorhersagekraft des Modells.

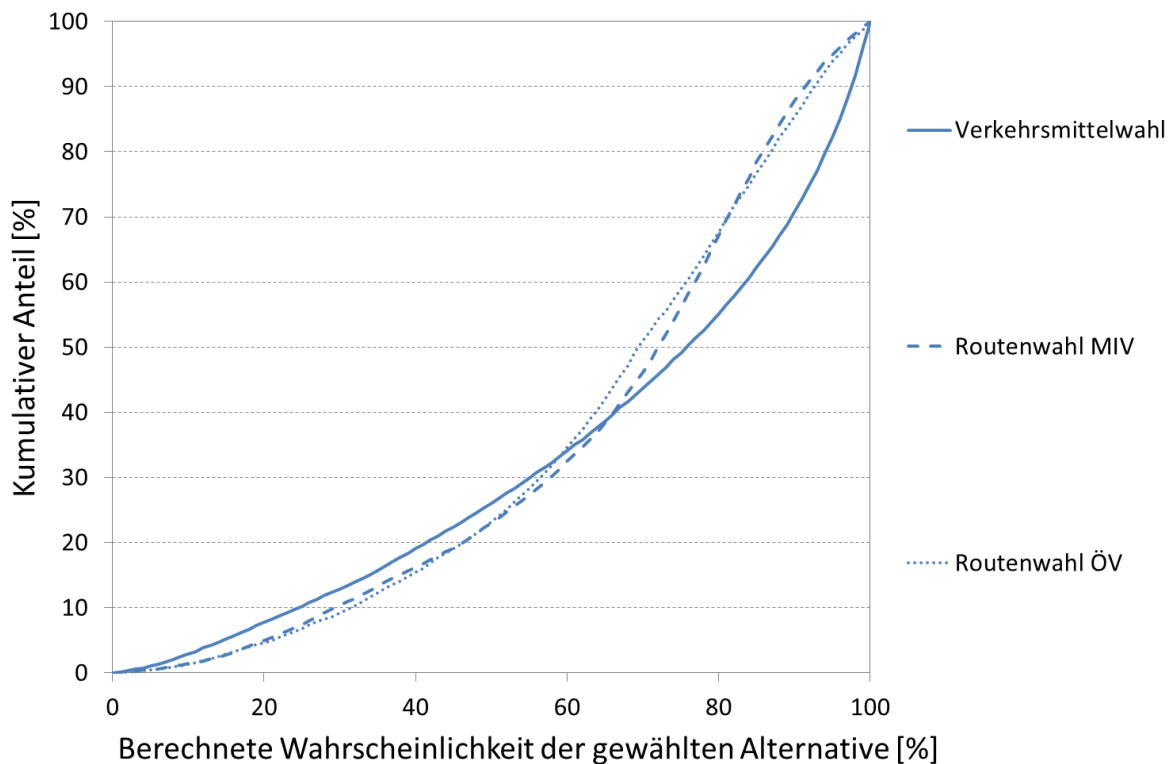
Die hier gezeigten generalisierte Auswertungen dienen der Veranschaulichung und Interpretation der Modellergebnisse; sie ersetzen jedoch nicht die korrekte Berechnung sämtlicher benötigter Grössen in einem konkreten Anwendungsfall, bei welchem die Verteilungen der Angebotsattribute beträchtlich von den hier angenommenen Mittelwerten abweichen können.

3.4.1 Berechnete Wahrscheinlichkeit der gewählten Alternative

Wie Abbildung 11 zeigt, ist bei den Verkehrsmittelwahlentscheidungen in gut 75% aller Fälle die berechnete Wahrscheinlichkeit der gewählten Alternative grösser als 50%, und in 60% der Fälle grösser als 66%. In nur 10% aller Fälle ist diese Wahrscheinlichkeit kleiner als 25%. Insgesamt wird das Entscheidungsverhalten bei der Verkehrsmittelwahl durch das Modell also gut reproduziert, insbesondere angesichts der Tatsache, dass in den allermeisten Fällen drei Alternativen zur Auswahl stehen.

Bei der Routenwahl, wo jeweils nur aus zwei Alternativen auszuwählen war, kann die Qualität der Ergebnisse ebenfalls überzeugen. Hier ist sowohl im MIV als auch im ÖV in knapp 80% aller Fälle die berechnete Wahrscheinlichkeit der gewählten Alternative grösser als 50%, und in ca. 50% der Fälle grösser als 70%. Auch hier ist das abgebildete Entscheidungsverhalten also grossmehrheitlich korrekt, obwohl jeweils beide Alternativen sehr ähnliche Attributsausprägungen aufweisen (da sie durch Variationen der Grundattribute desselben Weges erzeugt wurden; siehe ARE, 2016, S. 20ff).

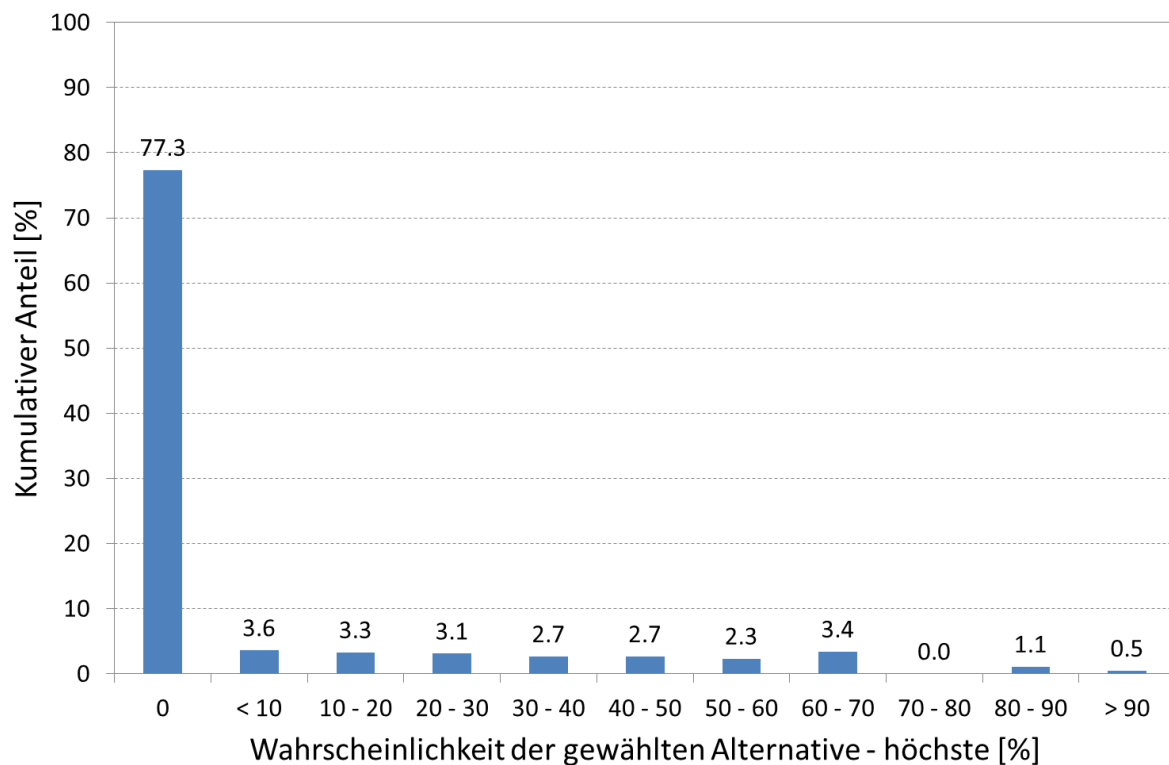
Abbildung 11 Modellqualität: Berechnete Wahrscheinlichkeit der gewählten Alternative



3.4.2 Höchste berechnete Wahrscheinlichkeit

Auch Abbildung 12 bestätigt den Eindruck der guten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Hier ist für die Verkehrsmittelwahl die Differenz zwischen der berechneten Wahrscheinlichkeit der gewählten Alternative und jener mit der höchsten berechneten Auswahlwahrscheinlichkeit dargestellt. In über 75% aller Fälle ist diese Differenz gleich null; dies bedeutet, dass für die tatsächlich gewählte Alternative durch das Modell auch die höchste Wahrscheinlichkeit berechnet wurde. Angesichts der Tatsache, dass bei SP-Entscheidungen immer auch nicht beobachtete Faktoren eine Rolle spielen (persönlicher Geschmack, situationsbedingte Faktoren etc.) und somit eine vollständig akkurate Abbildung des Verhaltens naturgemäß nicht möglich ist, sind diese Werte als sehr gut einzustufen.

Abbildung 12 Modellqualität: Differenz zwischen gewählter und wahrscheinlichster Alternative



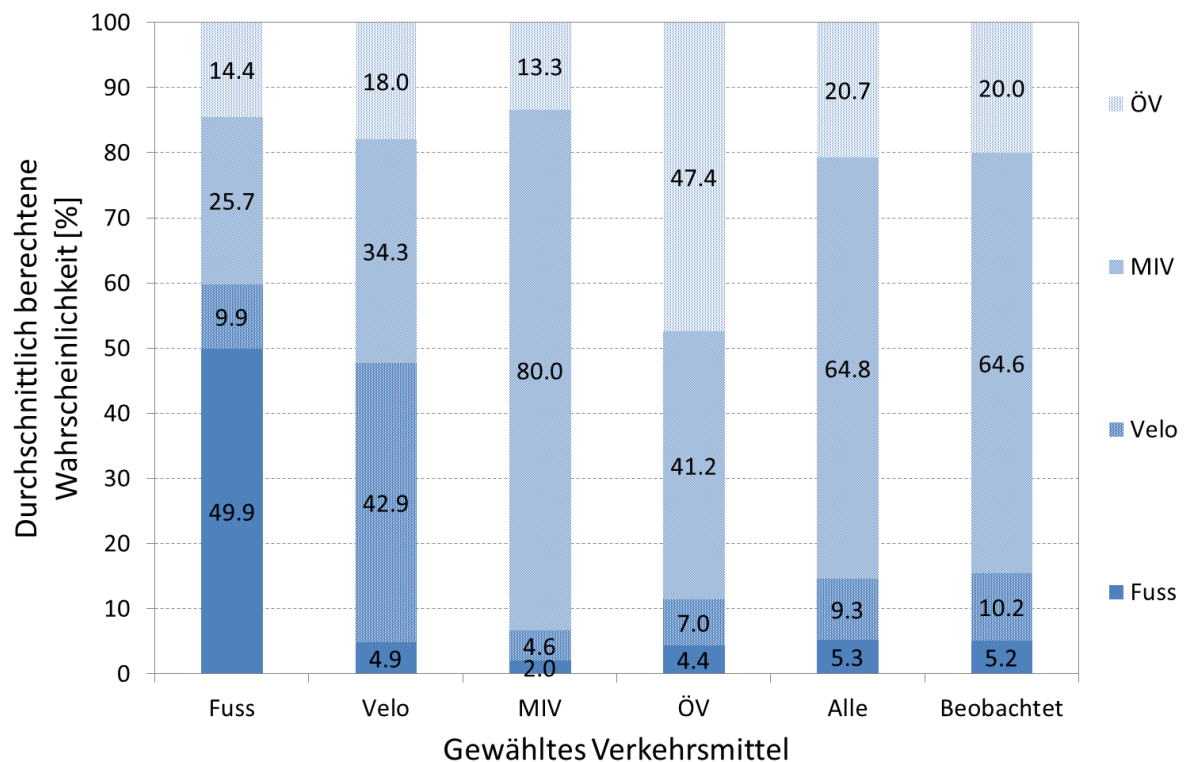
3.4.3 Berechnete Wahrscheinlichkeit nach Verkehrsmittel

Abbildung 13 schlüsselt die mittleren berechneten Wahrscheinlichkeiten nach dem tatsächlich gewählten Verkehrsmittel auf. Hier wird einerseits nochmals deutlich, dass die tatsächlich gewählte Alternative durch das Modell im Mittel als am wahrscheinlichsten ausgewiesen wird. Dies gilt insbesondere für den MIV: bei Entscheidungssituationen, in welchen dieses Verkehrsmittel durch die Befragten gewählt wurde, beträgt dessen mittlere berechnete Auswahlwahrscheinlichkeit knapp 80%. Beim ÖV hingegen ist die Lage diffuser: bei Entscheidungen für den ÖV bildet das Modell im Mittel dessen Wahrscheinlichkeit mit knapp 50% ab, jene für den MIV jedoch gleichzeitig mit über 40%. Dies zeigt, dass die beiden Verkehrsmittel oft in naher Konkurrenz zueinander stehen und die Entscheidung nicht alleine aufgrund der Verkehrsangebotsattribute getroffen wird, sondern die erwähnten nicht messbaren Faktoren einen stärkeren Einfluss haben. Beim Velo zeigt sich ein ähnliches Bild.

Insgesamt reproduziert das Modell präzise die Marktanteile der SP-Stichprobe (Spalte „beobachtet“; siehe auch ARE, 2016, S. 45), was mathematisch durch den Einbezug der alternativen-spezifischen Konstanten eine Notwendigkeit ist. Letzere dienen dazu, die abgebildeten

Entscheidungen so anzugleichen, dass im Mittel die Marktanteile korrekt abgebildet werden (siehe auch Abschnitt 2.2.7).

Abbildung 13 Modellqualität: Auswahlwahrscheinlichkeiten nach gewählter Alternative

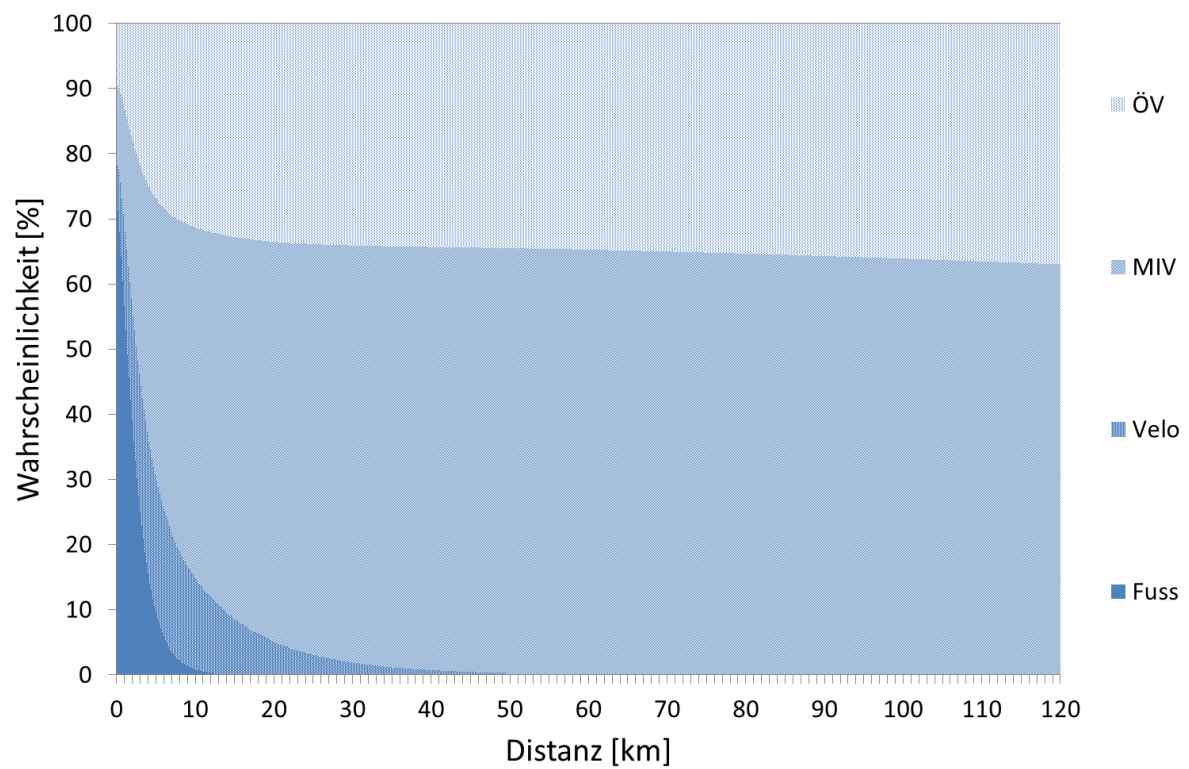
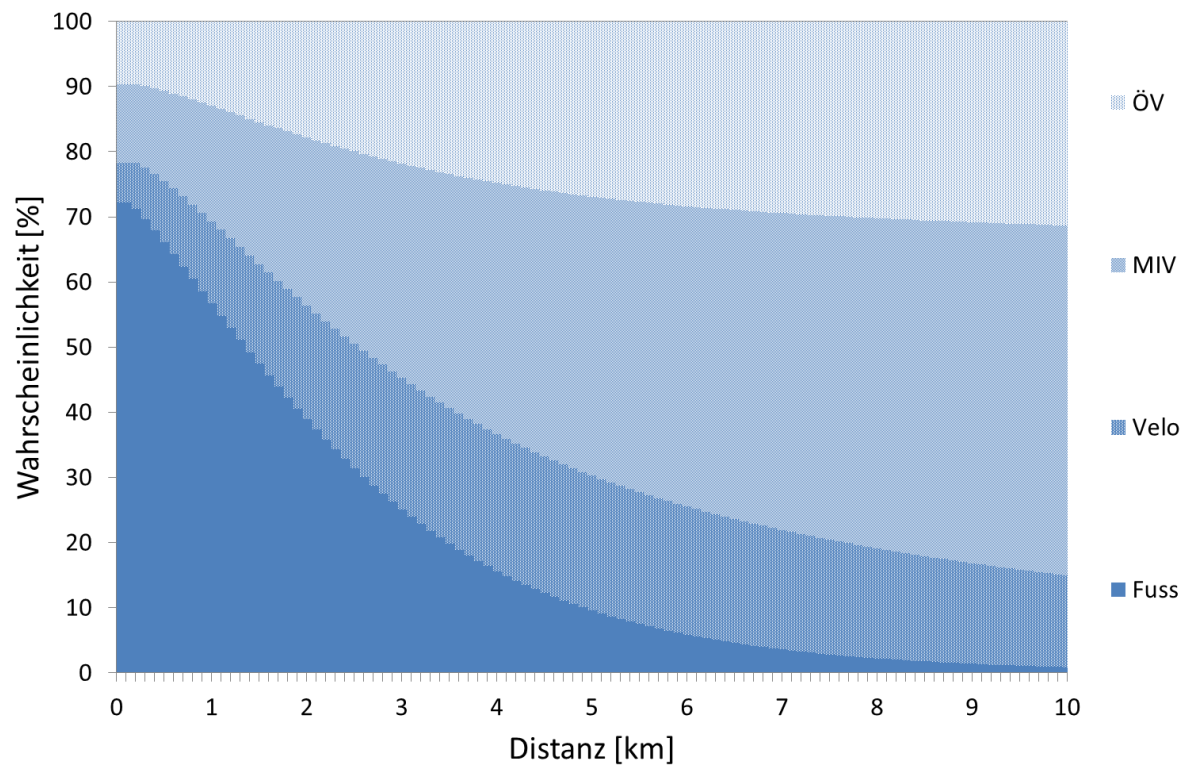


3.4.4 Berechnete Wahrscheinlichkeit nach Distanz

Abbildung 14 zeigt die Verläufe der durch das Modell berechneten Modal-Split-Anteile, bzw. Auswahlwahrscheinlichkeiten der einzelnen Alternativen, abhängig von der Weglänge (oben bis 10 km, unten bis 120 km). Für die Berechnung der Reisezeiten wurden typische Verläufe (Abhängigkeit der Geschwindigkeiten und somit der Fahrtzeiten von der Weglänge) angenommen, wie sie aus dem MZMV 2015 resultieren. Bei den Kosten wurden die Ansätze verwendet, welche auch für die Berechnung in der SP-Befragung 2015 eingesetzt wurden (ARE, 2016).

Hier zeigt sich, dass die distanzabhängigen Interaktionsterme eine differenzierte Bewertung der einzelnen Attribute zulässt und zu plausiblen Verläufen der Kurven führt. Bei kurzen Wegen dominiert der Langsamverkehr, dieser verliert aber ab Weglängen von 10 km an Bedeutung. Über 30 km wird nur noch zwischen MIV und ÖV entschieden, dies in einem Mittleren Verhältnis von ca. 70% vs. 30%.

Abbildung 14 Modellqualität: Auswahlwahrscheinlichkeiten nach Weglänge



3.4.5 Kreuzvalidierung der Ergebnisse

Neben den erwähnten Auswertungen der Modellanwendungen auf den Gesamtdatensatz wurde auch eine sogenannte „Kreuzvalidierung“ (*cross validation*) der Modellergebnisse durchgeführt. Hierfür wurde die Modellschätzung mit 80% der Gesamtstichprobe wiederholt und die Ergebnisse dann auf die restlichen 20% angewandt, um die Stabilität der Ergebnisse zu evaluieren.

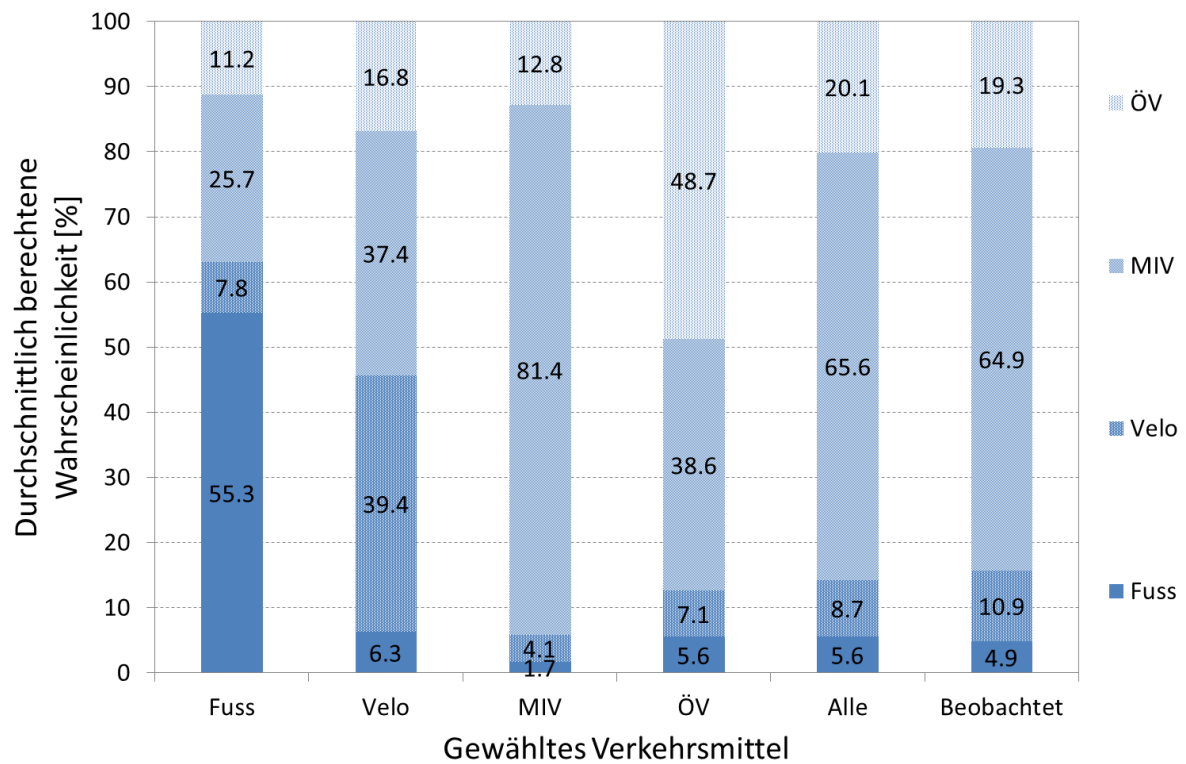
Die oben beschriebenen Erkenntnisse bezüglich der Vorhersagekraft des Modells (abgebildete Auswahlwahrscheinlichkeit der gewählten Alternative, Modal-Split-Anteile) konnten dabei vollumfänglich bestätigt werden. Die Verteilung der Auswahlwahrscheinlichkeiten der tatsächlich gewählten Alternativen ist deckungsgleich mit jener aus Abbildung 11.

Bei der Kreuzvalidierung wurde in 78,6% der Fälle in der 20%-Stichprobe für die tatsächlich ausgewählte Alternative die höchste Wahrscheinlichkeit berechnet, die Prognosen sind also sogar leicht besser als beim Gesamtmodell.

Die resultierenden durchschnittlichen Auswahlwahrscheinlichkeiten in der 20%-Stichprobe, aufgeschlüsselt nach dem tatsächlich gewählten Verkehrsmittel, zeigt Abbildung 15. Hier ist ersichtlich, dass auch bei der beschriebenen Kreuzvalidierung die Ergebnisse aus Abbildung 13 reproduziert werden.

Ebenfalls in der Abbildung gezeigt ist die tatsächliche Verteilung der Verkehrsmittelwahlentscheidungen in der 20%-Stichprobe (Spalte „beobachtet“), welche durch die mittleren Wahrscheinlichkeiten des Modells (Spalte „alle“) ebenfalls beinahe perfekt wiedergegeben wird.

Abbildung 15 Modellqualität: Kreuzvalidierung der Modellergebnisse



3.5 Ableitung von Kenngrössen

3.5.1 Zahlungsbereitschaften

Die Zahlungsbereitschaft (*willingness-to-pay*, *WTP*; bei Fahrtzeit auch *value of travel time savings*, *VTTS*) für die Reduktion eines Attributs berechnet sich aus dem Verhältnis der Bewertungen für das Attribut und der betrachteten Kostenkomponente. Mathematisch betrachtet werden die partiellen Ableitungen der Nutzendifferenz nach den beiden Attributen verwendet:

$$WTP_x = \frac{\frac{\delta V}{\delta x}}{\frac{\delta V}{\delta \text{Kosten}}}$$

Im vorliegenden Fall der Nutzenfunktionen mit Interaktionstermen führt dies zu folgender Formel:

$$WTP_x = \frac{\beta_x \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20}\right)^{\lambda_{\text{Distanz},x}}}{\text{Kosten} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20}\right)^{\lambda_{\text{Distanz},\text{Kosten}}} \cdot \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000}\right)^{\lambda_{\text{Einkommen},\text{Kosten}}}}$$

Distanzabhängigkeit

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Verläufe der Zahlungsbereitschaften, abhängig von der Weglänge, für folgende Attribute:

- Fahrtzeit MIV (Abbildung 16);
- Verspätung MIV (Abbildung 17);
- Fahrtzeit ÖV (Abbildung 18);
- Verspätung ÖV (Abbildung 21);
- Umsteigen (Abbildung 19);
- Takt (Abbildung 20).

Gezeigt werden jeweils die Verläufe für das nicht-fahrtzweckspezifische und das fahrtzweckspezifische Modell. Die gezeigten Verläufe gelten für den Referenzwert des Haushaltseinkommens, welcher bei 7'000.- CHF/Monat liegt.

In Abbildung 16 und Abbildung 18 ist zu sehen, dass der VTTS (Zahlungsbereitschaft für die Reduktion der Fahrtzeit) für den MIV höher liegt als für den ÖV. Zudem ist ersichtlich, dass

sich aus der Kombination der Interaktionsparameter der Fahrtzeit und -kosten mit der Distanz Zeitwerte ergeben, welche mit der Weglänge zunehmen. Dies entspricht den Erkenntnissen aus früheren Studien (Axhausen *et al.*, 2007, 2008; Hess *et al.*, 2008; Weis *et al.*, 2009, 2010; Weis *et al.*, 2012a, 2012b; Fröhlich *et al.*, 2014 und Widmer *et al.*, 2017) und jenen aus der Schweizer Zeitkostennorm (VSS, 2007).

Hier ist auch gut zu sehen, dass die Differenzierung zwischen den Fahrtzwecken sehr wichtig ist und es relativ grosse Unterschiede in den Zahlungsbereitschaften zwischen den einzelnen Zwecken gibt. Am höchsten liegen die Zeitwerte im Pendlerverkehr und insbesondere bei den Nutzfahrten, am tiefsten bei den Freizeitwegen.

Auf den ersten Blick eher überraschend sind die verhältnismässig hohen Zahlungsbereitschaften im Ausbildungsverkehr. Die in der SP-Befragung 2015 vorliegenden Ausbildungswege beziehen sich jedoch ausschliesslich auf Personen über 18 Jahren. Da bei der Konzeption der SP-Befragung zugleich der Fokus auf die Abfrage möglichst langer Wege gelegt wurde (siehe ARE, 2016), sind hier eher wenige Wege von Schülern und vermehrt solche zu Weiterbildungen von berufstätigen Personen vorhanden. Dies erklärt die im Vergleich zu früheren Studien, bei welchen auch die Wege von Schülern in die Auswertung einfliessen (z.B. Fröhlich *et al.*, 2014), höheren Zahlungsbereitschaften bei diesem Zweck. Dies trifft insbesondere auf die längeren MIV-Wege (ab ca. 20 km) zu, welche bei den Verläufen in den Abbildungen besonders auffallen – diese werden selten bis nie von Schülern zurückgelegt. Für eine Umrechnung auf Schülerwege könnte, mit entsprechend angepassten Werten für die mittleren Einkommen und begrenzt auf die dort vorkommenden Distanzverteilungen, eine Reduktion der Werte erreicht werden (siehe auch den nachfolgenden Abschnitt zur Einkommensabhängigkeit der Zahlungsbereitschaften).

Auch bei der Bewertung des Umsteigens im ÖV (Abbildung 19) konnten Trends aus früheren Studien bestätigt werden. Ein Umsteigevorgang wird hier je nach Weglänge etwa gleich bewertet wie 5 bis 10 Minuten zusätzliche Fahrtzeit. Dies entspricht beispielsweise auch den Werten, wie sie im ÖV-Umlegungsmodell des aktuellen NPVM und der hier betrachteten kantonalen Modelle verwendet werden.

Die Zahlungsbereitschaft für die Reduktion der Taktfolge zwischen zwei Verbindungen liegt beim ca. 0.2- bis 0.5-fachen jener für die Fahrtzeit (Abbildung 20). Auch dies entspricht in den Grössenordnungen den Erwartungen (siehe z.B. Weis *et al.*, 2012a, 2012b). Eine Taktreduktion um 5 Minuten (z.B. von 15 auf 10 Minuten) würde also im Mittel gleich bewertet werden wie eine Fahrzeiteinsparung von ca. 2 Minuten). Interessant ist hier die Umkehr der

Distanzabhängigkeit – bei kurzen Wegen ist eine dichte Taktfolge demnach wichtiger als bei längeren Fahrten.

Die Verlässlichkeit (Vermeidung von Verspätungen) ist ebenfalls sehr relevant und deren Zahlungsbereitschaft liegt höher als jene für die reine Fahrtzeit, wie Abbildung 17 und Abbildung 21 zeigen. Diese Erkenntnisse konnten anhand der Erfahrungen aus der Literatur erwartet werden; die Faktoren für die Bewertung der Verspätung gegenüber der Fahrtzeit von ca. 1.5 bis 3.0 entsprechen den Ergebnissen, welche Fröhlich *et al.* (2014) bei ihrer detaillierten Analyse der Verlässlichkeit erzielt haben.

Insgesamt ergeben sich demnach sehr plausible Ergebnisse, welche sich mit früheren Erkenntnissen in Einklang bringen lassen und somit für die Anwendung in Verkehrsmodellen empfohlen werden können. Für die Analyseregionen und den Perimeter der GVM BE und SO (siehe Anhang A3) gilt dies gleichermassen. Hier unterscheiden sich die Verläufe der Zahlungsbereitschaften nur marginal von jenen des Gesamtmodells. Die differenzierten Parameter können also verwendet werden, um allfällige detaillierte Sensitivitäten gegenüber einzelnen Attributen abzubilden, ohne dass die Plausibilität des abgebildeten Verhaltens darunter leiden würde.

Abbildung 16 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (MIV)

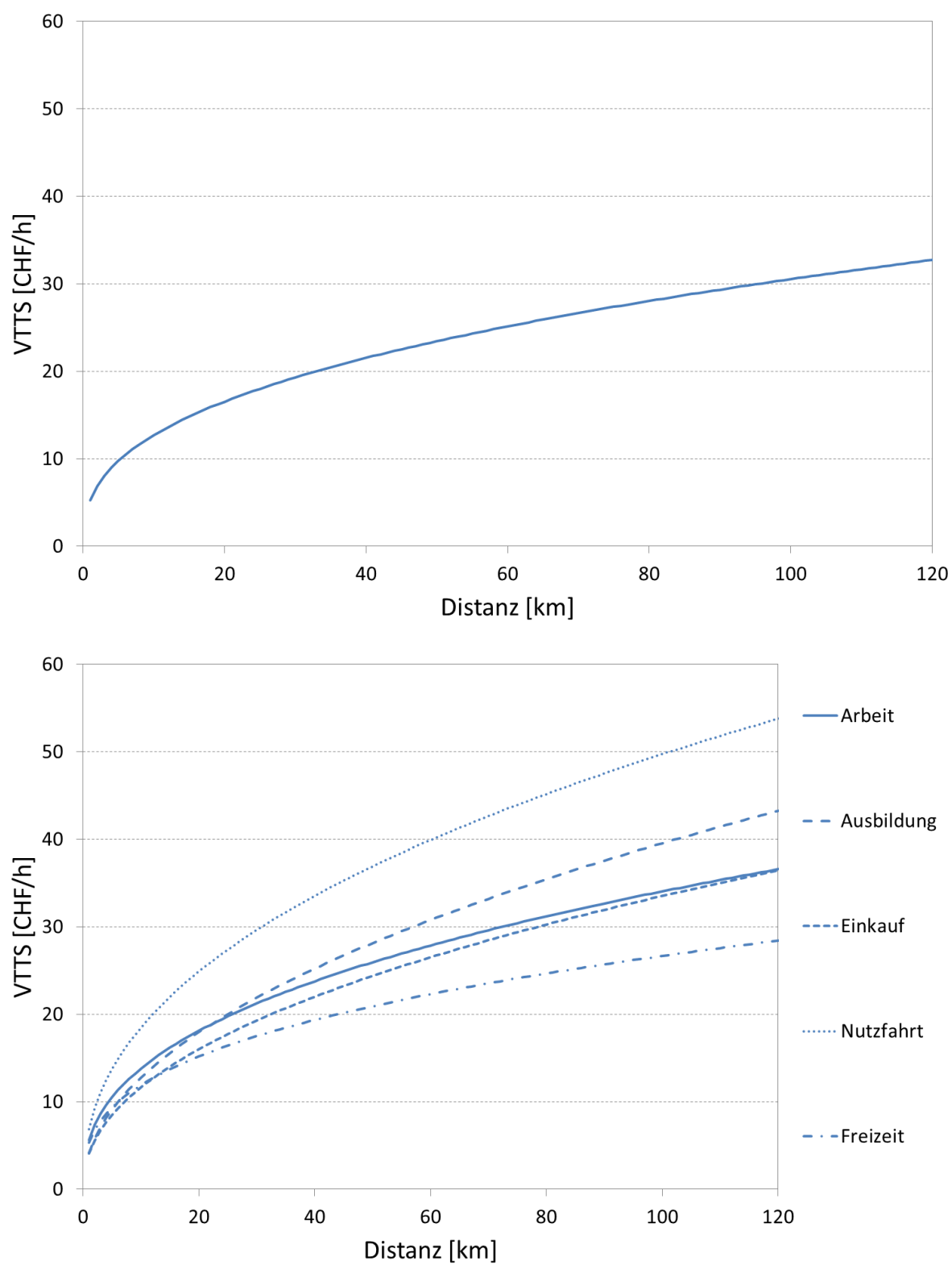


Abbildung 17 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Verspätung (MIV)

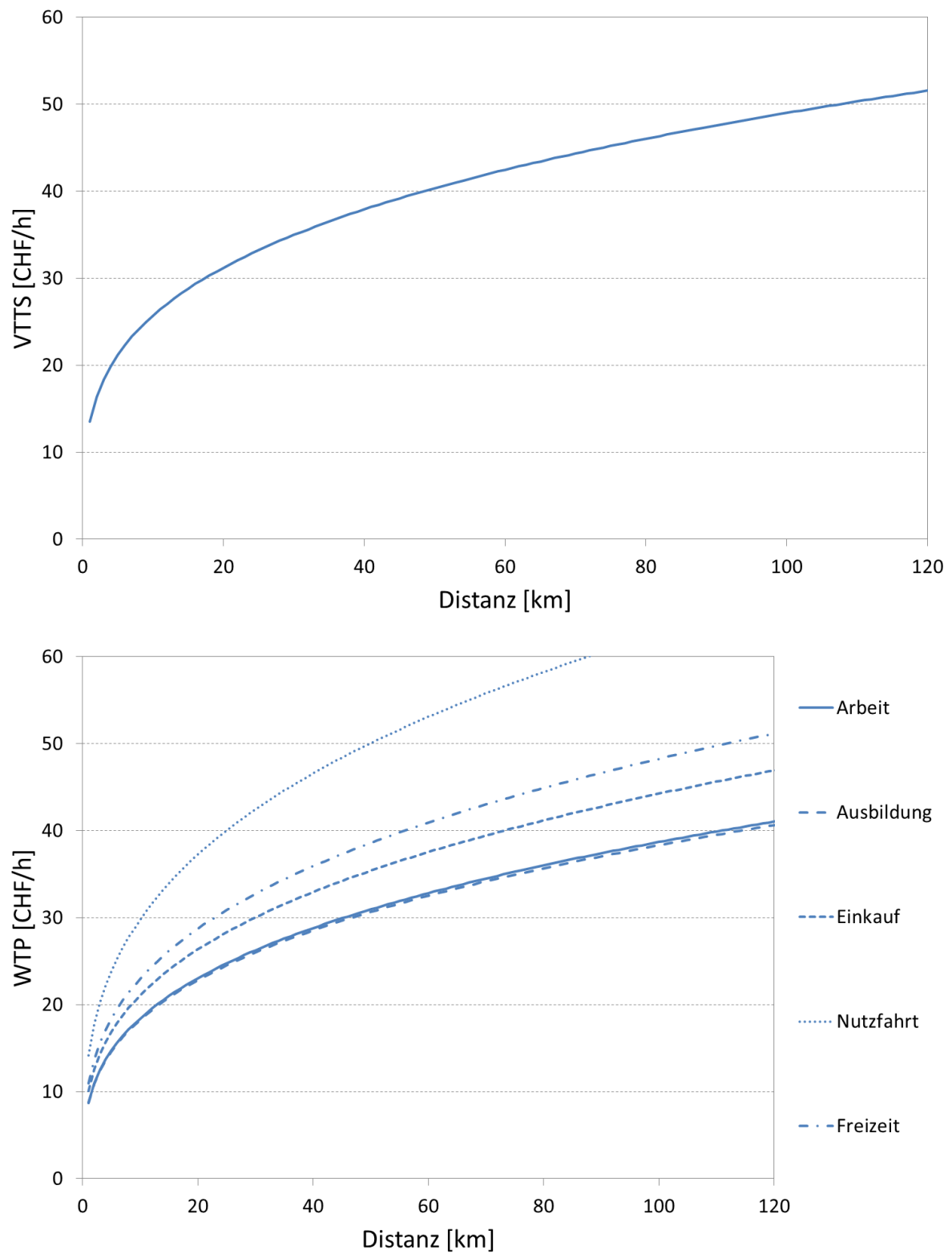


Abbildung 18 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (ÖV)

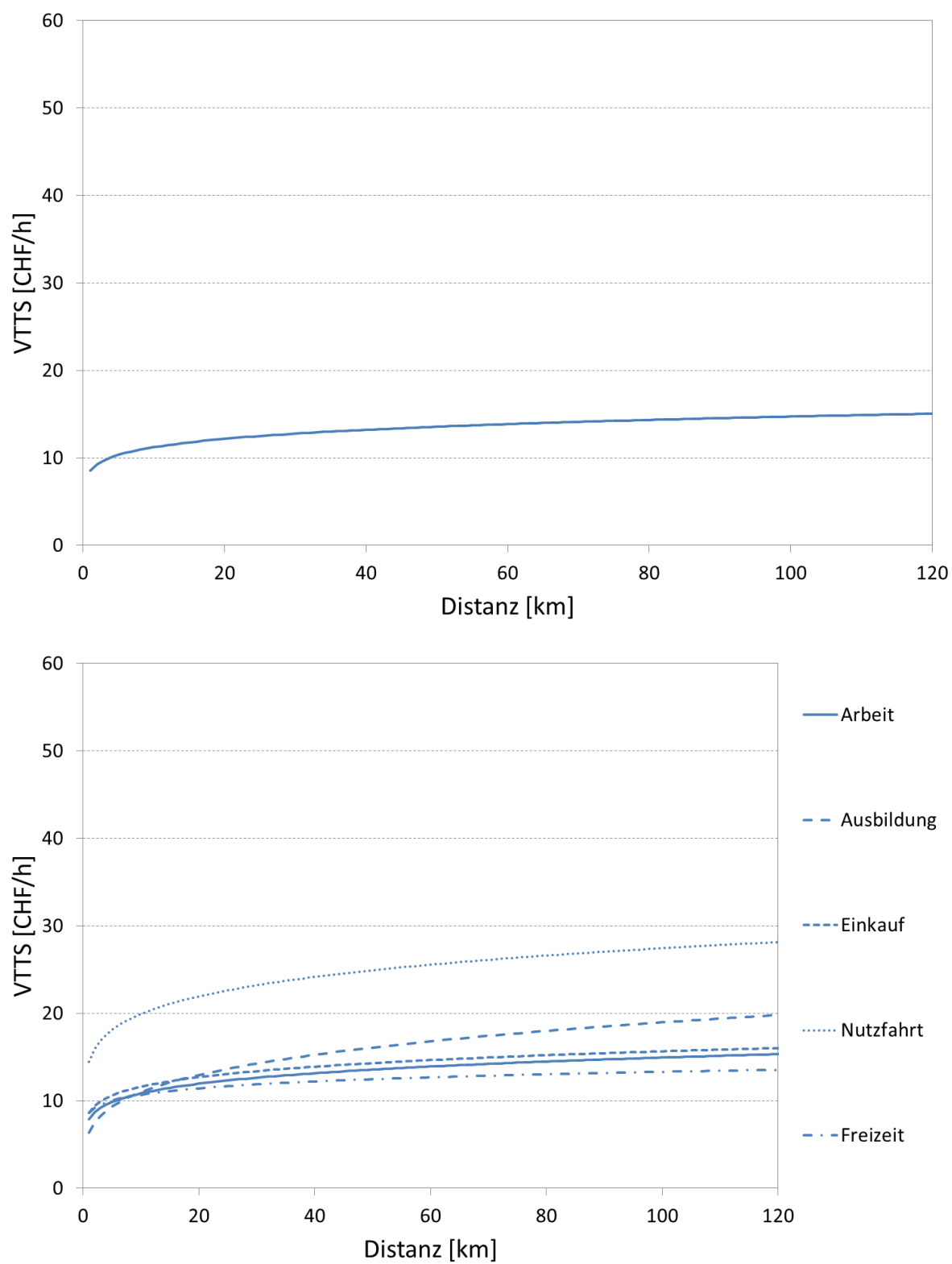


Abbildung 19 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Umsteigehäufigkeit (ÖV)

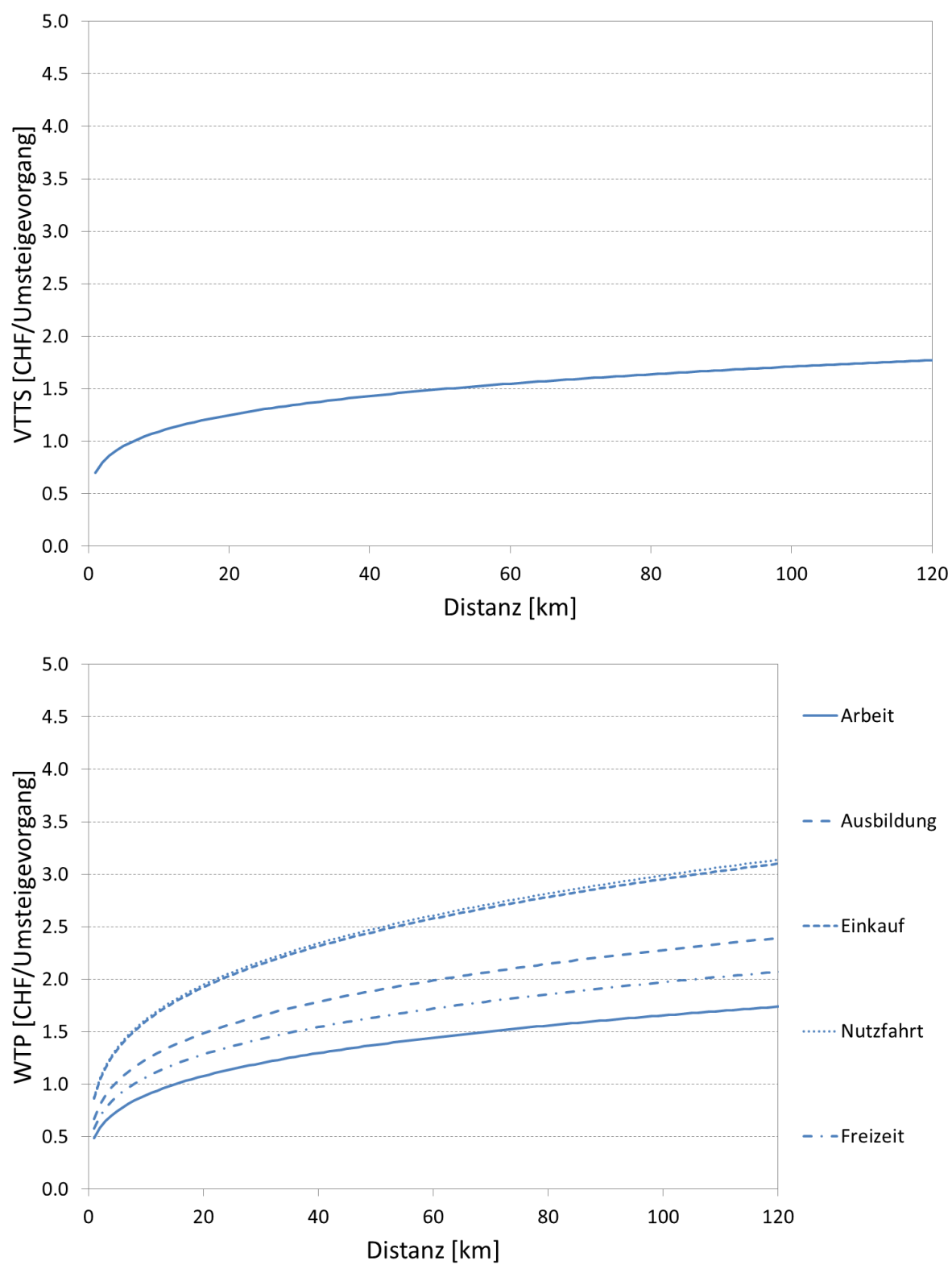


Abbildung 20 Zahlungsbereitschaft für Reduktion des Takts (ÖV)

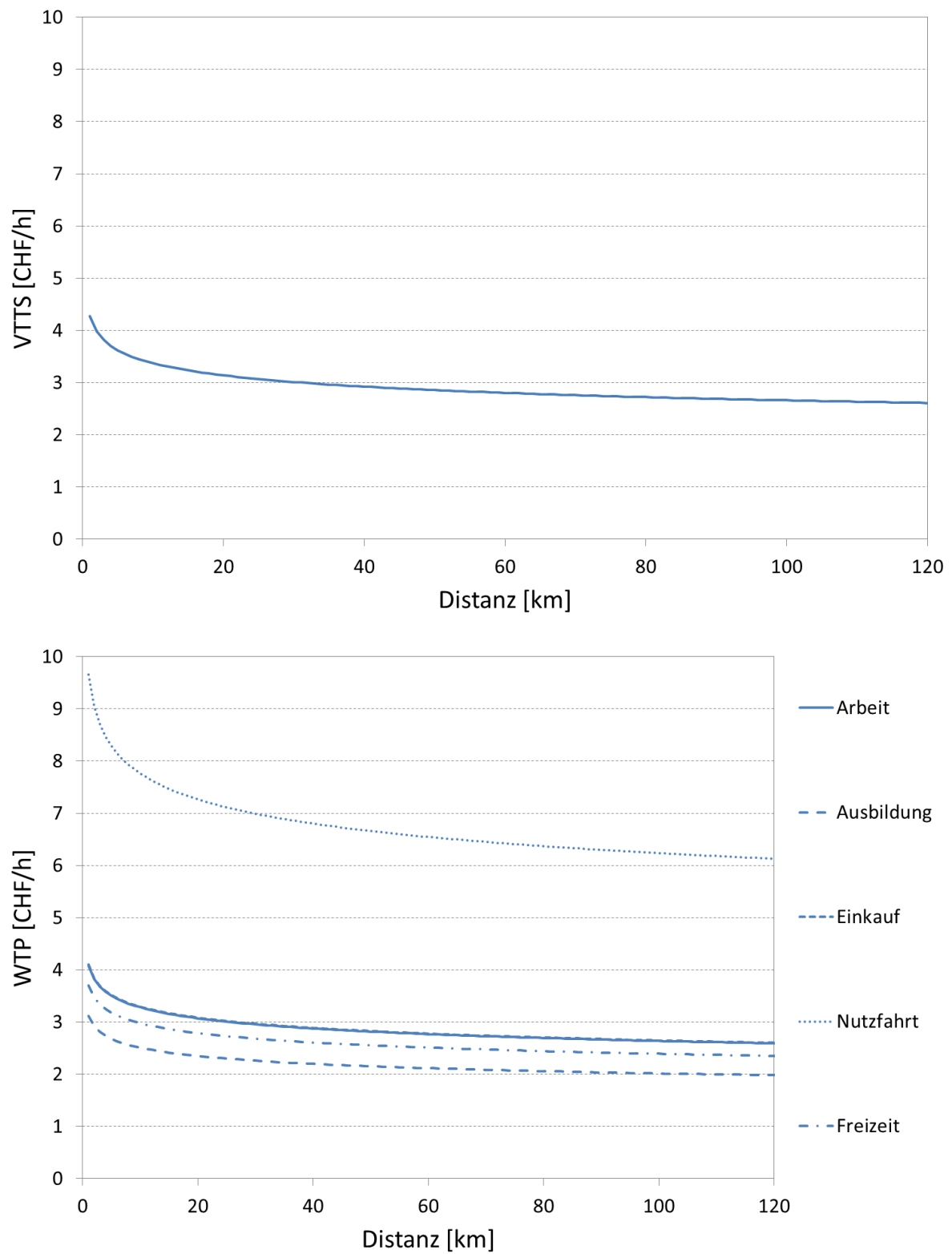
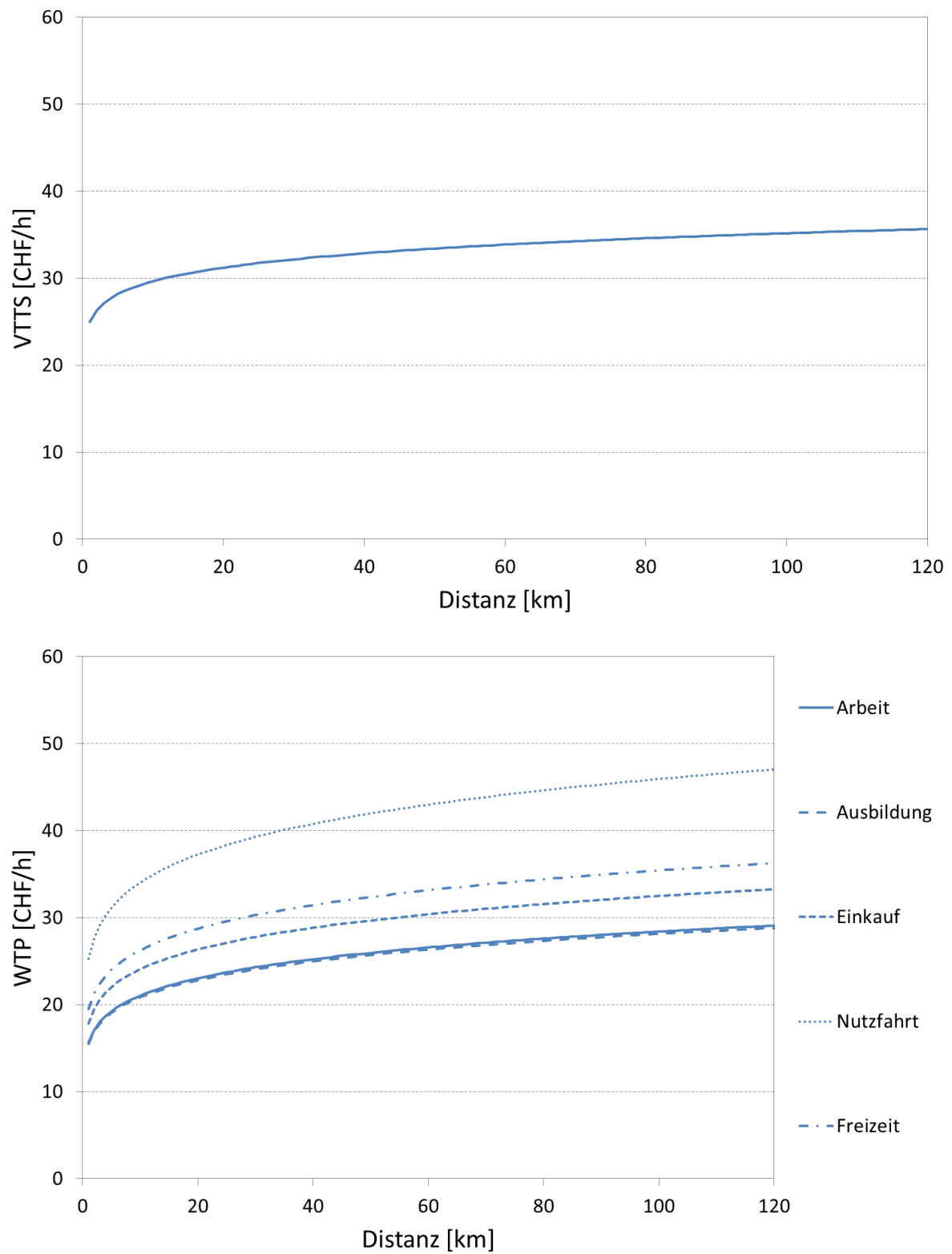


Abbildung 21 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Verspätung (ÖV)

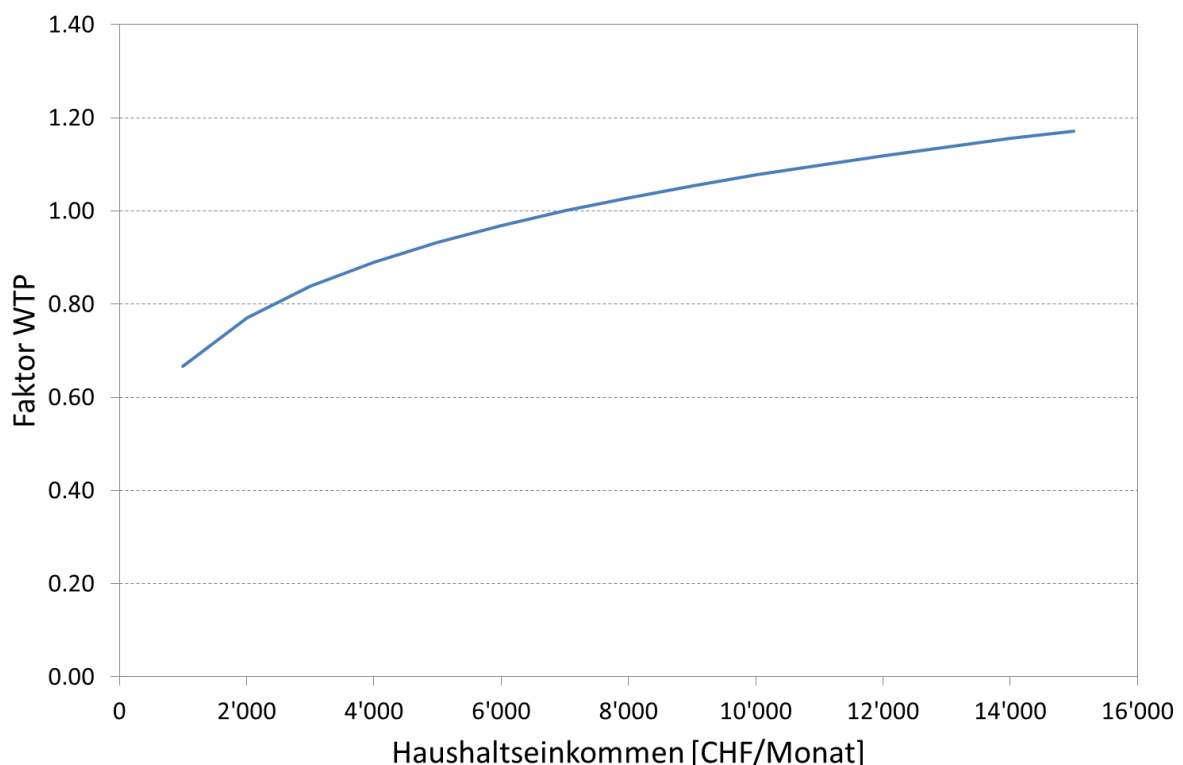


Einkommensabhängigkeit

Die Formulierung der Nutzenfunktionen beinhaltet neben den Interaktionen mit der Weglänge auch jene der Bewertung der Kostenattribute mit dem Einkommen. Dies führt zur in Abbildung 22 veranschaulichten Abhängigkeit der Zahlungsbereitschaften vom monatlichen Haushaltseinkommen der betrachteten Person. Da die einkommensabhängige Bewertung der Fahrtkosten bei der Berechnung aller Zahlungsbereitschaften gleich einfließt, gilt der hier verallgemeinert dargestellte Verlauf für sämtliche im vorigen Abschnitt aufgezeigten Zahlungsbereitschaften.

Wie zu sehen ist, ist der Faktor beim gesetzten Referenzwert von 7'000.- CHF/Monat gleich 1.0. Je nach Einkommen variiert er von ca. 0.65 bis ca. 1.20. Bei einem Einkommen von 1'000.- CHF/Monat (dem Mittel der tiefsten Kategorie) liegen die Zahlungsbereitschaften also ca. 35% tiefer, bei 15'000.- CHF/Monat (dem Mittel der höchsten Kategorie) ca. 20% höher als beim Referenzwert.

Abbildung 22 Zahlungsbereitschaft: Abhängigkeit vom Einkommen



Hochrechnung auf Bevölkerungswerte

Um gewichtete Mittelwerte der Zahlungsbereitschaften zu erhalten, müssen diese für jeden Weg des MZMV 2015 (in Abhängigkeit der Weglänge und des Einkommens der betreffenden Person) berechnet und dann über die im Datensatz ausgewiesenen Personengewichte gemittelt werden. Diese Berechnung wurde für sämtliche relevanten Zahlungsbereitschaften mit den geschätzten Parametern der regionen- und fahrtzweckspezifischen Modelle mit Interaktions-terminen durchgeführt.

Die Ergebnisse (gewichtete Mittelwerte, in Klammern Standardabweichungen) sind aus Tabelle 21 ersichtlich. Die weiter oben aus den Distanzverläufen gezogenen Schlussfolgerungen bezüglich der Werte und der Verhältnisse zwischen den einzelnen Angebotsvariablen und den Fahrtzwecken werden auch durch die gewichteten Mittelwerte bestätigt. Auch hier sind die Ergebnisse insgesamt sehr plausibel sowie vergleichbar mit den letzten grösseren in der Schweiz durchgeführten und umfassend analysierten SP-Befragungen (Fröhlich *et al.*, 2013; Widmer *et al.*, 2017) und liegen somit im Rahmen der Erwartungen.

Tabelle 21 Gewichtete Zahlungsbereitschaften [CHF/Einheit] für den Gesamtdatensatz

Attribut		Fahrtzweck					
		Alle	Arbeit	Ausbildung	Einkauf	Nutzfahrt	Freizeit
Fuss	Gehzeit [h]	6.0 (5.2)	6.7 (3.5)	11.6 (10.2)	4.5 (2.4)	26.1 (6.1)	6.1 (4.1)
Velo	Fahrtzeit [h]	9.9 (6.6)	7.9 (3.7)	8.2 (4.4)	9.9 (5.0)	32.6 (14.2)	10.3 (6.0)
MIV	Fahrtzeit [h]	13.2 (8.6)	14.6 (6.6)	15.8 (7.8)	10.3 (5.8)	24.6 (18.0)	12.1 (6.9)
	Parkplatzsuchzeit [h]	25.7 (9.8)	26.4 (8.9)	19.8 (5.3)	23.2 (3.5)	41.7 (24.9)	24.3 (4.6)
	Verspätung [h]	26.9 (17.6)	23.6 (11.6)	22.8 (12.1)	21.8 (13.7)	44.3 (29.4)	30.0 (18.5)
ÖV	Fahrtzeit [h]	12.3 (4.6)	12.4 (3.3)	13 (3.5)	10.9 (2.5)	29.1 (7.5)	11.2 (3.3)
	Zu- und Abgangszeit [h]	13.3 (12.1)	16.0 (9.4)	15.9 (11.9)	12.8 (9.8)	34.5 (30.9)	8.2 (9.3)
	Umsteigen [-]	1.3 (1.0)	1.1 (0.4)	1.5 (0.7)	1.3 (0.6)	4.1 (3.9)	1.3 (0.6)
	Wartezeit [h]	9.1 (13.1)	8.6 (6.3)	7.1 (6.4)	9.2 (7.8)	45.0 (52.6)	6.7 (5.3)
	Takt [h]	4.0 (2.4)	3.4 (1.1)	5.1 (3.1)	5.3 (1.7)	11.8 (5.7)	3.0 (0.9)
	Verspätung [h]	30.8 (11.5)	28.5 (8.2)	26.8 (7.9)	26.7 (9.8)	57.0 (19.3)	34.2 (10.9)

Die aus den Berechnungen für den MZMV 2015 resultierenden Verteilungen der Zeitwerte zeigen Abbildung 23 (für den MIV) und Abbildung 24 (für den ÖV).

Abbildung 23 Verteilung der Zeitwerte für den MZMV 2015 (MIV)

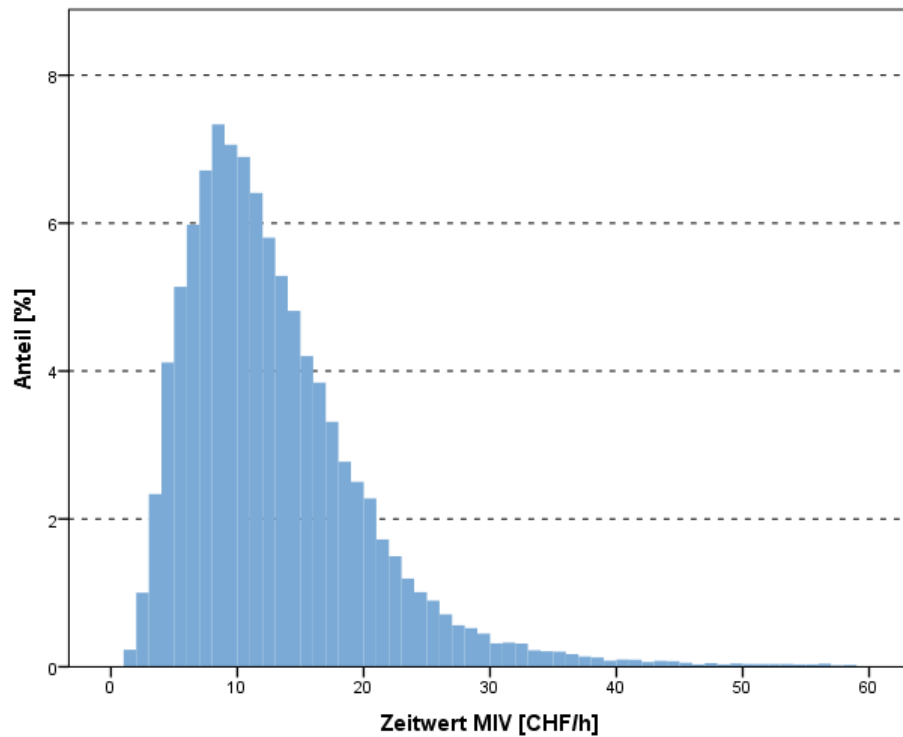


Abbildung 24 Verteilung der Zeitwerte für den MZMV 2015 (ÖV)

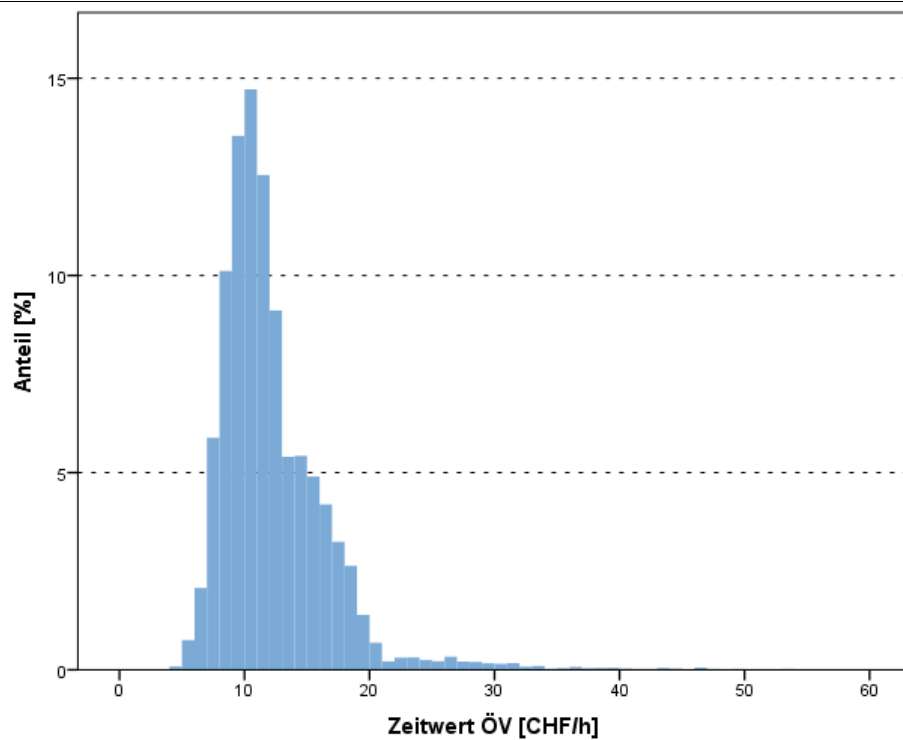


Tabelle 22 zeigt die gewichteten Mittelwerte der Zahlungsbereitschaften für die separaten Modelle der einzelnen regionalen Teilräume. Für deren Berechnung wurde jeweils nur der Teil der MZMV-Stichprobe ausgewählt, welcher dem betrachteten Teilraum entspricht, also die Wege der Bewohner der einzelnen Regionen. Tabelle 23 enthält die Auswertung der MIV- und ÖV-Zeitwerte, aufgeschlüsselt nach Regionen und Fahrtzwecken.

Hier zeigt sich wiederum, dass es in den Zahlungsbereitschaften zwar Differenzen (zwischen den Regionen und gegenüber den Gesamtmitteln) gibt, diese sich jedoch im Rahmen plausibler Schwankungen bewegen und die Modellergebnisse somit in entsprechenden Verkehrsmodellen angewandt werden können.

Angesichts der insgesamt recht geringen Differenzen (siehe auch Anhang A3), insbesondere bei den Zeitwerten, muss jedoch die Frage aufgeworfen werden, ob der Aufwand für den Einbezug regionaler Differenzierungen innerhalb eines Modells (z.B. des NPVM) auf der Ebene sämtlicher Angebotsgrössen gerechtfertigt ist. Allenfalls sollte hier auf das Gesamtmodell zurückgegriffen werden und nur bei den Konstanten oder einzelnen Kenngrössen eine regionale Betrachtung angestellt werden (siehe auch die Diskussion in Abschnitt 3.6).

Tabelle 22 Gewichtete Zahlungsbereitschaften [CHF/Einheit] für die Teilräume

Attribut		Region				
		Gesamtdatensatz (wie in Tabelle 21)	Analyseregion 1	Analyseregion 2	Analyseregion 3	GVM BE & SO
Fuss	Gehzeit [h]	6.0 (5.2)	4.3 (3.6)	4.7 (2.9)	10.2 (6.7)	5.1 (4.5)
Velo	Fahrtzeit [h]	9.9 (6.6)	8.6 (7.0)	10.0 (4.3)	12.6 (6.1)	9.0 (6.3)
MIV	Fahrtzeit [h]	13.2 (8.6)	13.2 (11.5)	11.9 (6.7)	14.4 (5.4)	12.9 (9.8)
	Parkplatzsuchzeit [h]	25.7 (9.8)	24.0 (2.9)	30.8 (6)	23 (14.7)	25.2 (7.3)
	Verspätung [h]	26.9 (17.6)	25.1 (20.9)	33.2 (17.8)	23.2 (10)	26.4 (19.0)
ÖV	Fahrtzeit [h]	12.3 (4.6)	11.6 (4.8)	11.1 (3.5)	15.6 (3.3)	11.8 (4.5)
	Zu- und Abgangszeit [h]	13.3 (12.1)	11.9 (11.1)	12 (8.7)	19.3 (15.6)	12.6 (11.7)
	Umsteigen [-]	1.3 (1.0)	1.5 (1.2)	1.1 (0.5)	1 (0.5)	1.4 (1.0)
	Wartezeit [h]	9.1 (13.1)	10.9 (15.9)	7.0 (5.0)	5.8 (6.0)	9.7 (13.3)
	Takt [h]	4.0 (2.4)	4.4 (1.9)	3.0 (2.6)	4 (3.3)	4.0 (2.2)
	Verspätung [h]	30.8 (11.5)	29.2 (10.5)	39.4 (10.8)	27.4 (11.0)	30.3 (11.1)

Tabelle 23 Gewichtete Zeitwerte [CHF/h] im MIV und ÖV nach Teilräumen und Fahrtzwecken

Verkehrsmittel	Fahrtzweck	Region				
		Gesamtdatensatz (wie in Tabelle 21)	Analyseregion 1	Analyseregion 2	Analyseregion 3	GVM BE & SO
MIV	Alle	13.2 (8.6)	13.2 (11.5)	11.9 (6.7)	14.4 (5.4)	12.9 (9.8)
	Arbeit	14.6 (6.6)	14.9 (8.4)	13.2 (5.9)	15.6 (4.8)	14.4 (7.3)
	Ausbildung	15.8 (7.8)	13.9 (9.8)	15 (6.4)	18.5 (6.2)	14.7 (9.3)
	Einkauf	10.3 (5.8)	9.9 (7.2)	9.3 (4.8)	11.6 (4.1)	9.9 (6.1)
	Nutzfahrt	24.6 (18.0)	33 (25.2)	19.7 (10.4)	19.8 (7.5)	28.0 (22.7)
	Freizeit	12.1 (6.9)	11.2 (8.3)	11.1 (6.2)	14.2 (5.1)	11.4 (7.1)
ÖV	Alle	12.3 (4.6)	11.6 (4.8)	11.1 (3.5)	15.6 (3.3)	11.8 (4.5)
	Arbeit	12.4 (3.3)	11.3 (2.6)	10.9 (1.2)	17.2 (1.8)	11.9 (3.2)
	Ausbildung	13.0 (3.5)	14.1 (4.0)	9.8 (1.0)	13.4 (1.7)	13.4 (3.7)
	Einkauf	10.9 (2.5)	11.2 (2.9)	9.6 (1.2)	11.2 (1.5)	10.9 (2.6)
	Nutzfahrt	29.1 (7.5)	31.5 (8.9)	26.8 (3.5)	25.0 (3.0)	29.9 (7.7)
	Freizeit	11.2 (3.3)	10 (2.7)	10.6 (1.3)	15.7 (1.9)	10.5 (3.0)

3.5.2 Nachfrageelastizitäten

Ein weiteres Merkmal für die Beurteilung der Plausibilität der Ergebnisse eines Entscheidungsmodells sind die mit den resultierenden Parametern berechneten Nachfrageelastizitäten. Diese werden für die Fahrzeit- und Kostenvariablen bestimmt. Eine Elastizität gibt an, wie sich die Veränderung einer Einflussvariable auf die abhängige Variable auswirkt. 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 Preiselastizität von -0.3 in der Verkehrsmittelwahl für eine Verringerung der Wahrscheinlichkeit um 3%, dass eine Person das entsprechende Verkehrsmittel wählt, wenn sich dessen Kosten um 10% erhöhen. Dies kann auch direkt auf die gesamte Nachfrage eines Segments angewandt werden. Eine Elastizität wird wie folgt berechnet:

$$E_{i,x} = \frac{\delta P_i / P_i}{\delta x / x} = \frac{\delta P_i}{\delta x_i} \cdot \frac{P_i}{x}$$

P_i Auswahlwahrscheinlichkeit von Alternative i

x Einflussvariable

Beim hier vorliegenden Modell mit Interaktionstermen ergibt sich aus der Berechnung der entsprechenden Ableitungen:

$$E_{i,Fahrtzeit} = \beta_{Fahrtzeit,i} \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Fahrtzeit,i}} \cdot (1 - P_i) \cdot Fahrtzeit,i$$

$$E_{i,Kosten} = \beta_{Kosten} \cdot \left(\frac{Distanz}{20} \right)^{\lambda_{Distanz,Kosten,i}} \cdot \left(\frac{Einkommen}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen,Kosten}} \cdot (1 - P_i) \cdot Kosten,i$$

Hier wird ersichtlich, dass für Elastizitäten nie pauschale Werte angenommen werden sollten, sondern die für eine bestimmte Fragestellung geltende Elastizität immer von den betrachteten Wegen, deren Längen und Fahrzeiten sowie den Modal-Split-Verteilungen abhängt. Die nachfolgenden Abbildungen geben einen Überblick über typische Verläufe in Abhängigkeit der Distanz, welche aus den Ergebnissen der hier gezeigten Modelle resultieren. Es werden die Nachfrageelastizitäten für folgende Variablen gezeigt (wiederum jeweils für das nicht differenzierte und das fahrtzweckspezifische Modell):

- Fahrzeit MIV (Abbildung 25);
- Fahrzeit ÖV (Abbildung 26);
- Treibstoffkosten MIV (Abbildung 27);
- Billettkosten ÖV (Abbildung 28).

Abbildung 25 Verläufe der Nachfrageelastizitäten für die Fahrtzeit (MIV)

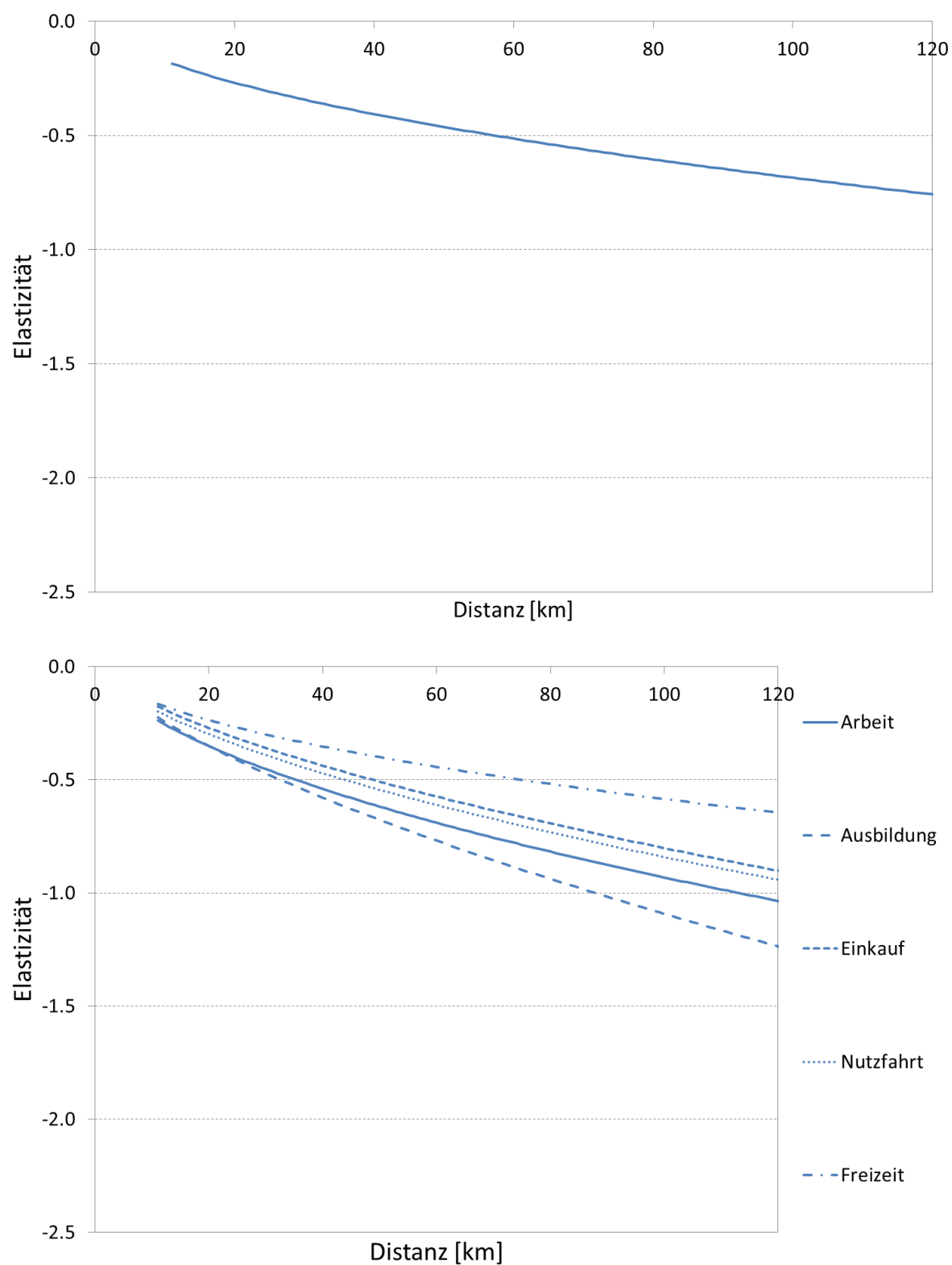


Abbildung 26 Verläufe der Nachfrageelastizitäten für die Treibstoffkosten (MIV)

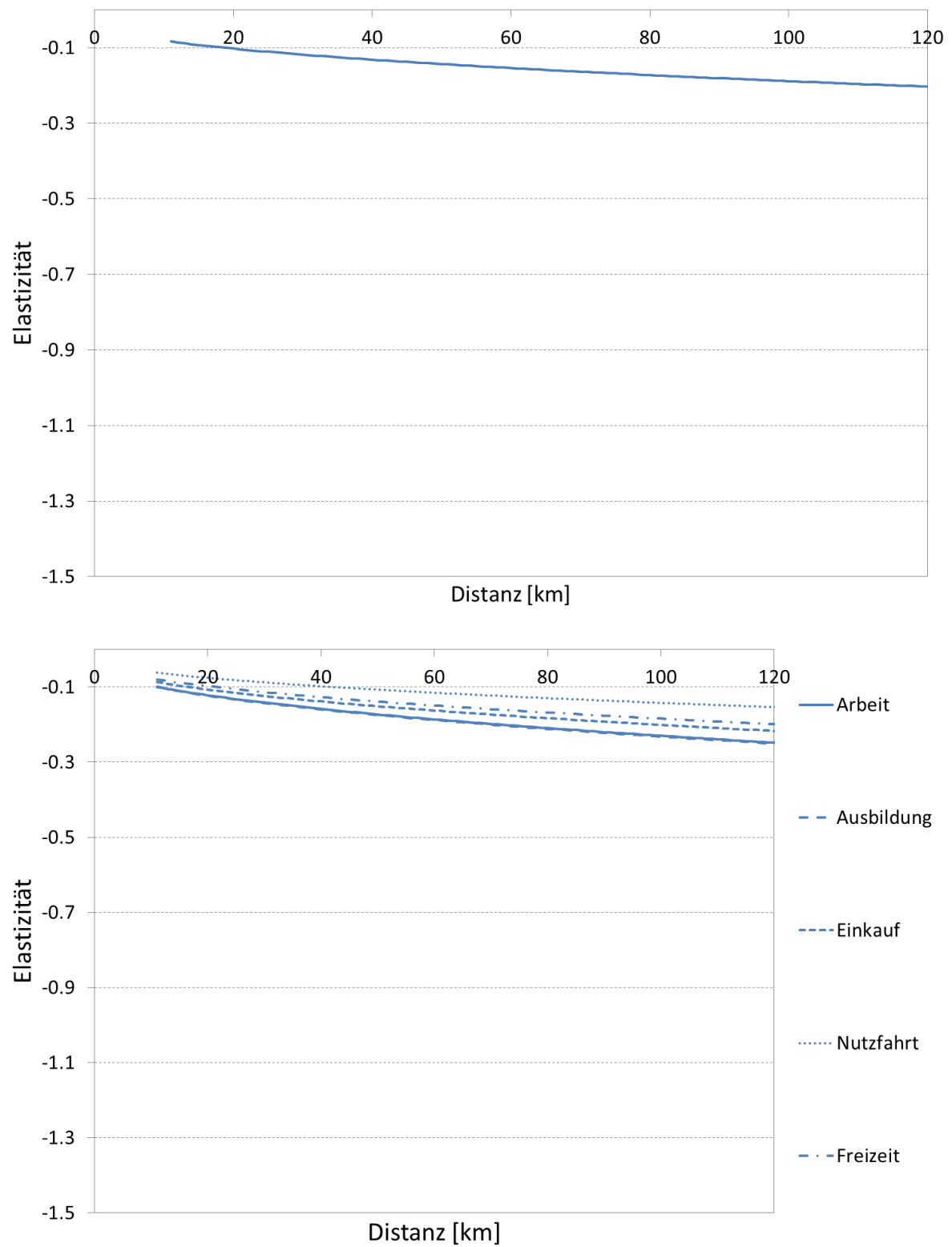


Abbildung 27 Verläufe der Nachfrageelastizitäten für die Fahrtzeit (ÖV)

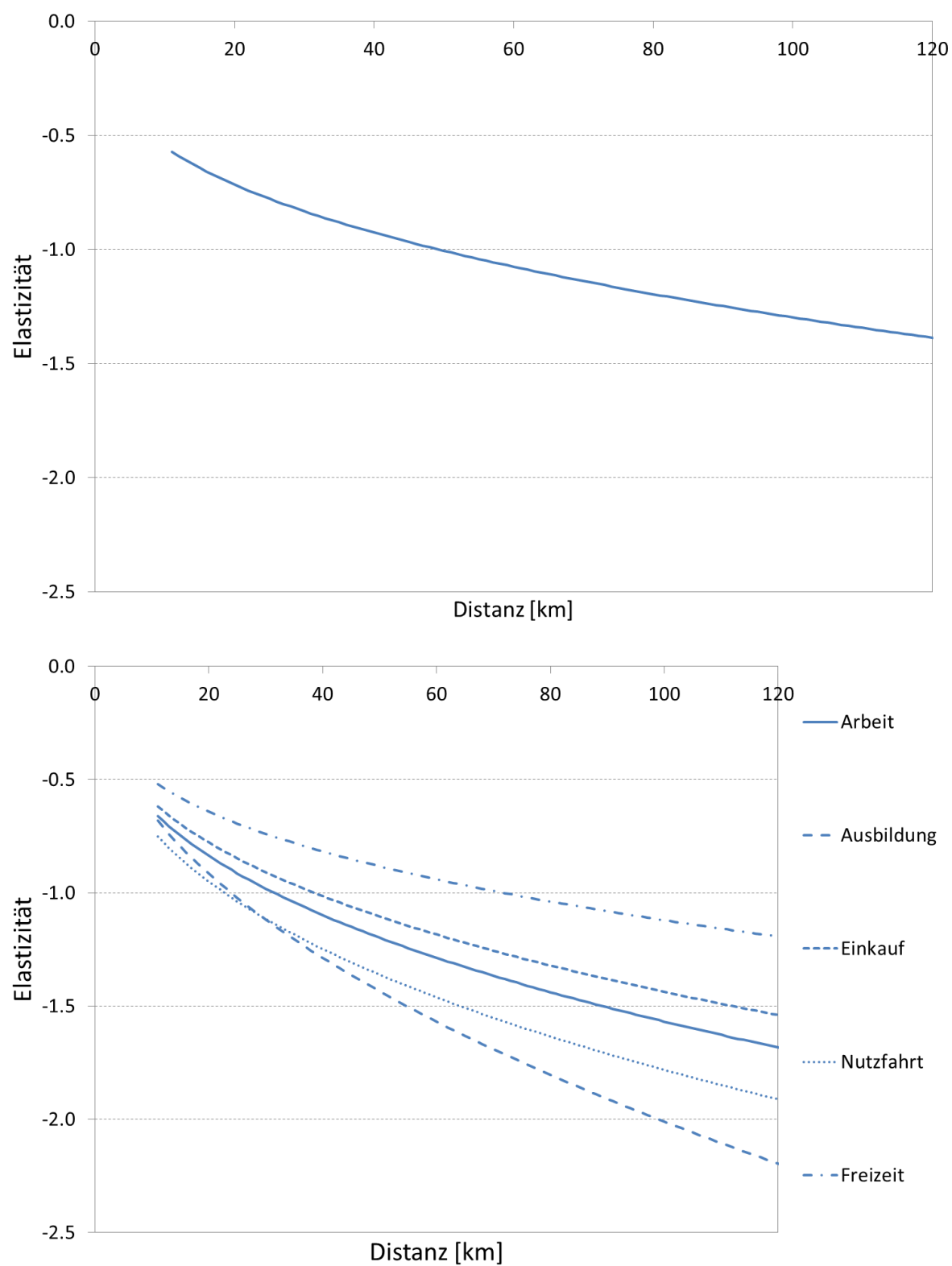
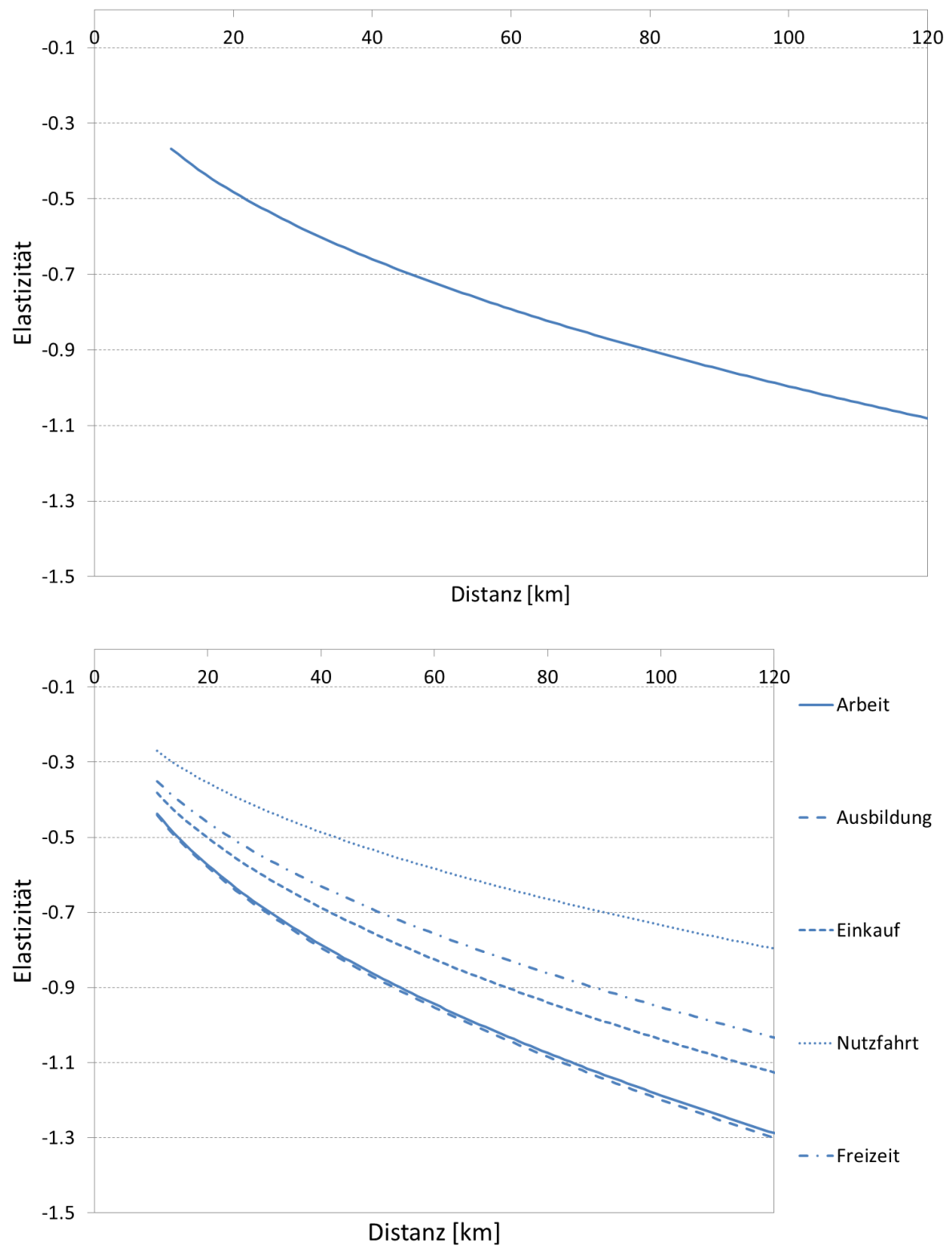


Abbildung 28 Verläufe der Nachfrageelastizitäten für die Billettkosten (ÖV)



Um einen weiteren Eindruck über die Plausibilität der Elastizitäten im Gesamtkontext zu gewinnen, wurde eine entsprechende Auswertung mit dem NPVM (DWV 2010) durchgeführt. Hierbei wurden für jede Quelle-Ziel-Beziehung im MIV und ÖV in Abhängigkeit von deren Weglänge, Fahrtzeit bzw. Kosten und Bimodal-Split-Anteil unter Anwendung der obenstehenden Formeln die Nachfrageelastizitäten für die Zeiten und Kosten der beiden Verkehrsmittel berechnet. Hierbei wurden die Parameter des nicht-fahrtzweckspezifischen Modells für den Gesamtdatensatz (siehe Tabelle 13) verwendet. Um zu einem repräsentativen Mittelwert zu gelangen, wurden die Werte anschliessend über die Fahrtenanzahlen je Quelle-Ziel-Beziehung gewichtet und dann auf ein Gesamtmittel hochgerechnet. Die Mittelwerte der Verteilungen sind als Übersicht in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24 Gewichtete Nachfrageelastizitäten für Wege des NPVM 2010 (DWV)

Attribut		Nachfrageelastizität
MIV	Fahrtzeit	-0.08
	Kosten	-0.06
ÖV	Fahrtzeit	-0.76
	Kosten	-0.52

Hier ist ersichtlich, dass die Elastizitäten im ÖV deutlich tiefer liegen als jene im MIV. Dies ist bedingt durch die verschiedenen Komponenten, welche neben den Parametern in die Formel für die Berechnung der Elastizitäten einfließen:

- die Werte der betrachteten Einflussgrößen (Zeiten und Kosten): diese sind im ÖV tendenziell höher als im MIV (die Zeiten z.B. im Mittel um ca 70%);
- die Bimodal-Split-Anteile beider Verkehrsmittel: diese sind im MIV insgesamt deutlich höher als im ÖV (insgesamt liegt das Verhältnis etwa bei 83% MIV gegenüber 17% ÖV), wodurch der Term $(1 - P_i)$ in der Formel im ÖV im Mittel ca. 5-mal höher ist als im MIV.

Hier wird erneut deutlich, dass Elastizitäten immer stark von den Gegebenheiten bezogen auf die betrachtete Fragestellung und auf das Gesamtpotenzial der Verkehrsmittel abhängig sind und pauschale Werte nie unbesehen übernommen werden sollten. Falls die volle Anwendung eines Verkehrsmodells für die Berechnung von Nachfrageeffekten nicht möglich ist, sollte bei der Anwendung von Elastizitäten sehr sorgfältig darauf geachtet werden, dass keine fehlerhaften Werte eingesetzt werden und jeweils auch mit Sensitivitätsanalysen gerechnet wird.

Die aus den Berechnungen resultierenden Verteilungen (gewichtet über die Anzahl Fahrten je Quelle-Ziel-Beziehung) der Elastizitäten sind als Histogramme in den folgenden Abbildungen dargestellt: Abbildung 29 für die Fahrtzeit im MIV, Abbildung 30 für die Treibstoffkosten im MIV, Abbildung 31 für die Fahrtzeit im ÖV und in Abbildung 32 für die Billettkosten im ÖV.

Abbildung 29 Verteilung der Nachfrageelastizitäten für die Fahrtzeit (MIV)

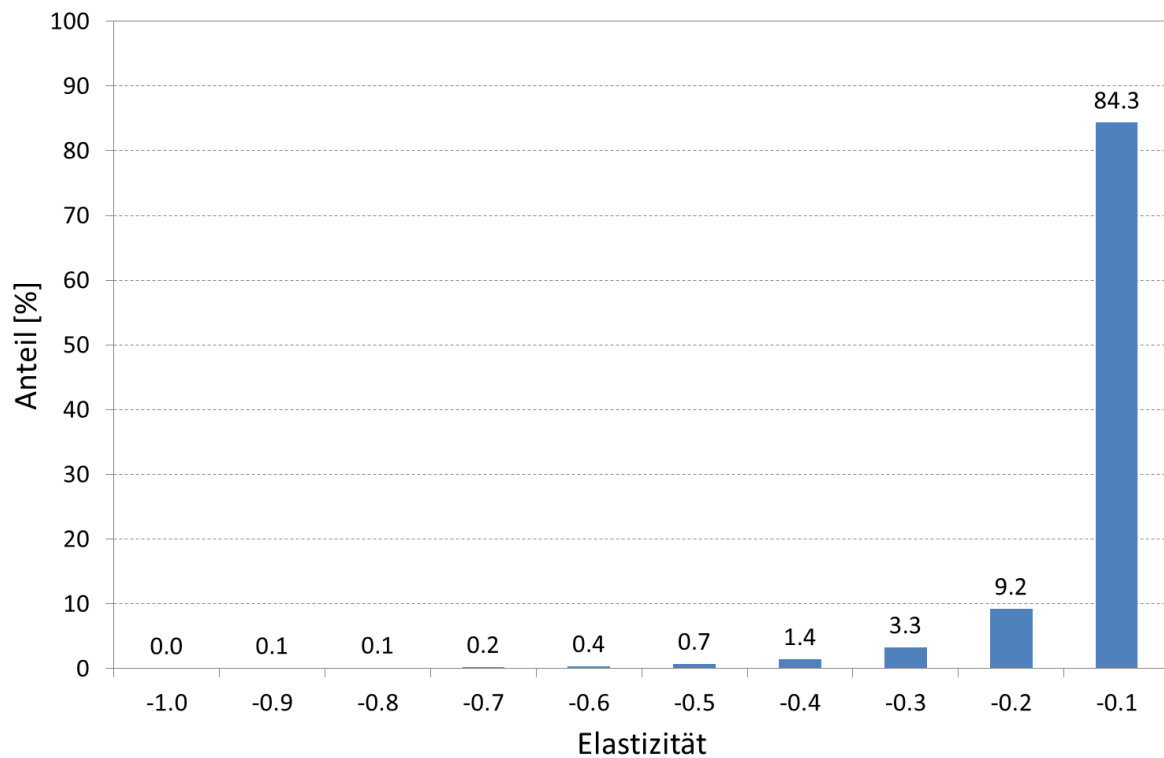


Abbildung 30 Verteilung der Nachfrageelastizitäten für die Treibstoffkosten (MIV)

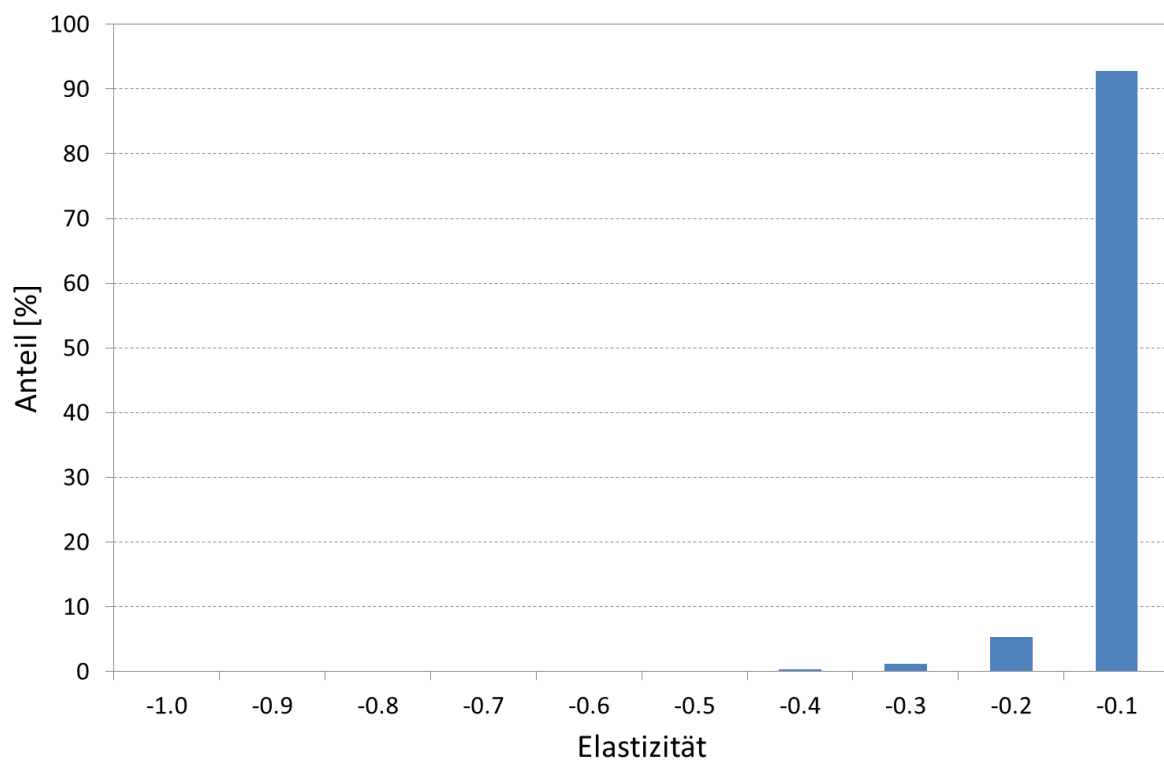


Abbildung 31 Verteilung der Nachfrageelastizitäten für die Fahrtzeit (ÖV)

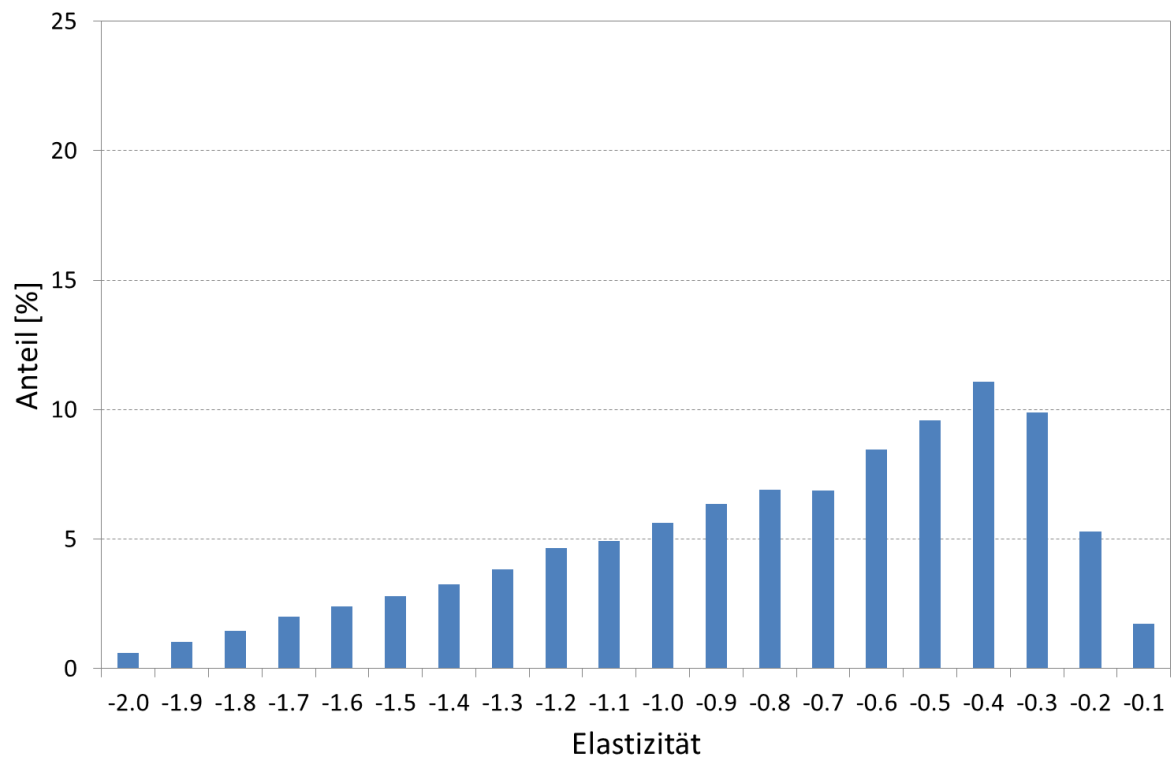
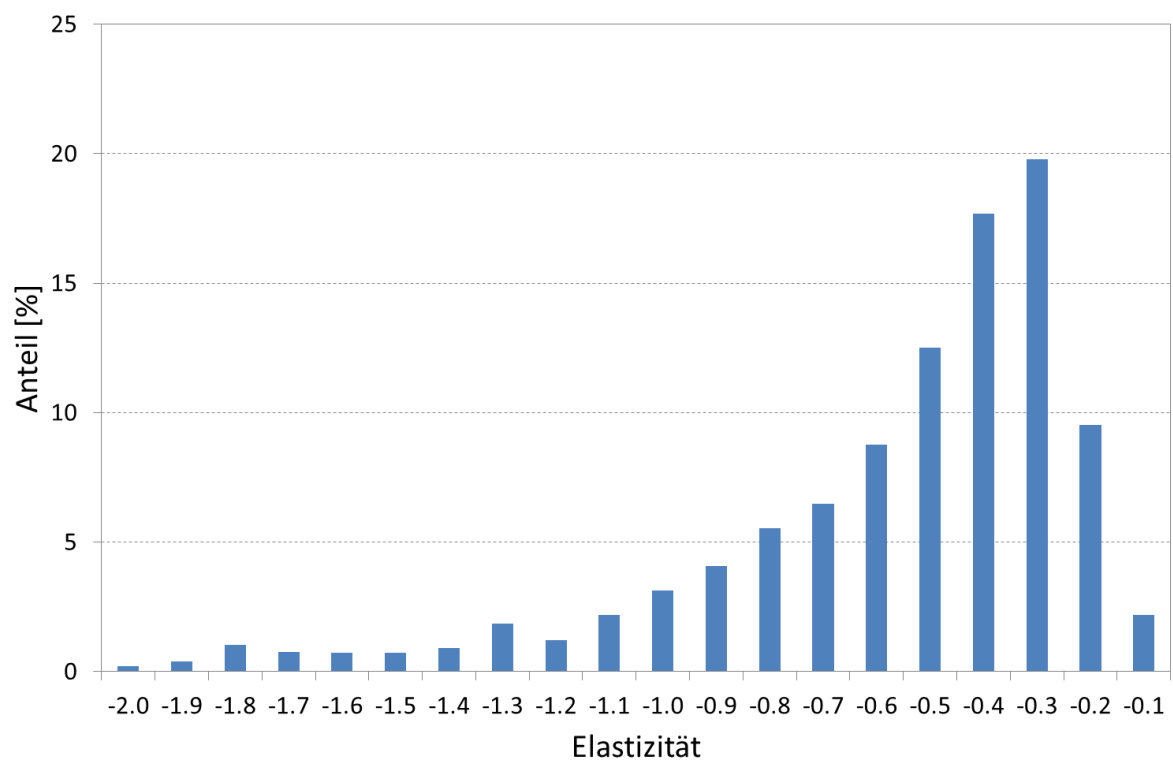


Abbildung 32 Verteilung der Nachfrageelastizitäten für die Billettkosten (ÖV)



3.6 Einsatz in Verkehrsmodellen

3.6.1 Formulierung der Nutzenfunktionen

Angesichts der höheren Erklärungskraft der Modelle mit Interaktionstermen und deren dämpfenden Eigenschaften auf die Nachfrageelastizitäten bei langen Wegen (siehe Abschnitt 0) werden diese für den Einsatz in Nachfragemodellen (z.B. des neuen NPVM) empfohlen. Deren Einsatz bedingt zwar eine etwas komplexere Modellstruktur, diese ist aber durch die Verbesserung der abgebildeten Feinheiten im Verkehrsverhalten gerechtfertigt.

Die gängigen Nachfragemodelle bieten Raum für eine flexible Formulierung der Widerstandsfunktionen der einzelnen abgebildeten Verkehrsmittel. Falls die Interaktionsterme zum Einsatz kommen sollen (und nicht auf vereinfachte lineare Modelle zurückgegriffen wird), müsste für die vollumfängliche Abbildung der nicht-linearen Nutzenfunktionen im Nachfragemodell allenfalls auf die Bildung von Hilfsmatrizen zurückgegriffen werden, um die Interaktionsterme korrekt darstellen zu können. Hier sollte jeweils der gesamte Interaktionsterm für die Distanz-Kenngrössenmatrix in einem vorgängigen Verfahrensschritt berechnet werden. Diese Hilfsmatrizen können dann mit den dazugehörigen Angebotskenngrössenmatrizen (Fahrzeiten, Kosten etc.) multipliziert werden, um die kompletten Terme für den Einsatz im Modell zu erhalten.

Der Einbezug der soziodemographischen Eigenschaften kann in einem Verkehrsmodell über eigens dafür erstellte Vektoren oder Matrizen erfolgen. Diese können pro Verkehrszelle mit den entsprechenden Nutzenparametern verrechnet werden, um den Beitrag eines Attributs (z.B. des Mobilitätswerkzeugbesitzes) auf die Auswahlwahrscheinlichkeiten der entsprechenden Verkehrsmittel abzubilden. Falls ein solcher Einbezug nicht möglich oder nicht erwünscht wird, kann ohne Verlust an Erklärungskraft der restlichen Parameter auch darauf verzichtet werden. In diesem Fall fließen die dann nicht mehr explizit erklärten Effekte der Soziodemographie in die alternativenspezifischen Konstanten ein, welche im Verkehrsmodell jedoch nicht fixiert, sondern bei der Kalibration auf die korrekten Modal-Split-Anteile neu kalibriert werden. Bei Prognosen könnten in diesem Fall allerdings die Effekte von Veränderungen im Mobilitätswerkzeugbesitz oder der Altersstruktur natürlich nicht abgebildet werden.

3.6.2 Differenzierung nach Fahrtzwecken

Auch der Einbezug der Fahrtzweckabhängigkeiten der Bewertungsparameter im Entscheidungsmodell hat einen Zuwachs bei der Modellqualität gebracht. Aus diesem Grund sollten

auch diese, sofern möglich, in künftigen Nachfragemodellen berücksichtigt werden. Da dies im NPVM und kantonalen Verkehrsmodellen bereits heute der Fall ist, führt dieser Schritt zu keinen weiteren Anpassungen der Modellstruktur. Für jede in einem Verkehrsmodell abzubildende Quelle-Ziel-Gruppe (QZG; Paare von Aktivitäten) sollten die für den entsprechenden Zweck geschätzten Modellparameter aus Tabelle 12 (Seite 55) eingesetzt werden. So können die Ziel- und Verkehrsmittelwahleffekte von Angebotsveränderungen nach Fahrtzweck getrennt berechnet werden, was zu einer verbesserten Abbildung des Gesamtverkehrsgeschehens führt.

3.6.3 Differenzierung nach Analyseregionen

Etwas ambivalenter fällt die Beurteilung des Einsatzes von zusätzlich nach den gebildeten Analyseregionen differenzierten Nutzenfunktionen aus. Der *Likelihood Ratio Test* beurteilt die Beiträge der differenzierten Modelle als signifikant: der resultierende Wert für die *Likelihood Ratio* (Summe der *Log-Likelihoods* der regionalen Modelle vs. Gesamtmodell) beträgt 1'054, was selbst bei der hohen Anzahl an Freiheitsgraden (Differenz der Anzahl geschätzter Parameter) von 140 vom χ^2 -Test (NIST, 2013) noch als signifikant ausgewiesen wird.

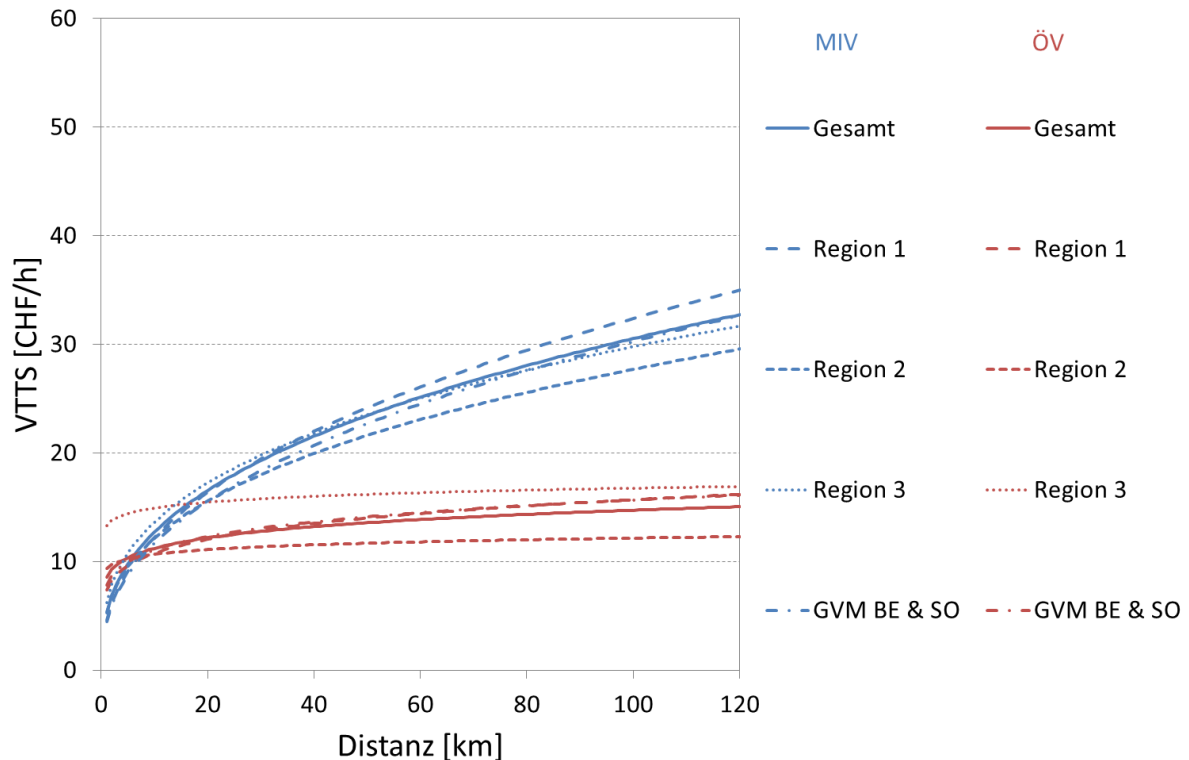
Wie Tabelle 22 (Seite 92) zeigt, sind bei den Mittelwerten der Zahlungsbereitschaften zwar Unterschiede zwischen den Regionen erkennbar. Die Differenzierung der Entscheidungsmodelle führt aber nur zu geringen Differenzen in den Verläufen der relevanten Kenngrössen, wie aus Abbildung 33 (Seite 104) exemplarisch für die Zeitwerte im MIV und ÖV ersichtlich ist.

Die Abweichungen zwischen den Regionen liegen im Bereich bis zu ca. 2.- CHF/h. Die etwas grösseren Differenzen in den Mittelwerten sind grösstenteils auf die unterschiedlichen Verteilungen der Interaktionsgrössen (Weglänge und Einkommen) in den Regionen zurückzuführen und würden auch bei einer Anwendung gemeinsamer Parameter bestehen bleiben.

Angesichts der Tatsache, dass die regionale Differenzierung des Nachfragemodells einen bedeutenden Einschnitt in die Struktur des Nachfragemodells bedeuten würde und der Aufwand für dessen Aufbau und spätere Anwendungen deutlich komplexer sowie somit zeit- und auch kostenaufwändiger werden würde, sollte ein Entscheid für deren Übernahme sehr sorgfältig abgewägt werden. Sämtliche Kenngrössenmatrizen und alle Widerstandsfunktionen müssten hier jeweils in dreifacher Ausführung vorgehalten und eingegeben werden. Sehr aufwändig dürfte sich denn auch die Kalibration des Modells (auf die Modal-Split-Verteilungen und Distanzverteilungen) gestalten, welche ebenfalls regional differenziert vorgenommen werden

müsste. Wie erwähnt würden dadurch auch Modellanwendungen und die Verwendung der Prognosemodelle deutlich komplexer und aufwändiger.

Abbildung 33 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit nach Analyseregionen



Seitens der Verfasser dieses Berichts ergeht aus den genannten Gründen hier die Empfehlung, aufgrund der nur geringen Verbesserung der Abbildung des Verkehrsverhaltens und der beträchtlichen Zunahme an Modellkomplexität auf diese zusätzliche Differenzierungsebene zu verzichten. Für regionale oder kantonale Modelle sollte jedoch nach Möglichkeit jeweils ein eigener Parametersatz für die entsprechende Stichprobe geschätzt werden und im Verkehrsmodell zum Einsatz kommen. Wie Abbildung 33 zeigt, ermöglicht dies im Fall des Perimeters der GVM BE & SO (zusammengesetzt aus Teilen aller drei Analyseregionen) eine feinere Differenzierung der Werte, wenngleich diese ebenfalls nahe am Gesamtmittel liegen. Hier steigt der Aufwand durch die Verwendung der im Vergleich zum nationalen Mittel leicht unterschiedlichen Werte nicht, da die Bewertung immer noch nur für eine einzelne Matrix und einen einzelnen Satz an Parametern durchgeführt werden muss.

Von den hier getätigten Überlegungen nicht tangiert ist eine mögliche feinere Differenzierung der Verkehrserzeugung, also der Berechnung des Gesamtaufkommens. Da diese in den Verkehrsmodelle losgelöst von der Ziel- und Verkehrsmittelwahl durchgeführt wird und die Berechnung der spezifischen Verkehrsaufkommensraten auf Grundlage des MZMV 2015 nicht

nach Verkehrsmitteln getrennt (und somit auf der Grundlage einer grösseren Stichprobe) erfolgt, sind die Modellersteller unabhängig von der Differenzierung der Bewertungsparameter weiterhin flexibel in der Aufteilung der entsprechenden Bezugspersonengruppen und räumlichen Ebenen; die Erzeugung kann also z.B. nach Mobilitätswerkzeugbesitz, Alter, Teilregionen, Gemeindetypen und weiteren Kenngrössen differenziert werden (siehe dazu auch ARE, 2017).

4 Weiterführende Modelle

In diesem Kapitel werden drei weitere Themen aufgegriffen und vertieft analysiert. Diese Auswertungen sind Gegenstand des letzten Arbeitspakets (AP) des vorliegenden Projektes:

- AP 4.1: Die vergleichbare Durchführung der SP-Befragung in den Jahren 2010 und 2015 eröffnet die Gelegenheit zu prüfen, ob die Parameter des Verkehrsverhaltens gleich geblieben sind. Falls ja, erlaubt dies die gemeinsame Schätzung von Parametern für 2010 und 2015 und eine aus statistischer Sicht effizientere Auswertung. Ausserdem wird überprüft, inwieweit sich die Bewertung der Angebotsvariablen (z.B. Reisezeit) und deren Abhängigkeit von Distanz und Einkommen sich verändert haben.
- AP 4.2: Die Einstellungsfragen im Mikrozensus 2010 und 2015 geben Hinweise auf verkehrspolitische Einstellungen, die das Routen- und Verkehrsmittelwahlverhalten beeinflussen könnten. *Latent-variable*-Modelle erlauben es, beobachtbare Eigenschaften (z.B. Wohnort und Soziodemographie) mit den Einstellungen zu verknüpfen, die dann wiederum einen Effekt auf Verkehrsverhalten haben können. Die Analyse dieser Einstellungen ist unter anderem hilfreich, um das Verhalten verschiedener Bevölkerungsgruppen in Bezug auf aktuelle verkehrspolitische Massnahmen besser zu verstehen.
- AP 4.3: Das dritte Thema befasst sich mit detaillierten Zusatzauswertungen für die Verkehrsmittel- und Routenwahl im Bahn- und Fernverkehr für die SP-Befragung 2015. Eine Differenzierung von Situationen mit und ohne die Verfügbarkeit einer Bahn-Alternative vermittelt ein besseres Verständnis für die unterschiedliche Bewertung von Angebotsvariablen, wobei das Hauptinteresse in einem komparativen Vor- oder Nachteil der Bahn gegenüber anderen Verkehrsmitteln liegt.

Für die folgenden Arbeitspakete sind die Annahmen, z.B. zur Theorie der MNL Modellschätzung, der Nutzenfunktionen und der Bildung (nicht-linearer) Interaktionen, identisch mit jenen in Abschnitt 2 und 3, wo sie bereits ausführlich beschrieben wurden. Alle Modelle wurden mit der *open-source* Statistiksoftware *R* geschätzt (CMC, 2017), welche von den Projektbearbeitern am IVT verwendet und weiterentwickelt wird. Für alle Modelle wurden clusterrobuste Standardfehler verwendet (Baltagi, 2010), um für die wiederholten Beobachtungen eines Befragten (Panelstruktur) und dessen Auswirkung auf die Schätzgenauigkeit zu kontrollieren. Dies hat keinen Effekt auf die Werte der Parameter, führt jedoch typischerweise zu grösseren Standardfehlern und somit zu einer konservativeren Sichtweise der Resultate.

4.1 Zeitvergleich

Ein Zeitvergleich der Modellkoeffizienten und Bewertungsindikatoren erlaubt Rückschlüsse auf die Stabilität der Parameter und ermöglicht detailliertere statistische Auswertungen und Aussagen. Mit einer *gepoolten* Schätzung (Train, 2003) – die gemeinsame Schätzung mehrerer Datensätze zur Verkehrsmittel- und Routenwahl aus dem Jahre 2010 und 2015 – kann evaluiert werden, ob und wie sich die Parameter der verkehrlichen Angebotsvariablen, respektive die Bewertung von Attributen wie z.B. Reisezeit und Kosten, über die Zeit verändert hat. Ein solches *Pooling* würde im vorliegenden Fall nahezu zu einer Verdoppelung der Stichprobe führen. Auch in anderen Studien wurde das Verfahren der *gepoolten* Schätzung mehrerer SP- und/oder RP-Datensätze eingehend getestet und dokumentiert (z.B. Hensher und Bradley, 1993; Hensher *et al.*, 1999; siehe auch Abschnitt 2.2.6), und erfolgreich für die Schätzung von Schweizer VTTS Werten angewandt (z.B. Axhausen *et al.*, 2007).

Ein ähnlicher Anwendungsfall wie in dieser Studie ergab sich beispielsweise in Axhausen *et al.* (2001), wo untersucht wurde, ob sich das Verhalten in der Verkehrs- und Routenwahl zwischen zwei Zeitpunkten signifikant unterscheidet. Es konnte jedoch kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (die Zeitdifferenz betrug dort auch nur drei Monate, und die Analyse wurde für dieselbe Stichprobe durchgeführt). Der hier gewählte Ansatz, wobei jeweils zwei Parameter (in diesem Beispiel die Unterscheidung zwischen zwei unterschiedlichen Erhebungszeitpunkten) für dieselbe Angebotsvariable auf deren Unterschiede im Schätzwert und dessen statistische Signifikanz getestet werden, wird standardmässig in der Ökonometrie verwendet (siehe die einführenden Standardwerke wie z.B. Maddala und Lahiri, 2009).

Aus statistischer Sicht ermöglicht ein *gepoolter* Datensatz weitergehende und in erster Linie effizientere, mit kleinerer Unsicherheit behaftete, Auswertungen:

- Modellparameter, die nicht signifikant unterschiedlich zwischen den beiden Erhebungen sind, können zusammengefasst geschätzt werden, und führen – aufgrund der grösseren Gesamtstichprobe – zu einer erhöhten Schätzgenauigkeit und/oder erlauben Aussagen zu kleineren Teilräumen/Untergruppen.
- Modellparameter, die signifikant unterschiedlich sind, können nach wie vor getrennt betrachtet respektive geschätzt werden.

Eine solche Vorgehensweise kann für verschiedene Interessengruppen von Interesse sein (z.B. Kantone, Agglomerations- und/oder Sprachregionen), da es durch das Hinzufügen weiterer Beobachtungen möglich sein wird, für diese Gruppen ein separates Modell effizient zu schätzen. Eines der Ziele der folgenden Analyse ist es, die Methodik einer solchen Vorgehensweise

zu beschreiben und anschliessend zu zeigen, welche Parameter für die Bewertung von Angebotsvariablen (Reisezeit, Kosten, Umsteigevorgänge, etc.) sich zusammenfassen lassen und welche weiterhin separat betrachtet werden sollten. Die daraus folgenden Resultate werden nur für die Gesamtstichprobe, also die Schweiz als Ganzes, gelten. Für eine gesonderte Betrachtung (z.B. für einen Kanton) müsste die Analyse für diese Untergruppe der Gesamtstichprobe von Grund auf wiederholt und sich erneut die Frage gestellt werden, welche Parameter zusammengefasst und welche gesondert geschätzt werden sollen. Das Vorgehen einer solchen Methode wird in diesem Abschnitt im Detail erklärt.

Während der erste Teil dieses Kapitels hauptsächlich die Methodik für das Zusammenfassen von Datensätzen und das Testen von Unterschieden in den geschätzten Parametern beschreibt, wird im zweiten Teil je ein Modell für die beiden Erhebungszeitpunkte separat geschätzt, um die Unterschiede im Verhalten, sprich in den Bewertungsindikatoren und deren Abhängigkeiten von Distanz und Einkommen, aufzuzeigen. Obwohl auch in den Modellen enthalten, wird auf die unterschiedlichen Effekte soziodemographischer Variablen wie Alter und Geschlecht hier nicht im Detail eingegangen. Diese diene jedoch als Kontrollvariablen, um die Ergebnisse mit jenen aus Abschnitt 3.3.1 vergleichbar zu halten.

4.1.1 Datengrundlage und Methodik

Die Grundlage für den Zeitvergleich der beiden Datensätze in Bezug auf die effiziente Parameterschätzung bildet die lineare Nutzenfunktion ohne soziodemographische Variablen, welche in Abschnitt 3.2.1 ausführlich beschrieben ist. In einem ersten Schritt soll untersucht werden, welche Parameter der Angebotsvariablen unterschiedlich sind, um in einem zweiten Schritt die Unterschiede in den nicht-linearen Effekten zu erfassen, wobei für die erfolgreiche Durchführung des zweiten Schritts die nicht signifikant unterschiedlichen Parameter des linearen Modells vorzugsweise zusammengefasst werden sollten. Der Grund dafür sind Identifikationsprobleme (z.B. Train, 2003): das Datenpooling und die damit verbundene Schätzung von unterschiedlichen Skalierungsparametern funktionieren nur, wenn in unserem Fall mindestens ein Parameter für beide Erhebungszeitpunkte gemeinsam geschätzt wird (da wir in den Unterschieden der Angebotsvariablen interessiert sind, wurden die Skalenparameter der beiden RP-Datensätze gleichgesetzt und auf eins normiert). In praktischen Anwendungen ist es üblich, dass die meisten Parameter derselben Variablen (typischerweise sogar alle; vgl. Hensher *et al.*, 2008) gemeinsam über alle Datensätze hinweg geschätzt werden, wobei ausschliesslich die Skalierung der verschiedenen Datensätze berücksichtigt wird. Zu viele unterschiedliche Parameter und die gleichzeitige Kontrolle von Skalierungsunterschieden führen typischerweise zu einer instabilen Schätzung, speziell bei nicht-linearen Interaktionstermen.

Um die *gepoolte* Schätzung besser zu verstehen, betrachten wir die unterschiedlichen Datenquellen der SP-Befragungen 2010 und 2015:

- RP Verkehrsmittelwahl 2010 und 2015 (Zu Fuss, Velo, MIV, ÖV);
- SP Verkehrsmittelwahl 2010 und 2015 (Zu Fuss, Velo, MIV, ÖV);
- SP Routenwahl MIV 2010 und 2015 (Alternative 1, Alternative 2);
- SP Routenwahl ÖV 2010 und 2015 (Alternative 1, Alternative 2).

Man beachte, dass in beiden Erhebungen zusätzlich zwischen zwei Attributsätzen unterschieden werden muss, welche (unter gegenseitigem Ausschluss) zusätzliche Angebotsvariablen beinhalten, wie z.B. Verspätungsindikatoren, ÖV-Auslastung und weitere Attribute. Dies führt dazu, dass Parameter für gewisse Angebotsvariablen, die nur in einer der beiden Erhebungen abgefragt wurden, nicht gepoolt geschätzt werden können. Dies betrifft die Variablen ÖV- und MIV-Verlässlichkeit (nur 2010), ÖV- und MIV-Verspätungswahrscheinlichkeit und -dauer (nur 2015), Anzahl Zwischenhalte ÖV (nur 2010) und ÖV-Hauptverkehrsmittel (nur 2015). Für weitere Informationen, Wertebereiche und eine generelle Übersicht der Variablen, welche in der SP-Befragung 2010 abgefragt wurden, wird auf den entsprechenden Schlussbericht (ARE, 2012) verwiesen.

Unter Vernachlässigung der expliziten Unterscheidung der beiden Attributsätze führt das *Poolen* beider Datensätze zu total acht verschiedenen Datenquellen, für welche je ein Skalenparameter geschätzt werden muss (zwei Skalenparameter, in diesem Fall für RP Verkehrsmittelwahl 2010 und 2015, müssen auf Grund von Identifikationszwecken auf eins normiert werden), um für die unterschiedlichen datengenerierenden Prozesse (relativ zur RP Verkehrsmittelwahl beider SP-Befragungen) respektive deren Varianz zu kontrollieren. Total werden nun 119'573 Verkehrsmittel- und Routenwahlentscheidungen von 9'704 Personen analysiert (SP-Befragung 2010: 3'605 Personen, 52'208 Entscheidungssituationen; SP-Befragung 2015: 6'099 Personen, 67'365 Entscheidungssituationen).

Basierend auf der linearen Nutzenfunktion in Abschnitt 3.2.1 wird nun im ersten Schritt für jede Angebotsvariable je ein erhebungsspezifischer Parameter geschätzt (z.B. Fahrtkosten 2010, Fahrtkosten 2015), inklusive aller alternativen-spezifischen Konstanten. Somit kann, *ceteris paribus*, beispielsweise die negative Wirkung der Fahrtkosten im Jahr 2010 einen anderen Einfluss auf die Wahlwahrscheinlichkeiten haben als im Jahr 2015. In einem zweiten Schritt wird dann zusätzlich für Unterschiede in den nicht-linearen Interaktionstermen kontrolliert, dies nachdem die nicht-signifikant unterschiedlichen Angebotsvariablen zusammengefasst wurden. Dieser Modellierungsansatz wird in den nachfolgenden Gleichungen am Bei-

spiel der Verkehrsmittel- und Routenwahl für die ÖV-Alternativen anhand der Fahrtkosten für das nicht-lineare Modell einfach und übersichtlich demonstriert:

$$\begin{aligned}
 V_{OEV, RP, 2010} &= \text{Skalenparameter}_{RP, 2010} \cdot \left(\text{Konstante}_{OEV, 2010} + \beta_{Fahrtkosten OEV, 2010} \cdot \text{Fahrtkosten}_{OEV, 2010} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz, Fahrtkosten OEV, 2010}} \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen, Fahrtkosten OEV, 2010}} + \dots \right) \\
 &= 1 \cdot \left(\text{Konstante}_{OEV, 2010} + \beta_{Fahrtkosten OEV, 2010} \cdot \text{Fahrtkosten}_{OEV, 2010} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz, Fahrtkosten OEV, 2010}} \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen, Fahrtkosten OEV, 2010}} + \dots \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{OEV, SP-VMW, 2010} &= \text{Skalenparameter}_{SP-VMW, 2010} \cdot \left(\text{Konstante}_{OEV, 2010} + \beta_{Fahrtkosten OEV, 2010} \cdot \text{Fahrtkosten}_{OEV, 2010} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz, Fahrtkosten OEV, 2010}} \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen, Fahrtkosten OEV, 2010}} + \dots \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{OEV, SP-RW, 2010} &= \text{Skalenparameter}_{SP-RW, 2010} \cdot \left(\beta_{Fahrtkosten OEV, 2010} \cdot \text{Fahrtkosten}_{OEV, 2010} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz, Fahrtkosten OEV, 2010}} \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen, Fahrtkosten OEV, 2010}} + \dots \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{OEV, RP, 2015} &= \text{Skalenparameter}_{RP, 2015} \cdot \left(\text{Konstante}_{OEV, 2015} + \beta_{Fahrtkosten OEV, 2015} \cdot \text{Fahrtkosten}_{OEV, 2015} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz, Fahrtkosten OEV, 2015}} \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen, Fahrtkosten OEV, 2015}} + \dots \right) \\
 &= 1 \cdot \left(\text{Konstante}_{OEV, 2015} + \beta_{Fahrtkosten OEV, 2015} \cdot \text{Fahrtkosten}_{OEV, 2015} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz, Fahrtkosten OEV, 2015}} \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen, Fahrtkosten OEV, 2015}} + \dots \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{OEV, SP-VMW, 2015} &= \text{Skalenparameter}_{SP-VMW, 2015} \cdot \left(\text{Konstante}_{OEV, 2015} + \beta_{Fahrtkosten OEV, 2015} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \text{Fahrtkosten}_{OEV, 2015} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{Distanz, Fahrtkosten OEV, 2015}} \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{Einkommen, Fahrtkosten OEV, 2015}} + \dots \right)
 \end{aligned}$$

$$V_{OE\dot{V}, SP-RW, 2015} = \text{Skalenparameter}_{SP-RW, 2015} \cdot \left(\beta_{\text{Fahrkosten OE\dot{V}, 2015}} \cdot \text{Fahrkosten}_{OE\dot{V}, 2015} \cdot \left(\frac{\text{Distanz}}{20} \right)^{\lambda_{\text{Distanz, Fahrkosten OE\dot{V}, 2015}}} \left(\frac{\text{Einkommen}}{7'000} \right)^{\lambda_{\text{Einkommen, Fahrkosten OE\dot{V}, 2015}}} + \dots \right)$$

Da das Interesse hauptsächlich den Angebotsvariablen sowie den nicht-linearen Interaktionseffekten mit Einkommen und Distanz und deren möglichen Veränderungen zwischen den beiden Erhebungen gilt, werden die unterschiedlichen Effekte der soziodemographischen Variablen nicht explizit berücksichtigt. Dies betrifft Alter, Geschlecht, Einkommen, Region, Gemeindetyp, Autoverfügbarkeit, ÖV Abonnemente (GA, Halbtax, Verbundkarte) und Fahrtzwecke (Arbeit, Ausbildung, Einkauf, Nutzfahrt und Freizeit). Man beachte, dass die Effekte dieser soziodemographischen Variablen zwischen den beiden Erhebungen unterschiedlich sein können, diese Unterschiede jedoch über die unterschiedlichen alternativenspezifischen Konstanten abgefangen werden. Diese vereinfachende Vorgehensweise wurde gewählt, um eine stabile Modellschätzung zu gewährleisten, da sonst die Anzahl zu schätzender Parameter sehr gross geworden wäre, und um direkte Rückschlüsse auf die Unterschiede in den Angebotsvariablen machen zu können. Auch die Übersichtlichkeit (und die damit verbundene Fehleranfälligkeit) eines solch umfassenden Modells würden stark beeinträchtigt werden. Ausserdem läge die benötigte Rechenzeit und Aufsetzung eines solchen Modells ausserhalb des Rahmens der Praktikabilität. Würde man dennoch ein solches Vorgehen beabsichtigen, könnte man in einem weiteren Schritt zusätzlich für jede soziodemographische Variable je ein erhebungsspezifischer Parameter schätzen und anschliessend überprüfen, welche Parameter sich zusammenfassen liessen.

4.1.2 Unterschiede in geschätzten Koeffizienten

In diesem Abschnitt wird gezeigt, ob und wie sich die geschätzten Koeffizienten zwischen den beiden Erhebungen 2010 und 2015 für die Gesamtstichprobe unterscheiden. Der Übersichtlichkeit halber wird deshalb nur auf die Angebotsvariablen eingegangen, welche in beiden Erhebungen vorhanden sind (in *kursiv* die Beschriftung in den folgenden Abbildungen), und somit vergleichbar sind:

- Fahrkosten (MIV, ÖV):
 - *KOSTEN 10, KOSTEN 15*
- Fahrtzeit (Zu Fuss, MIV, ÖV, Velo):
 - *FUSS ZEIT 10, FUSS ZEIT 15*
 - *MIV ZEIT 10, MIV ZEIT 15*

- *OEV ZEIT 10, OEV ZEIT 15*
- *VELO ZEIT 10, VELO ZEIT 15*
- Parkkosten (MIV):
 - *MIV PARKK. 10, MIV PARKK. 15*
- Parkplatzsuchzeit (MIV):
 - *MIV SUCHZ. 10, MIV SUCHZ. 15*
- Auslastung (ÖV):
 - *OEV AUSL. 10, OEV AUSL. 15*
- Anzahl Umsteigevorgänge (ÖV):
 - *UMSTEIG. 10, UMSTEIG. 15*
- Takt (ÖV):
 - *TAKT 10, TAKT 15*
- Umsteigewartezeit (ÖV):
 - *OEV WARTE. 10, OEV WARTE. 15*
- Zugangszeit (ÖV):
 - *OEV ZUG. 10, OEV ZUG. 15*

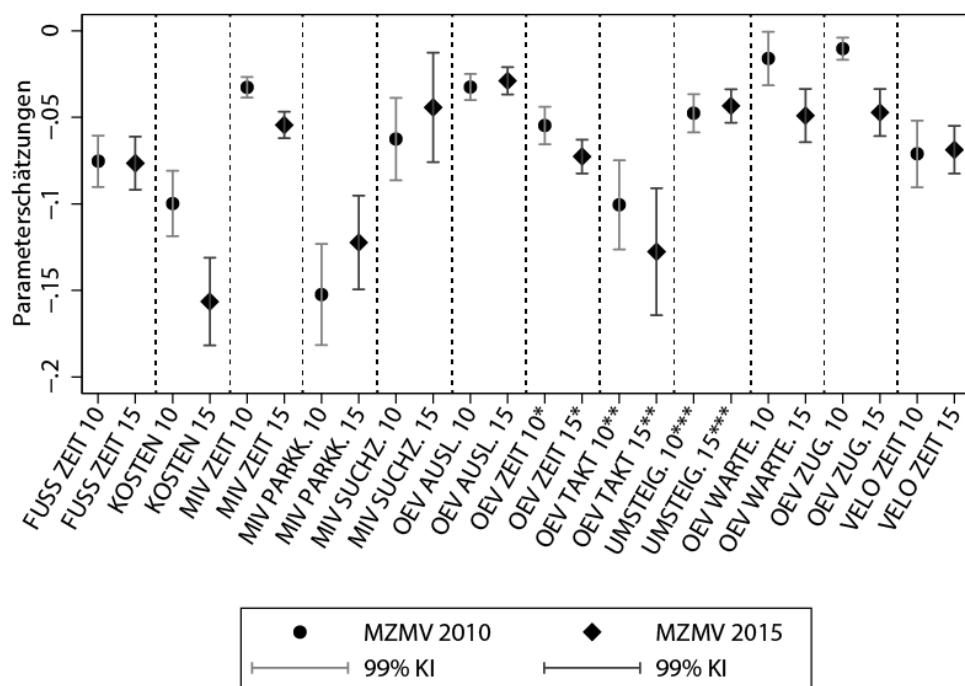
Dazu kommen in einem zweiten Schritt, gemäss der nicht-linearen Nutzenfunktion in Abschnitt 3.2.3, die nicht-linearen Interaktionsterme mit Distanz und Einkommen.

Die kompletten Resultate der Modellschätzung sind in Anhang A5 in Tabelle 31 dargestellt. Total wurden im *gepoolten* Modell im ersten Schritt 42 Koeffizienten geschätzt. Die Effekte (qualitativ und quantitativ) bewegen sich für alle Parameter im erwarteten Bereich (Vorzeichen, Signifikanz und Grösse der Koeffizienten) und sind vergleichbar mit jenen in Tabelle 11, Spalte 1. Auch das Modellgütemass ρ^2 liegt mit 0.298 in einem sehr ähnlichen Bereich wie für das lineare 2015er-Modell ($\rho^2 = 0.296$; siehe Tabelle 11).

Zuerst wird auf die Unterschiede in den geschätzten Koeffizienten der Angebotsvariablen eingegangen, die in Abbildung 34 übersichtlich dargestellt sind. Diese Betrachtung erlaubt folgende Schlussfolgerung: Sind die Koeffizienten für beispielsweise die Fahrkosten signifikant unterschiedlich, so sollten sie für jede Erhebung separat geschätzt werden. Es macht bei Betrachtung der Gesamtstichprobe aufgrund der grossen Anzahl an Beobachtungen praktisch keinen Unterschied, ob zwei nicht signifikant unterschiedliche Koeffizienten separat geschätzt werden oder nicht. Die Vorteile einer *gepoolten* Schätzung dominieren hauptsächlich bei kleineren Stichproben, wo sich die gemeinsame Schätzung von nicht signifikant unterschiedlichen Parametern entscheidend auf die Signifikanz (eines anschliessend *gepoolt* geschätzten

Parameters) auswirken kann. Abbildung 34 kann wie folgt interpretiert werden: Überlappen sich die Konfidenzintervalle einer Angebotsvariable nicht, so sind die Unterschiede in den geschätzten Parametern zwischen den beiden Erhebungen statistisch (aufgrund der relativ grossen Stichprobe wurde hier das 1% Niveau gewählt; Unterschiede auf dem 5% Niveau sind zusätzlich in Tabelle 25 aufgeführt) signifikant und sollten somit weiterhin für beide Erhebungen separat geschätzt werden.

Abbildung 34 Zeitvergleich: Unterschiede in geschätzten Koeffizienten (1). Normierung von Koeffizienten zur übersichtlicheren Darstellung: * = ÖV-Zeit mal Faktor 2; ** ÖV-Takt mal Faktor 10; *** ÖV-Umsteigevorgänge dividiert durch Faktor 5



Aufgrund dieser Analyse empfiehlt es sich, die folgenden Parameter weiterhin für beide Erhebungen separat zu schätzen:

- Fahrtkosten (MIV, ÖV);
- Fahrtzeit (MIV);
- Wartezeit (ÖV);
- Zugangszeit (ÖV).

Es zeigt sich, dass die Kosten, MIV-Fahrtzeit (ÖV-Fahrtzeit auf dem 5% Niveau), ÖV-Warte- und Zugangszeit in der SP-Befragung 2015 allesamt stärker wahrgenommen werden als in der SP-Befragung 2010. Dies kann auf Unterschiede im Versuchsplan zurückzuführen sein, wobei beispielsweise die Abwägungen für diese Attribute stärker variiert oder im Fragebogen besser in Szene gesetzt wurden als in der SP-Befragung 2010, oder dass grundlegende Unter-

schiede in den Verteilungen der Angebotsvariablen vorliegen. Man beachte, dass die hier gezeigten Unterschiede rein empirische Befunde sind, welche nicht direkt auf das eigentliche Verhalten umgemünzt werden sollten. Trotzdem kann vorweg genommen werden, dass z.B. relativ zu den Kosten, die nicht (signifikant) unterschiedlichen Parameter, wie z.B. die Umsteigevorgänge, neu weniger stark wahrgenommen werden, was automatisch zu einer tieferen Bewertung der Umsteigevorgänge in der SP-Befragung 2015 führt. Auf diese Unterschiede und deren Auswirkung auf das Verhalten wird in Abschnitt 4.1.3 genauer eingegangen.

Die folgenden Parameter können gemeinsam geschätzt werden, wenn eine Entscheidung alleine aufgrund der Signifikanz ($p < 0.01$) getroffen würde (man beachte, dass es durchaus Unterschiede zwischen den geschätzten Koeffizienten gibt, aber diese aus statistischer Sicht nicht voneinander trennbar sind; siehe auch Abbildung 34 und Tabelle 25):

- alle drei alternativenspezifischen Konstanten;
- Fahrtzeit (ÖV, Velo, Zu Fuss);
- Parkplatzsuchzeit (MIV);
- Parkplatzkosten (MIV);
- Umsteigen (ÖV);
- Auslastung (ÖV);
- Takt (ÖV).

Die Resultate eines solchen Modells sind in Anhang A5 in Tabelle 31, Spalte 2, enthalten: Das gemeinsame Schätzen der oben erwähnten Parameter führt zu einer praktisch identischen Modellgüte ($\rho^2 = 0.293$), verzichtet jedoch auf das Schätzen von neun zusätzlichen Parametern. Auch die anderen Koeffizienten sind dadurch nur marginal betroffen.

Im zweiten Schritt werden dann die oben erwähnten Parameter gemeinsam geschätzt, wobei die erhebungsspezifischen, nicht-linearen Interaktionsterme hinzugefügt werden. Die Modellgüte im Vergleich zum linearen Modell steigt signifikant (vgl. AICc in Anhang A5, Tabelle 31, Akaike-Kriterium korrigiert für die Stichprobengröße und Anzahl Parameter; je kleiner der Wert, desto besser), wenn auch nur schwach an ($\rho^2 = 0.323$). Die Resultate sind in Abbildung 35 und Tabelle 25 dargestellt. Aufgrund dieser Analyse empfiehlt es sich, die folgenden Parameter weiterhin für beide Erhebungen separat zu schätzen:

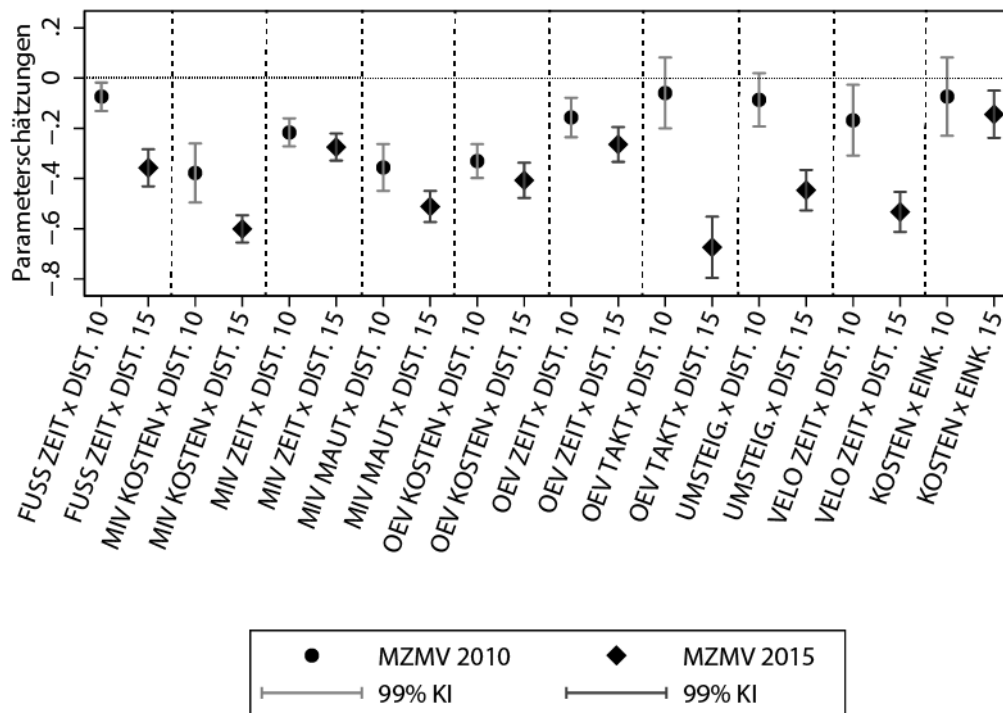
- Fahrzeit x Distanz (Velo und zu Fuss);
- Fahrkosten x Distanz (MIV);
- Umsteigen x Distanz (ÖV);
- Takt x Distanz (ÖV).

Tabelle 25 Unterschiede in Koeffizienten 2010 und 2015

Angebotsvariablen		MZMV 2010	MZMV 2015
Zu Fuss	Konstante	1.262*	0.672*
Velo	Konstante	-0.183	-0.480
OEV	Konstante	-0.468	-0.454
MIV	Fahrtzeit (min.)	-0.033	-0.054
ÖV	Fahrtzeit (min.)	-0.027*	-0.036*
Velo	Fahrtzeit (min.)	-0.071	-0.069
Zu Fuss	Fahrtzeit (min.)	-0.075	-0.076
MIV/ÖV	Fahrtkosten (CHF)	-0.100	-0.156
MIV	Parkplatzsuchzeit (min.)	-0.063	-0.044
MIV	Parkplatzkosten (CHF)	-0.152	-0.122
ÖV	Umsteigen (mal)	-0.239	-0.217
ÖV	Auslastung ² (-)	-0.032	-0.029
ÖV	Takt (min.)	-0.010	-0.013
ÖV	Wartezeit (min.)	-0.016	-0.049
ÖV	Zugangszeit (min.)	-0.010	-0.047
Nicht-lineare Interaktionen			
Zu Fuss	Fahrtzeit x Distanz	-0.074	-0.357
Velo	Fahrtzeit x Distanz	-0.168	-0.533
MIV	Fahrtzeit x Distanz	-0.216	-0.275
ÖV	Fahrtzeit x Distanz	-0.157	-0.264
MIV	Fahrtkosten x Distanz	-0.377	-0.600
ÖV	Fahrtkosten x Distanz	-0.330	-0.407
MIV	Maut x Distanz	-0.356*	-0.511*
ÖV	Umsteigen x Distanz	-0.086	-0.446
ÖV	Takt x Distanz	-0.059	-0.674
MIV/ÖV	Fahrtkosten x Einkommen	-0.074	-0.144

Fett: Unterschied signifikant auf 1% Niveau. *Kursiv*:* Unterschied signifikant auf 5% Niveau. Grau schattiert: Parameter, die zusammengefasst werden können.

Abbildung 35 Zeitvergleich: Unterschiede in geschätzten Koeffizienten (2)



Generell zeigt sich, dass alle nicht-linearen Interaktionen in der SP-Befragung 2015 stärker ins Gewicht fallen. Das heisst, dass beispielsweise die negative Wirkung der Umsteigevorgänge auf die Wahlwahrscheinlichkeit für grössere Distanzen abnimmt, während sie für die SP-Befragung 2010 praktisch konstant ist. Diese Unterschiede können darauf zurückzuführen sein, dass in der SP-Befragung 2015 zum einen generell längere Distanzen zu Grunde gelegt wurden (die Reisenden reagieren insofern generell weniger sensitiv auf die Angebotsvariablen), und dass die ausgewählten RP-Wege für die Generierung der SP Experimente im Durchschnitt auf längeren Wegen basieren (der Median der Distanz ist in der SP-Befragung 2015 um 1.08 km grösser). Eine ähnliche Argumentation gilt für die Interaktion mit dem Einkommen, wobei der Unterschied noch klarer ausgeprägt ist: Während die negative Wirkung der Fahrtkosten für die SP-Befragung 2010 praktisch linear verläuft (der Interaktionseffekt liegt nahe bei 0), nimmt neu dieser Effekt für steigendes Einkommen sehr stark ab. Auch hier zeigt sich, dass das durchschnittliche Einkommen um ca. 1'000 CHF höher ist in der SP-Befragung 2015. Die Auswirkungen dieser unterschiedlichen Interaktionseffekte auf die Bewertungsindikatoren sind in Abbildung 40 bis Abbildung 43 graphisch dargestellt. Man beachte, dass sich die Werte teilweise von jenen in Abschnitt 4.1.3 unterscheiden werden, da für die Analyse der Bewertungsindikatoren auch soziodemographische Eigenschaften als zusätzliche Kontrollvariablen im Modell enthalten sind.

Die folgenden Parameter können gemeinsam geschätzt werden, wenn eine Entscheidung aufgrund der Signifikanz ($p < 0.01$) getroffen würde:

- Fahrzeit x Distanz (MIV und ÖV);
- Fahrtkosten x Distanz (ÖV);
- Maut x Distanz (MIV);
- Kosten x Einkommen (MIV und ÖV).

Die Resultate eines solchen Modells sind in Anhang A5 in Tabelle 31, Spalte 4, enthalten: Das gemeinsame Schätzen der oben erwähnten Parameter führt wiederum zu einer praktisch identischen Modellgüte ($\rho^2 = 0.322$), verzichtet jedoch auf das Schätzen von sieben zusätzlichen Parametern (nicht-lineare Interaktionen, die nicht signifikant unterschiedlich von 0 waren, wurden auch weggelassen). Auch die anderen Koeffizienten sind dadurch wiederum nur marginal betroffen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der hier präsentierte Ansatz für das *gepoolte* Schätzverfahren substantiell dazu beiträgt, die Modelle zu vereinfachen, ohne an Erklärungskraft einzubüssen, und um gleichzeitig eine verbesserte Schätzgenauigkeit durch eine Vergrößerung der Stichprobe zu erzielen. Speziell für eine gesonderte Betrachtung von einzelnen Teilgruppen/Analyseregionen ist der hier präsentierte Ansatz wichtig, um zu entscheiden, welche Parameter gemeinsam geschätzt werden können und welche nicht.

Die hier präsentierten Resultate sind hauptsächlich aus technischer Sicht interessant, lassen aber nur bedingt Rückschlüsse auf das eigentliche Verhalten zu. Auch ist es schwierig, die Resultate mit anderen Studien zu vergleichen, da in den meisten uns bekannten Studien von vornerein alle Parameter gemeinsam geschätzt werden (z.B. Hensher *et al.*, 2008) und die absolute Grösse der Parameter nicht aussagekräftig ist. Deshalb wird im nächsten Abschnitt vorwiegend auf die Unterschiede im eigentlichen Verhalten, respektive der (monetären) Bewertung von Angebotsvariablen und deren Abhängigkeit von Distanz und Einkommen, eingegangen.

4.1.3 Unterschiede in geschätzten Bewertungsindikatoren

Im vorherigen Abschnitt wurden die Unterschiede in den geschätzten Koeffizienten zwischen den SP-Befragungen 2010 und 2015 evaluiert. Obwohl diese Analyse wichtig für die Beurteilung eines aus statistischer Sicht effizienten Modells ist, ist es aus verhaltenstechnischer Sicht nur wenig aussagekräftig, da sich die Koeffizienten und deren Unterschiede nicht direkt interpretieren lassen. Einerseits handelt es sich um zwei unterschiedliche Stichproben (z.B. unterschiedliche soziodemographische Charakteristiken der Teilnehmer), andererseits wurden an-

dere SP-Versuchspläne mit teilweise unterschiedlichen Attributen abgefragt, wobei, wie wir später sehen werden, diese auch auf anderen Referenzwertberechnungen bzw. Routingverfahren der RP-Daten für die gewählten und nicht gewählten Alternativen beruhen. Es wäre falsch anzunehmen, dass all diese Unterschiede alleine über die Skalenparameter (siehe Abschnitt 4.1.1) vollständig abgefangen werden. Deshalb werden in diesem Abschnitt die Unterschiede in den wichtigsten Bewertungsindikatoren zwischen den beiden Erhebungen verglichen, was in diesem Fall dem Verhältnis zwischen zwei Koeffizienten entspricht (z.B. der Koeffizient von Reisezeit dividiert durch Reiskosten entspricht dem Zeitwert). Die Grundlage für die folgende Analyse bilden zwei nach Erhebungszeitraum segmentiert geschätzte Modelle. Die detaillierten Resultate sind in Anhang A5 in Tabelle 32 aufgeführt.

Da die meisten Angebotsvariablen (mit Ausnahme der ÖV-Zugangszeit, ÖV-Wartezeit, MIV-Parkplatzsuchzeit und MIV-Parkplatzkosten) mit dem Einkommen und der Distanz interagiert wurden (siehe Abschnitt 2.2.9 und 3.5.1), werden die Bewertungsindikatoren für die betroffenen Angebotsvariablen in einem ersten Schritt für ein Einkommen von 7'000 CHF pro Monat und eine Wegdistanz von 20 km berechnet (also jenen Werten, mit welchen die nicht-linearen Interaktionen normiert wurden, sodass diese Interaktionen nicht berücksichtigt werden müssen). Dies ist wichtig, um die Standardfehler der Bewertungsindikatoren für diese „Normierungswerte“ zu bestimmen. Ein einem zweiten Schritt werden dann die Entwicklungen der wichtigsten Bewertungsindikatoren in Abhängigkeit von Distanz und Einkommen graphisch präsentiert.

Die Interpretation von Abbildung 37 und Abbildung 38 ist dieselbe wie in Abschnitt 4.1.2: überlappen sich die Konfidenzintervalle nicht, so sind die Unterschiede in den geschätzten Bewertungsindikatoren zwischen den beiden Erhebungen statistisch (wiederum auf dem 1% Niveau) signifikant. Die Standardfehler können jedoch nicht wie bisher direkt aus dem Modelloutput übernommen werden, sondern müssen mit Hilfe der Delta-Methode (Daly *et al.*, 2012a) nachträglich berechnet werden, da es sich um Verhältnisse zweier geschätzter, mit Unsicherheit behafteter, Koeffizienten handelt. Man beachte, dass die Zeitwerte der SP-Befragung 2010 für Velo und zu Fuss aus illustrativen Gründen nicht vollständig (das untere Ende des Konfidenzintervalls wurde nachträglich eingefügt) in den Abbildungen enthalten sind, da sie überdurchschnittlich hoch sind. Sie werden aber in Tabelle 26 aufgeführt. Ausserdem ist zusätzlich zu den monetären Indikatoren die Bewertung der Umsteigevorgänge in ÖV Fahrtzeit angegeben (*UMST. (min.) 2010*, *UMST. (min.) 2015*).

Die durchschnittlichen Bewertungsindikatoren unterscheiden sich signifikant und substantiell für die Velo-Fahrtzeit ($p < 0.05$), die Fusswegzeit, die Anzahl Umsteigevorgänge im ÖV und die ÖV-Zugangszeit. Speziell die Reisezeitbewertungen für langsame Verkehrsmittel weisen

extrem hohe Unterschiede auf. Während die Bewertung der ÖV- und MIV-Fahrtzeit in beiden Erhebungen vergleichbar ist, ist die Bewertung der ÖV-Zugangszeit in der SP-Befragung 2015 mehr als doppelt so gross. Dies gilt auch für die ÖV-Wartezeit, wobei hier der Unterschied nicht signifikant ist. Die Bewertung der Umsteigevorgänge gemessen in ÖV-Fahrtzeit sowie deren monetäre Bewertung sind neu hingegen fast halb so gross ($p < 0.01$). Alle anderen Bewertungsindikatoren (MIV-Parkplatzsuchzeit und ÖV-Takt) sind weder signifikant noch substantiell unterschiedlich. Speziell die Bewertung der MIV-Fahrtzeit ist in den beiden Erhebungen praktisch identisch.

Im Folgenden soll erörtert werden, wie diese Resultate in Bezug auf die tatsächlichen Unterschiede im Verkehrsverhalten interpretiert werden können (jene Indikatoren, die sich nicht unterscheiden, wurden für die SP-Befragung 2015 bereits in Abschnitt 3.5.1 umfassend interpretiert). Betrachten wir als erstes die Rangordnung im VTTS zwischen den vier Verkehrsmitteln, so sehen wir in beiden Erhebungen eine ähnliche relative Bewertung wie in vielen anderen Studien. Gehzeit und Velo-Fahrtzeit sind substantiell höher bewertet als die MIV-Fahrtzeit, gefolgt von der ÖV-Fahrtzeit (z.B. Wardman *et al.*, 2007; Axhausen *et al.*, 2014; Wardman *et al.*, 2016; Schmid *et al.*, 2016). Dennoch scheint die Bewertung der Fuss- und Velofahrtzeit in der SP-Befragung 2010 unplausibel hoch. Eine auf den ersten Blick logische Schlussfolgerung wäre, dass die Reisenden in der Tat die Reisezeit mit langsamen Verkehrsmitteln neu viel weniger stark bewerten als noch im Jahr 2010, was aber auf Grund der Grösse des Unterschieds stark in Frage zu stellen ist. Eine Schlüsselrolle ist der in der SP-Befragung 2015 signifikant weniger negativen Wirkung der Kosten zuzuschreiben, was nur dann zu identischen VTTS führt, wenn, wie im Beispiel von MIV und ÖV, sich auch die Bewertung der Zeit substantiell in dieselbe Richtung verändert. Dies soll aber nicht heissen, dass die Reisenden generell kostensensitiver wurden. Eine Erklärung für diese Unterschiede liegt in den Daten selbst (vgl. dazu Abbildung 36): während die geroutete RP-Fusswegzeit (für alle Wege < 15 km; man beachte auch, dass in der SP-Befragung 2015 die Fuss- und Veloalternativen immer verfügbar sind, während in der SP-Befragung 2010 Fusswege nur bis 15 km und Velowege nur bis 50 km verfügbar sind) in der SP-Befragung 2010 im Durchschnitt 58 Minuten beträgt, beträgt sie in der SP-Befragung 2015 72 Minuten ($p < 0.01$). Auch die durchschnittlichen Fusswegdistanzen sind neu signifikant grösser (4.5 km in 2010 vs. 5.8 km in 2015; $p < 0.01$), während die Geschwindigkeiten zu Fuss abgenommen haben (5.8 in 2010 vs. 5.2 km/h in 2015; $p < 0.01$). Ein ähnlicher Unterschied, wenn auch etwas auffälliger, kann für die RP-Velofahrtzeit (für alle Wege < 50 km) beobachtet werden (19 Minuten in 2010 vs. 54 Minuten in 2015; $p < 0.01$). Während auch hier die Distanzen im Durchschnitt signifikant gestiegen sind (5.1 km in 2010 vs. 12.6 km in 2015; $p < 0.01$), sind im Gegenzug die Geschwindigkeiten von durchschnittlich 21.5 km/h auf neu 14.8 km/h ge-

sunken ($p < 0.01$). Somit sind die Wege im Langsamverkehr neu tendenziell länger, während die Reisezeiten im Jahr 2010 sehr sportlich berechnet wurden. Unter der Annahme, dass die Befragten eine ähnliche Präferenz (Wahlwahrscheinlichkeit) für langsame Verkehrsmittel über die Zeit haben (vgl. dazu die nicht auf dem 1% Niveau signifikant unterschiedlichen alternativen-spezifischen Konstant für Fuss und Velo in Tabelle 25), und dem Faktum, dass die RP-Daten den Befragten die Werte der Angebotsvariablen wie z.B. Reisezeit unterstellen (im Unterschied zu den SP-Entscheidungen treffen sie die tatsächlichen RP-Entscheidungen nicht zwingend basierend auf den Werten, wie sie im Datensatz enthalten sind), führen diese Unterschiede automatisch zu einer substantiell tieferen Bewertung der Fuss- und Veloreisezeiten in der in der SP-Befragung 2015.

Abbildung 36 Zeitvergleich: Unterschiede in Reisezeiten zu Fuss (< 15 km) und mit dem Velo (< 50 km), und die daraus folgenden Geschwindigkeiten (= Distanz / Reisezeit; man beachte, dass aufgrund von Messfehlern sich teilweise zu hohe Geschwindigkeiten ergeben)

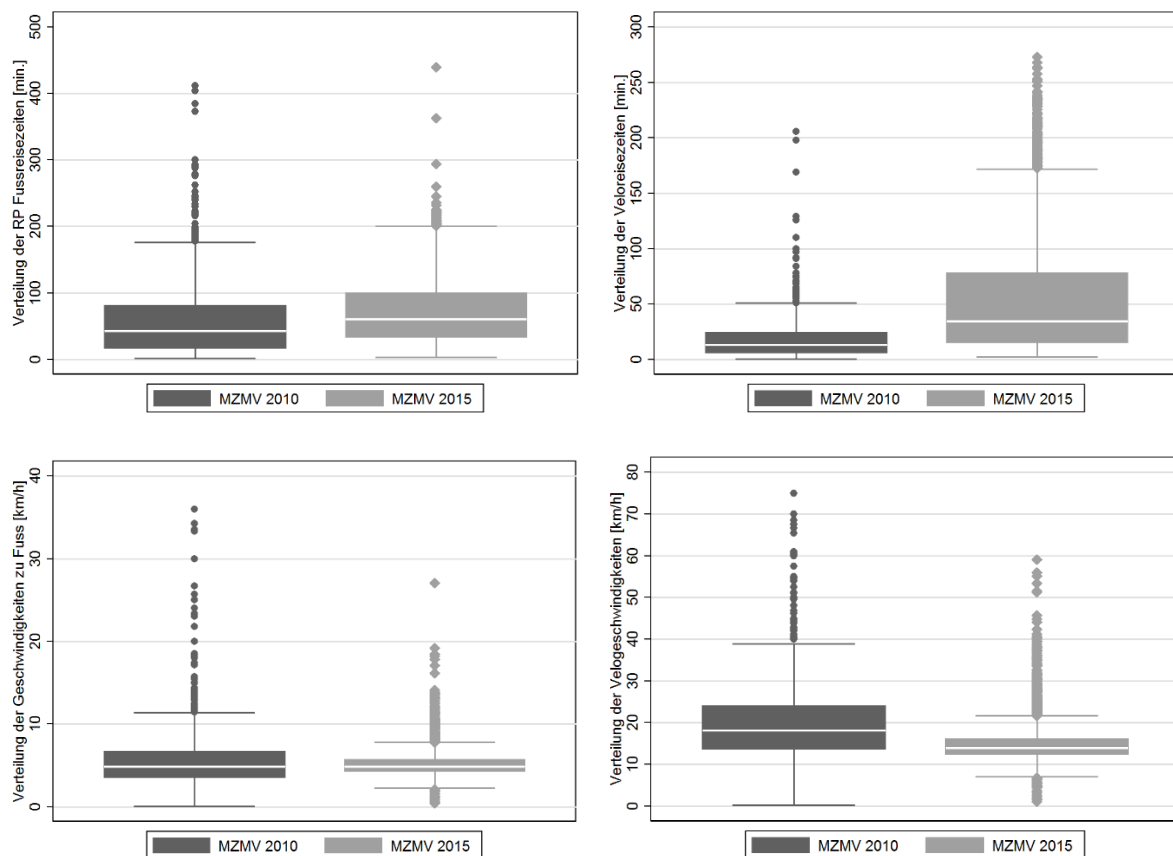


Tabelle 26 Unterschiede in Bewertungsindikatoren 2010 und 2015

Attribut		MZMV 2010	MZMV 2015
MIV	Fahrtzeit (CHF/h)	16.3	16.5
ÖV	Fahrtzeit (CHF/h)	12.6	11.6
Velo	Fahrtzeit (CHF/h)	41.5*	19.6*
Zu Fuss	Fahrtzeit (CHF/h)	46.8	18.0
ÖV	Umsteigen (CHF/1 mal)	2.0	1.0
ÖV	Umsteigen (min. Fahrtzeit/1 mal)	9.7	5.1
MIV	Parkplatzsuchzeit (CHF/h)	22.2	23.4
ÖV	Takt (CHF/h)	4.9	3.0
ÖV	Wartezeit (CHF/h)	4.6	11.2
ÖV	Zugangszeit (CHF/h)	5.6	13.9

Fett: Unterschied signifikant auf 1% Niveau. *Kursiv*:* Unterschied signifikant auf 5% Niveau. Grau schattiert: Unterschied *nicht* signifikant auf 5% Niveau.

Abbildung 37 Zeitvergleich: Unterschiede in geschätzten Bewertungsindikatoren (1)

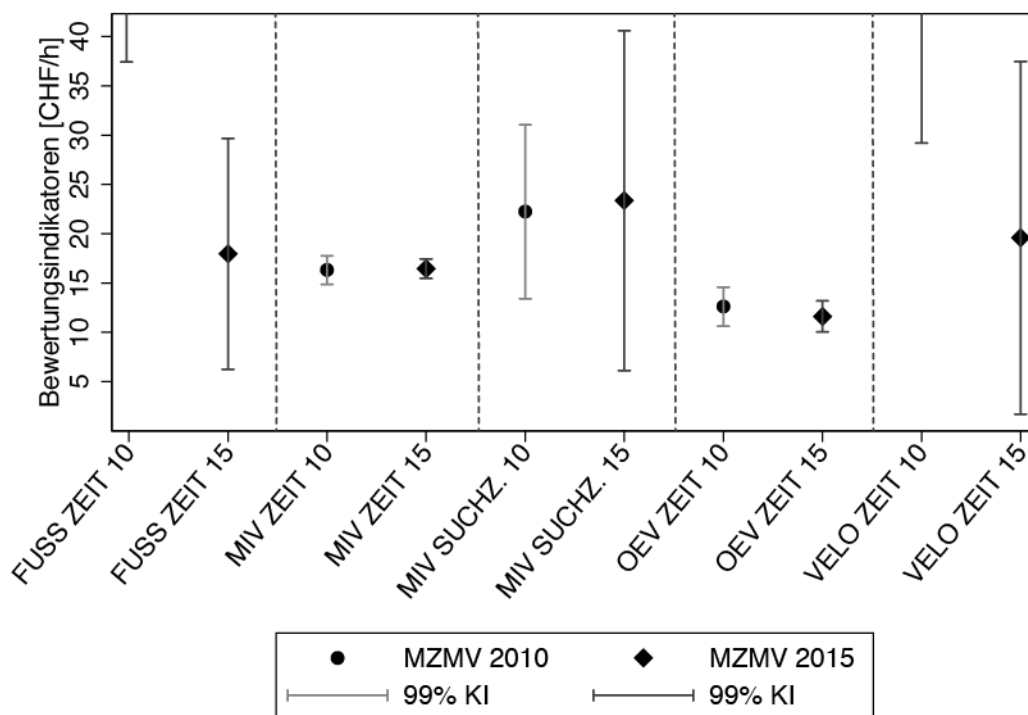
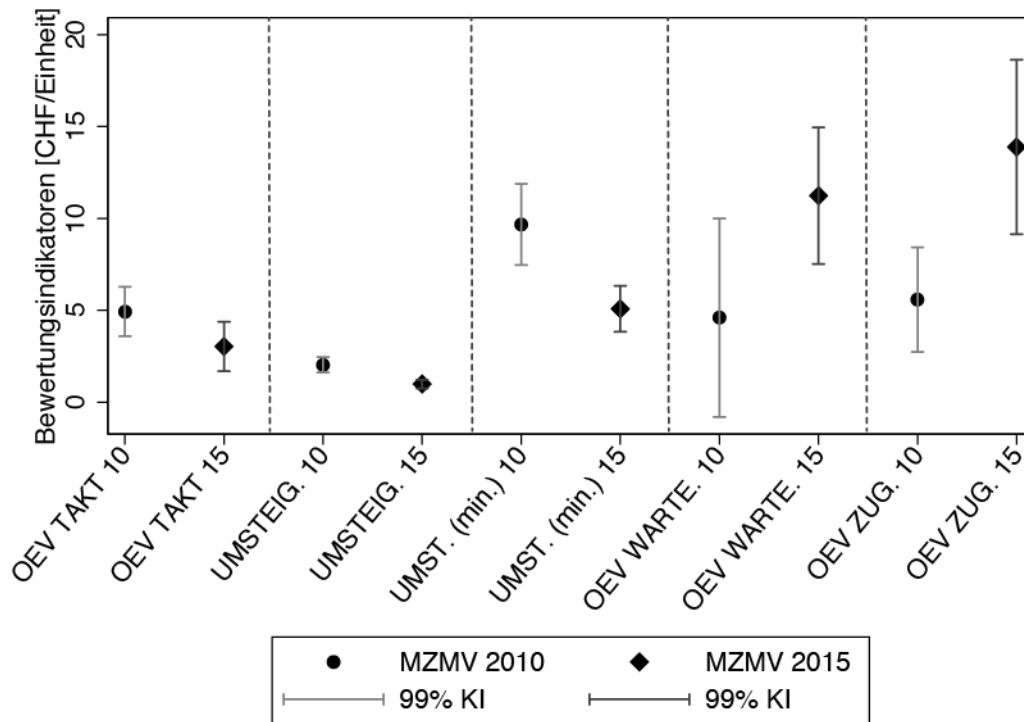


Abbildung 38 Zeitvergleich: Unterschiede in geschätzten Bewertungsindikatoren (2)



Eine ähnliche Argumentation gilt für die Anzahl Umsteigevorgänge (siehe Abbildung 39): Während die durchschnittliche Anzahl in der 2010er Erhebung für die RP Daten 0.46 beträgt, liegt sie in der SP-Befragung 2015 mit 1.03 über dem doppelten Wert ($p < 0.01$). *Ceteris paribus*, sinkt folglich die relative Wirkung der Umsteigevorgänge um etwa die Hälfte. Man nehme nun zur Kenntnis, dass sich solche substantiellen Unterschiede nicht in den RP-MIV- und ÖV-Reisezeiten sowie in der ÖV-Warte- und Zugangszeit finden lassen: alle folgen ähnlichen Verteilungen zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten (vgl. ARE, 2012; ARE, 2016). Was die Warte- und Zugangszeit betrifft, so sind dieser Argumentation folgend die grösseren Bewertungsindikatoren in der SP-Befragung 2015 hingegen tatsächlich auf eine Änderung im Verhalten zurückzuführen. Während die ÖV-Fahrzeit neu nur leicht weniger negativ bewertet wird (beispielsweise aufgrund von mehr Möglichkeiten zur produktiveren Zeitznutzung im ÖV; Mokhtarian und Salomon, 2001; Wardman *et al.*, 2016), können die ÖV-Zugangs- und -Wartezeit eher nicht zum Arbeiten oder Entspannen genutzt werden.

Weiter betrachten wir die Unterschiede in den Interaktionseffekten und deren Auswirkungen auf die Bewertungsindikatoren. Abbildung 40 zeigt die Entwicklung der MIV- und ÖV-Zeitwerte in Abhängigkeit der Distanz, wie sie in Abschnitt 3.5.1 hergeleitet und interpretiert wurden. Während die ÖV-Zeitwerte eine nahezu identische Entwicklung vorweisen, steigt der Zeitwert für MIV neu substantiell stärker an als in der SP-Befragung 2010. Dies ist haupt-

sächlich auf den neu stärker abnehmenden Effekt der negativen Wirkung der Reisekosten für grössere Distanzen zurückzuführen, was wiederum durch das signifikant grössere Durchschnittseinkommen in der SP-Befragung 2015 erklärt werden kann (vgl. Abschnitt 4.1.2): Höhere Reisekosten für längere Distanzen schrecken die Reisenden (z.B. auf Grund des höheren Einkommens) weniger ab, eine solche Reise auch zu unternehmen. Abbildung 41 zeigt die Entwicklung der Velo- und Fusszeitwerte in Abhängigkeit der Distanz. Hier ist zu betonen, dass die Unterschiede zwischen den beiden Verkehrsmitteln innerhalb einer Erhebung geringer sind als für ein jeweiliges Verkehrsmittel zwischen den beiden Erhebungen. Die Gründe sind, nebst den vorhin diskutierten grossen Unterschieden in den durchschnittlichen Bewertungsindikatoren, dass in der SP-Befragung 2010 die negative Wirkung der Fussreisezeit nicht signifikant von der Distanz abhängig ist, während die Bewertung der Kosten in beiden Erhebungen einen ähnlicheren Verlauf zeigen. Abbildung 42 zeigt die Entwicklung der MIV- und ÖV-Zeitwerte in Abhängigkeit des Einkommens. Für beide Verkehrsmittel und Erhebungen zeigt sich ein sehr ähnlicher Verlauf, was bereits in Abschnitt 3.5.1 für die SP-Befragung 2015 eingehend diskutiert wurde. Abbildung 43 zeigt schliesslich die Bewertung der Anzahl Umsteigevorgänge und den ÖV Takt in Abhängigkeit der Distanz, wobei speziell letzterer einen stark unterschiedlichen Verlauf zwischen den beiden Erhebungen zeigt. Dies liegt hauptsächlich am nicht signifikanten Interaktionseffekt des ÖV-Takts mit der Distanz in der SP-Befragung 2010, während neu die negative Wirkung des Takts mit zunehmender Distanz stark abnimmt – ein Resultat, das eher plausibel erscheint (vgl. Abschnitt 3.5.1 und Abschnitt 4.3.2).

Abbildung 39 Zeitvergleich: Unterschiede in der Anzahl Umsteigevorgänge in den RP Daten.

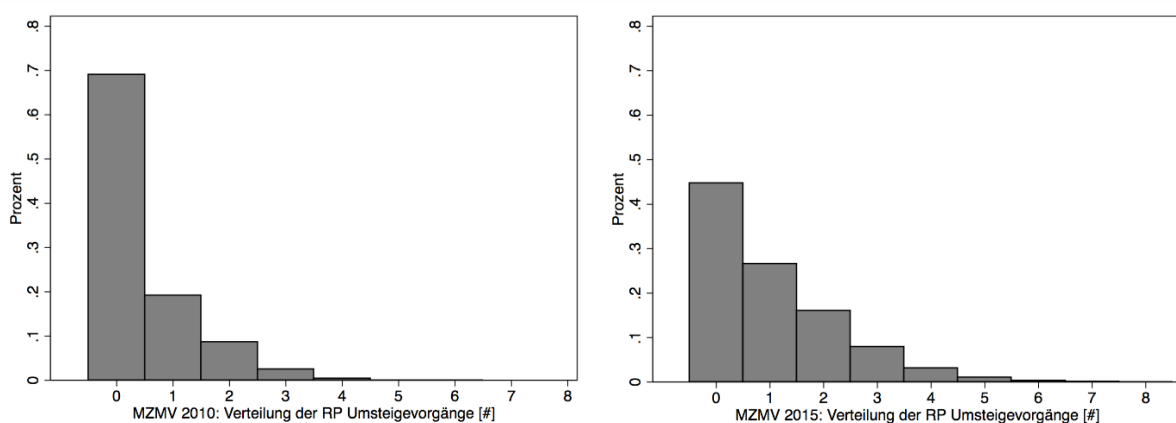


Abbildung 40 Zeitvergleich: Unterschiede in der Bewertung der Reisezeit (1).

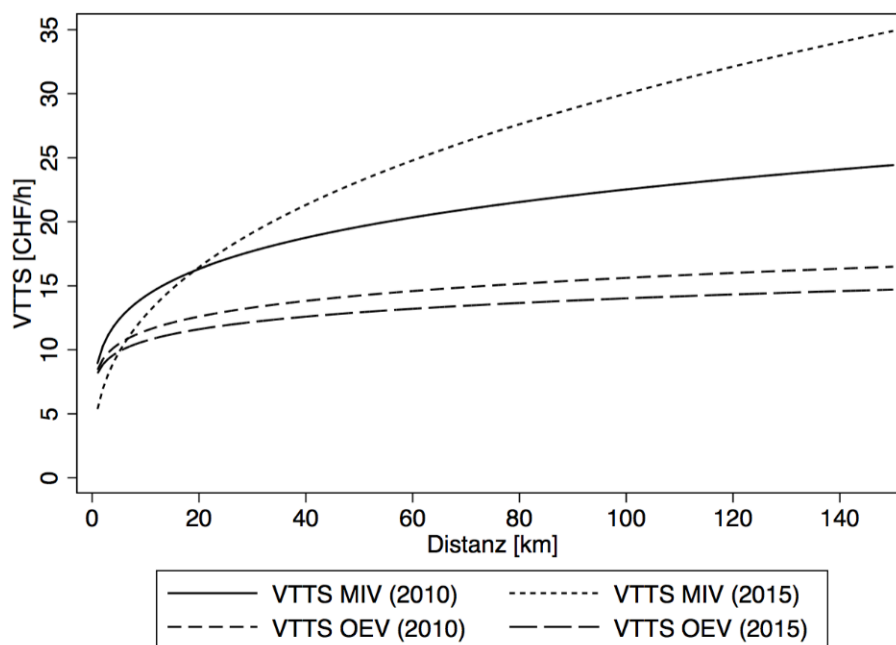


Abbildung 41 Zeitvergleich: Unterschiede in der Bewertung der Reisezeit (2).

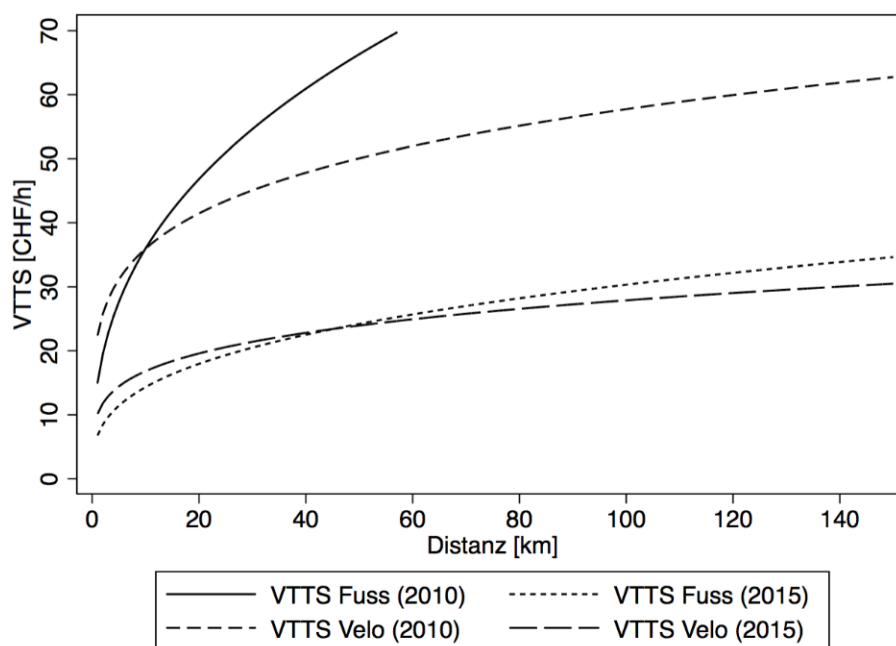


Abbildung 42 Zeitvergleich: Unterschiede in der Bewertung der Reisezeit (3).

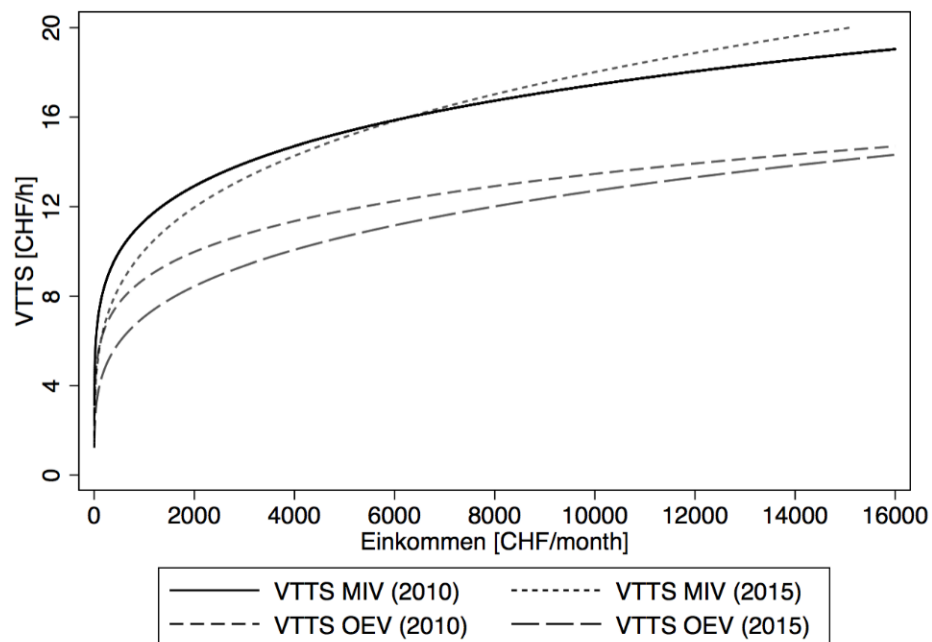
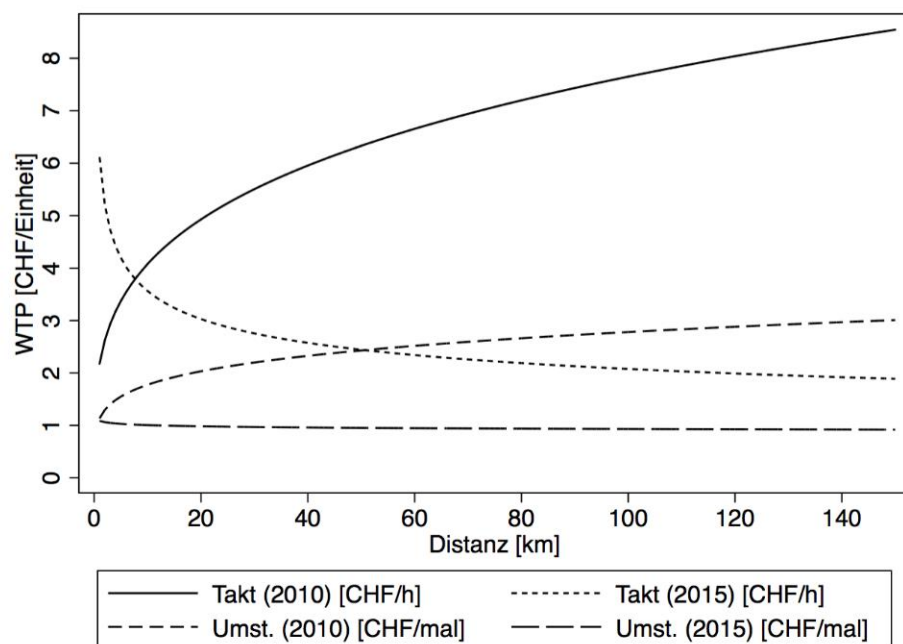


Abbildung 43 Zeitvergleich: Unterschiede in der Bewertung von weiteren Indikatoren.



4.1.4 Schlussfolgerungen zum Zeitvergleich

Die Untersuchung der Unterschiede in den geschätzten Koeffizienten liefert aufschlussreiche und praktische Implikationen für weiterführende Analysen. Am Beispiel für die Gesamtstichprobe konnte anhand einer statistisch allgemein gültigen Vorgehensweise, dem Datenpooling, gezeigt werden, dass gewisse Parameter zusammengefasst geschätzt werden können, was zu einem engeren Konfidenzintervall aufgrund der grösseren Anzahl an Beobachtungen führt. Speziell für Teilstichproben mit einer geringen Anzahl an Beobachtungen (z.B. für einzelne Kantone) kann es sich lohnen, die beiden Datensätze zu *poolen* und jene Parameter zusammenzufassen, welche nicht signifikant unterschiedlich sind, um nach wie vor stabile und signifikante Resultate zu erhalten. Es wurde auch gezeigt, dass die Erklärungskraft eines solchen vereinfachten Modells keine substantiellen Einbussen zu verzeichnen hat.

Da die geschätzten Koeffizienten alleine betrachtet nur wenig Aufschluss über das Verhalten liefern, werden typischerweise die Verhältnisse von zwei Koeffizienten betrachtet. Der Vergleich dieser Bewertungsindikatoren ist somit direkt interpretierbar: Wie haben sich die Zahlungsbereitschaften und/oder andere Bewertungsindikatoren zwischen den beiden Erhebungen verändert? Die aus Sicht der Verkehrsplanung häufig wichtigsten Indikatoren – die Bewertung der MIV- und ÖV-Fahrtzeit – unterscheiden sich wenig bis gar nicht. Für die Verkehrspolitik ist diese Schlussfolgerung wichtig, da sie von einer gewissen Konstanz in der Reisezeitbewertung, speziell im Bereich der Kosten-Nutzen-Analyse für Strassen- und Schieneninfrastrukturprojekte, ausgehen kann. Hingegen sind die Zeitwerte für den Langsamverkehr und die Bewertung der Umsteigevorgänge deutlich und signifikant höher in der SP-Befragung 2010, was jedoch grösstenteils auf erhebungsspezifische Unterschiede in den Daten zurückzuführen ist. Die Bewertung der ÖV-Zugangs- und Wartezeit ist hingegen neu substantiell grösser als in der SP-Befragung 2010, welche sich aus einer Verhaltenssicht auch als effektive Veränderung interpretieren lässt.

Abschliessend kann empfohlen werden, speziell die RP-Daten, die auch als Referenz für die SP-Experimente dienen, konsistent zu berechnen und auf Einheitlichkeit zu überprüfen. Oftmals reichen Änderungen in den zu Grunde liegenden Verteilungen, im Versuchsplan, der Darstellung der Attribute im Fragebogen oder der Stichprobe generell, um substantiell und signifikant unterschiedliche Resultate zu bekommen, wie am Beispiel der Bewertung der Fuss- und Velofahrtzeit sowie den Umsteigevorgängen gezeigt werden konnte. Zusätzlich können verkehrspolitisch aktuelle Themen die Unterschiede in Bewertungsindikatoren genauso gut verursachen wie globale und soziodemographische Trends, die in einer solchen Analyse oftmals schwierig oder gar unmöglich zu erfassen sind. Umso mehr ist es von enormer

Wichtigkeit, eine gewisse Konstanz in der Erhebungsmethodik beizubehalten, die sich in der Vergangenheit bewährt hat, um die Erhebungen besser vergleichbar zu halten.

Für die Verkehrsmodellierung (NPVM) empfiehlt es sich klar, ein *gepooltes* Modell zu verwenden, wobei alle Parameter zusammengefasst geschätzt werden und einzig die Skalenunterschiede für die verschiedenen Erhebungen differenziert betrachtet werden sollen (Achtung: Diese Empfehlung gilt nicht zwingenderweise aus Verhaltenssicht). Der Hauptgrund für diese Empfehlung – unter der Annahme, dass beide Erhebungen von gleichwertiger Datenqualität sind – liegt in der gegenseitigen Ausbesserung von möglichen Unterschieden respektive Ungenauigkeiten in der Erhebungsmethodik, den Daten sowie Unterschieden in der Stichprobe. Ausserdem würde es wenig Sinn machen, Parameter differenziert über die beiden Erhebungen zu betrachten, da das Hauptinteresse im NPVM in der aktuellen Bewertung von Angebotsvariablen liegt. In Anbetracht dessen, dass sich die Bewertungsindikatoren zum Teil rein auf Grund von Unterschieden in den Wertebereichen der Angebotsvariablen unterscheiden, und der Annahme, dass sich das eigentliche Verhalten über den Zeitraum von 5 Jahren nur marginal verändert hat (wie hier gezeigt wurde, ist dies nicht immer der Fall), wäre es jedoch sinnvoll, diese Unterschiede über die gemeinsame Schätzung aller Parameter „auszumitteln“, was schlussendlich zu robusteren Vorhersagen führen wird als eine gesonderte Betrachtung der SP-Befragung 2015.

4.2 Verkehrspolitische Einstellungen

Die Berücksichtigung von Einstellungen, Haltungen und Charakterzügen in Entscheidungsmodellen, sogenannte *latent-variable* oder auch *integrated choice and latent variable* Modelle, ist Gegenstand aktueller Untersuchungen in vielen unterschiedlichen Forschungszweigen, die ein besseres Verständnis der individuellen Entscheidungsprozesse der Befragten erreichen möchten (Ben-Akiva *et al.*, 2002). Für die Entwicklung von verkehrlichen Nachfragemodellen (z.B. NPVM) in der Praxis raten die Autoren jedoch davon ab, solche Modelle zu verwenden. Der zusätzliche Aufwand (z.B. die Verwendung von Simulationsmethoden zur Approximation der mehrdimensionalen Integrale; Bolduc und Daziano, 2010) steht aus Sicht der Autoren in keinem Verhältnis zum Nutzen (z.B. präziser geschätzte WTP-Indikatoren), der im Vergleich zu einem Modell ohne latente Variablen erzielt werden kann (Vij und Walker, 2015). Ausserdem haben beispielsweise Hess und Spitz (2016) anhand einer grossangelegten US Studie gezeigt, dass sich die Effekte der Einstellungen im Durchschnitt oftmals gegenseitig aufheben, wobei der zusätzliche Nutzen in Anbetracht der Modellgüte sich oftmals nur unwesentlich von einem einfacheren *Mixed-Logit*-Modell (Train, 2003) unterscheidet (Klojgaard und Hess, 2014; Schmid und Axhausen, 2017).

In den folgenden Abschnitten wird eine Methodik präsentiert, die die verkehrspolitischen Einstellungsfragen der beiden MZMV 2010 und 2015 auf Basis von sogenannten latenten Variablen mit den SP-Erhebungen verknüpft. Es wird ein *sequentieller Ansatz* gewählt, d.h. zuerst erfolgt die Schätzung und Vorhersage der latenten Variablen; anschliessend werden diese Variablen ins Entscheidungsmodell als direkte Effekte auf die Wahlwahrscheinlichkeiten sowie Interaktionsterme mit den Angebotsvariablen eingefügt, um die Heterogenität im Verkehrsverhalten in Bezug auf diese Einstellungen zu modellieren. Dieser sequentielle Ansatz ist zwar aus methodischer Sicht nicht ganz unproblematisch (Endogenitätsprobleme, Effizienzverlust, Inkonsistenz in der Parameterschätzung; siehe Raveau *et al.*, 2010), wird aber in der Praxis dennoch meistens verwendet (z.B. Mokhtarian und Tang, 2013) und zeigt oftmals auch qualitativ identische Resultate wie der *simultane Ansatz* (Schmid und Axhausen, 2017). Der simultane Ansatz, auf den hier nicht im Detail eingegangen werden soll, vermeidet zwar die oben erwähnten Probleme, verlangt aber eine sehr hohe Rechenkapazität sowie einen grossen Programmier- und Modellkalibrierungsaufwand.

Eine Vielzahl von Studien hat bereits den Einfluss von Einstellungen und Haltungen auf das Verkehrsverhalten untersucht. Um die Literaturübersicht einzugrenzen, werden an dieser Stelle solche Studien erwähnt, die sich entweder direkt auf andere Schweizer Untersuchungen beziehen, oder die die Einflüsse von Einstellungen auf das Verkehrs- oder Routenwahlverhalten anhand von ähnlichen Einstellungsfragen untersucht haben. Abou-Zeid *et al.* (2011) konn-

ten beispielsweise anhand von Routenwahldaten für Schweden zeigen, dass die Bewertung von MIV-Reisekosten signifikant tiefer ausfällt für jene Befragten, welche positive Einstellungen gegenüber dem MIV aufweisen, was wiederum zu entsprechend höheren Zeitwerten für diese Gruppe führte. Ein ähnliches Muster ergab sich auch in Schmid *et al.* (2016) für die Verkehrsmittelwahl im Kanton Zürich, wo nachgewiesen wurde, dass Befragte mit MIV-Affinität generell weniger kostensensitiv sind (die Kosten wurden generisch über alle Verkehrsmittel zusammen geschätzt). Dies wurde unter anderem damit begründet, dass diese Gruppe von Befragten eine starke Ablehnung gegenüber der (auf Wegeebene) kostenlosen, aber zeitintensiveren Veloalternative zeigte. Ähnlich konnten Atasoy *et al.* (2013) für die Schweiz nachweisen, dass MIV-affine Befragte typischerweise öffentliche Verkehrsmittel meiden, da hauptsächlich die Flexibilität des MIV gegenüber anderen Verkehrsmitteln als vorteilhaft empfunden wurde. Die Studien von Rieser-Schüssler und Axhausen (2012) sind andere Beispiele von Schweizer Forschungsprojekten, welche den Einfluss von psychologischen Einstellungen (hier am Beispiel des Umweltbewusstseins, der Risikobereitschaft und des Wunsches nach Abwechslung) auf die Verkehrsmittelwahl untersucht und dabei substantielle Unterschiede im Wahlverhalten gefunden haben. Während Befragte mit umweltaffinen Zügen eher die ÖV- als die MIV-Alternative wählten (siehe auch Johansson *et al.*, 2005, am Beispiel für Schweden), zeigten auch solche mit einem stärkeren Wunsch nach Abwechslung eine signifikant stärkere Präferenz für den ÖV. Die Studie von FehrAdvice & Partners AG (2016) hat die Wahl der Pendelzeit von Pendlern in der Schweiz untersucht, mit dem Ziel, wirkungsvolle Handlungsmöglichkeiten zur Steuerung der Auslastung im ÖV abzuleiten. Dabei haben sie einen substantiellen Einfluss von individuellen Präferenzen, Einstellungen, sozialer Normen und Gewohnheiten auf das Verhalten festgestellt. Ein starker Verhaltenstreiber, der auch in der gegenwärtigen Studie von Wichtigkeit sein könnte, war die Gewohnheit: FehrAdvice & Partners AG (2016) erwähnen das oftmals gewohnheitsgetriebene Verhalten, dass eine systematische Nutzenanalyse, wie z.B. nach generalisierten Reisekosten, in vielen Fällen untergräbt. Diese Automatisierung im Verhalten bringt den Reisenden einen sogenannten Habitualisierungsnutzen, welcher die eigentliche Entscheidung obsolet macht. Leider wurden in den beiden MZMV Befragungen keine Daten erhoben, inwiefern Gewohnheiten (oder auch andere Werte und soziale Normen) abgesehen von den verkehrspolitischen Einstellungsfragen für die Befragten eine Rolle im Verkehrsverhalten spielen. Sollten solche Einstellungen jedoch treibende Faktoren sein, so kann das *Mixed-Logit*-Modell (Train, 2003; siehe Abschnitt 4.2.3) mehr Aufschluss darüber liefern, inwiefern die Befragten eine „unbeobachtete“ Präferenz für ein Verkehrsmittel an den Tag legen, das nicht durch bereits erklärende *Inertia*-Variablen (wie z.B. GA Besitz, was bereits ein sehr starker Erklärungsfaktor für die Wahl von ÖV ist; siehe auch Weis *et al.*, 2008) oder andere (latente) Variablen erfasst wurde.

In den folgenden Abschnitten wird untersucht, inwiefern die verkehrspolitischen Einstellungen, welche in den MZMV 2010 und 2015 für einen Teil der Befragten abgefragt wurden, einen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten sowie die Bewertung von Angebotsvariablen in den beiden SP-Befragungen haben. Ein Ziel der Analyse ist es, den zusätzlichen Erklärungsgehalt der Verkehrs- und Routenmodelle unter Berücksichtigung dieser Einstellungen zu quantifizieren, sowie diese (nicht direkt beobachtbaren) Einstellungen anhand von beobachtbaren, soziodemographischen Charakteristiken der Befragten zu identifizieren. An dieser Stelle ist die Arbeit von Becker *et al.* (2017) besonders hervorzuheben, welche für die MZMV 2005 und 2010 genau jene Einstellungsfragen analysiert hat, die in der folgenden Analyse berücksichtigt werden, diese jedoch als erklärende (latente) Variablen für den Mobilitätswerkzeugbesitz (MIV, GA oder Verbundabonnements, Carsharing-Mitgliedschaft) verwendet hat. Basierend auf diesen Einstellungsfragen kamen die Autoren zum Schluss, dass zwei latente Konstrukte/Faktoren definiert werden sollen, welche die wichtigsten Dimensionen in der Variabilität der Einstellungsfragen erklären können. Der erste Faktor (*PROFEES*) bezieht sich auf die Einführung von Strassengebühren und Maut (Tunnelgebühren, Stosszeitengebühren, Parkplatz- und Benzinpreiserhöhungen), wobei diese Einnahmen *nicht* für eine Verbesserung der Strasseninfrastruktur ausgegeben werden sollen. Der zweite Faktor (*PROINFRA*) bezieht sich auf die Ausgaben der Einnahmen aus dem Strassenverkehr für Investitionen in öffentliche Infrastruktur, den Langsamverkehr, ÖV und Umweltschutz. Ferner wurde gezeigt, wie die Abhängigkeit dieser Konstrukte basierend auf soziodemographischen Eigenschaften der Befragten erklärt werden kann. Während der *PROFEES*-Faktorwert grösser ist für ältere ÖV-Kartenbesitzer aus der Deutschschweiz mit höherer Ausbildung und Einkommen, ist der *PROINFRA*-Faktor grösser für urbane, männliche ÖV-Abobesitzer mit höherer Ausbildung und einer grösseren Anzahl an Velos im Haushalt. Auch konnte eine schwache positive Korrelation zwischen den Faktoren ermittelt werden, was auf Grund des Sachverhalts plausibel erscheint: Die erhöhten Ausgaben im Infrastrukturbereich müssen mit Einnahmen bezahlt werden, wobei hier der Strassenverkehr als mögliche Geldquelle dient. Schliesslich verwendeten die Autoren, ähnlich wie in der folgenden Analyse, diese beiden Konstrukte, um das Entscheidungsverhalten betreffend Mobilitätswerkzeugbesitz in der Schweiz besser zu erklären. Es zeigte sich, dass dieser für alle vier untersuchten Mobilitätswerkzeuge substantiell und signifikant durch die beiden Faktoren erklärt werden kann. Während beispielsweise beide Faktoren einen negativen Effekt auf den MIV-Besitz zu Tage legten, war der Effekt auf den GA- und Verbundabobesitz stark positiv.

4.2.1 Datengrundlage und Methodik

Die Datengrundlage bilden die Verkehrsmittel- und Routenwahlentscheidungen der SP-Befragung 2010 und 2015 sowie die Fragen/Items zu den verkehrspolitischen Einstellungen in den MZMV 2010 und 2015. Letztere wurden als asymmetrische 3-Punkt-Likert-Skalen (1 = bin dafür; 2 = bin unter Umständen dafür; 3 = bin dagegen) abgefragt. Da die meisten dieser politischen Statements in beiden Erhebungen auf genau dieselbe Weise abgefragt wurden, ergab sich die Möglichkeit, die Modelle basierend auf einer grösseren Stichprobe (total 993 Befragte nach Imputation einzelner fehlender Items für 149 Befragte; siehe auch Becker *et al.*, 2017, für eine detaillierte Beschreibung der angewandten Imputationsstrategie) gemeinsam zu schätzen. Die verkehrspolitischen Fragen wurden in einem Zusatzmodul an ca. 10% der Gesamtteilnehmer gestellt. Items, die nur in einer der beiden Erhebungen abgefragt wurden, werden somit nicht weiter berücksichtigt. Dies beinhaltet die folgenden zwölf Items aufgliedert in zwei Blöcken (in *kursiv*, die Abkürzung der Variablen wie sie in Tabelle 27 verwendet werden):

Wofür sollen zukünftige Einnahmen aus dem Verkehr verwendet werden?

- Förderung vom öffentlichen Verkehr (*Einnahmen für ÖV*);
- Verbesserungen im Strassenverkehr (*Einnahmen für Strassenverk.*);
- Verbesserungen von Fussgänger- und Veloverkehr (*Einnahmen für Langsamverk.*);
- Milderung der Verkehrsprobleme in den Agglomerationen (*Einnahmen für Agglo.*);
- Bauliche Verbesserung der Umsteigeknoten zwischen Velo und ÖV bzw. zwischen Auto und ÖV (*Einnahmen f. Umsteigeknoten*);
- Erhöhung der Verkehrssicherheit (*Einnahmen für Sicherheit*);
- Umweltschutzmassnahmen (*Einnahmen für Umwelt*).

Wie sollen zukünftige Verkehrsmassnahmen finanziert werden?

- Einführung von Tunnelgebühren, z.B. am Gotthard oder am San Bernardino (*Einführung Tunnelgebühren*);
- Einführung von Gebühren in den Spitzenzeiten für die MIV Zufahrt in die Stadtzentren (*Einf. Stosszeitgebühren*);
- Erhöhung des Benzinpreises (*Erhöhung Benzinpreis*);
- Einführung von Parkplatzgebühren bei Einkaufszentren (*Einf. Parkplatzgebühren*);
- Einführung von nach Tageszeit abgestuften Preisen im ÖV (*Abgestufte Preise im ÖV*).

Der erste Block befasst sich somit mit den Präferenzen für die Ausgaben für mögliche Infrastrukturprojekte, während der zweite Block sich mit den dafür vorgesehenen Einnahmequellen

len auseinandersetzt. Die Idee der folgenden Analyse ist nun, das kombinierte Konstrukt aus mehreren Items, sprich die generellen Einstellungen der Befragten, zu betrachten. Dies ist insofern sinnvoll, da die einzelnen Items untereinander hoch korreliert sind (z.B. Befragte, die für eine Erhöhung des Benzinpreises sind, sind eher auch für eine Einführung von Tunnelgebühren). Als erster Schritt wurde eine explorative Faktorenanalyse (Hayton *et al.*, 2004) durchgeführt, um zu überprüfen, wie viele latente Konstrukte mit welchen Items für die spätere Analyse zu berücksichtigen sind. Basierend auf einem Faktor-Eigenvalue-Plot (dem sogenannten Ellbogenkriterium), einer Parallelanalyse (Hayton *et al.*, 2004) und der Interpretation der latenten Konstrukte wurde entschieden, zwei latente Variablen zu definieren, welche sich wie in Tabelle 27 dargestellt zusammenfassen lassen (qualitativ ergaben sich dieselben beiden Faktoren und deren Interpretationen wie in Becker *et al.*, 2017):

- *PROFEES*: Der *PROFEES*-Faktor zeigt hohe positive Korrelationen mit den Fragen zu Preiserhöhungen, und eine negative Korrelation mit erhöhten Investitionen in den Straßenverkehr;
- *PROINFRA*: Der *PROINFRA*-Faktor zeigt hohe positive Korrelationen mit den Fragen zu verstärkter Förderung von öffentlicher Infrastruktur und Umweltschutzmassnahmen.

Nachdem das Clustering der Items und die Anzahl der latenten Variablen bekannt sind, kann ein generalisiertes Strukturgleichungsmodell aufgesetzt werden, um für jeden Befragten einen Wert für diese beiden Faktoren zu berechnen. Aufgrund der Asymmetrie in den Likert-Skalen (die mittlere Kategorie ist „Ich bin unter Umständen dafür“) und der diskreten Struktur der Items wird ein Ordered Logit Messmodell für die beiden latenten Konstrukte geschätzt (Daly *et al.*, 2012). Auch bekannt unter der Bezeichnung *Multiple-Indicators-Multiple-Causes-Modell* (Jöreskog und Goldberger, 1975), werden simultan die Parameter der Messgleichungen, die die latenten Variablen mit den Items verknüpfen, sowie die Parameter der linearen Strukturgleichungen, die die Effekte der (exogenen) soziodemographischen Charakteristiken der Befragten auf die beiden latenten Variablen modellieren, geschätzt. Sind die Parameter bekannt, so kann die Verteilung der latenten Variablen, sprich der Einstellungen, für die Stichprobe berechnet werden.

Die Messgleichungen für die latente Variable $i \in (PROFEES; PROINFRA)$ mit den Antworten des Befragten n zu den Items I_{att} ist gegeben durch:

$$P(I_{att,n} = 1) = \frac{1}{1 + \exp(-\kappa_{att,1} + \tau_{I_{att}} LV_{i,n})}$$

$$P(I_{att,n} = 2) = \frac{1}{1 + \exp(-\kappa_{att,2} + \tau_{I_{att}} LV_{i,n})} - \frac{1}{1 + \exp(-\kappa_{att,1} + \tau_{I_{att}} LV_{i,n})}$$

$$P(I_{att,n} = 3) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-\kappa_{att,2} + \tau_{I_{att}} LV_{i,n})}$$

wobei $P(.)$ die Wahrscheinlichkeit ist, eine der drei möglichen Ausprägungen in den Items für Person n zu beobachten, $\tau_{I_{att}}$ sind die Koeffizienten der latenten Variablen für jedes Item I_{att} (zu Identifikationszwecken wurden je ein $\tau_{I_{att}}$ auf eins normiert; siehe Tabelle 27), $LV_{i,n}$ sind die beiden latenten Variablen und $\kappa_{att,l}$ sind die Cut-off Koeffizienten (Daly *et al.*, 2012) für jedes Item. Die Strukturgleichung für latente Variable i ist eine Funktion von beobachteten Variablen $Z_{i,n}$:

$$LV_{i,n} = Z_{i,n} \delta_i + \zeta_{i,n},$$

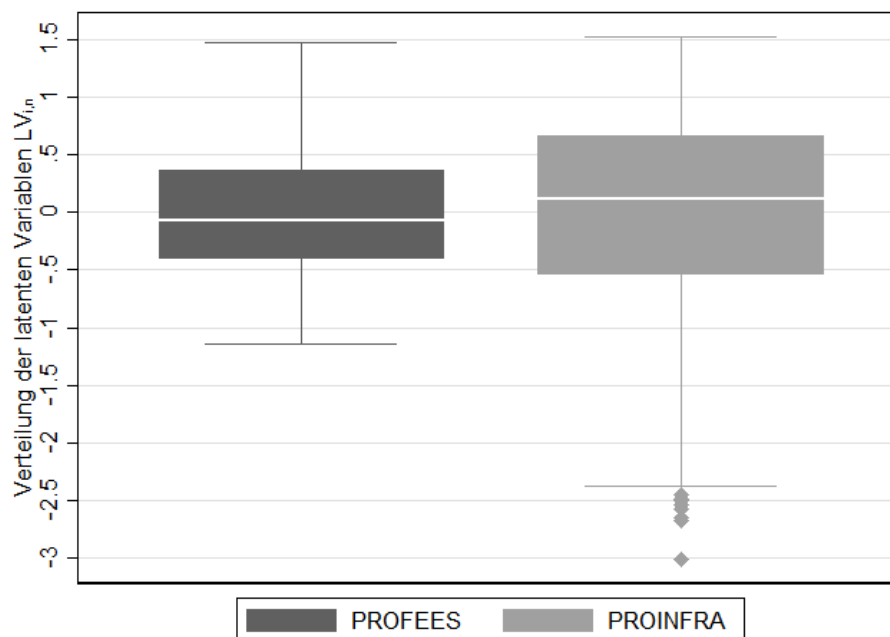
wobei $Z_{i,n}$ ein $(1 \times q)$ Vektor von soziodemographischen Charakteristiken, δ_i ein $(q \times 1)$ Koeffizientenvektor und $\zeta_{i,n}$ ein normalverteilter Fehlerterm ist (Daly *et al.*, 2012b; Becker *et al.*, 2017). Die Strukturgleichungsmodelle wurden mit der Statistiksoftware *Stata 14.2* mit dem *gsem*-Befehl geschätzt (Stata Press, 2013).

4.2.2 Resultate des generalisierten Strukturgleichungsmodells

Abbildung 44 zeigt die Verteilung der Vorhersagen beider latenten Variablen *PROFEES* und *PROINFRA* ($LV_{i,n}$), welche anschliessend als erklärende Variablen ins Entscheidungsmodell eingebaut werden. Beide sind (approximativ) normalverteilt (gegeben die Annahme über den Fehlerterm der beiden latenten Variablen; siehe Abschnitt 4.2.1) und wurden nachträglich im Durchschnitt auf 0 zentriert, um in den späteren Entscheidungsmodellen die Interpretation der Interaktionseffekte zu vereinfachen (Schmid und Axhausen, 2017). Ausserdem zeigt sich, dass die Varianz von *PROFEES* deutlich kleiner ist als jene von *PROINFRA*: die Einstellungen für die Erhöhung respektive Einführung von Gebühren können anhand der Daten präziser

erfasst werden. Wie bereits in Becker *et al.* (2017) zeigt sich auch hier eine leicht positive und hochsignifikante Korrelation von 0.11 zwischen den beiden latenten Variablen: Befragte, die eine generelle Erhöhung in den Verkehrsabgaben gutheissen, sind auch eher für höhere Ausgaben in der öffentlichen Infrastruktur. Auch wurde getestet, ob sich die beiden latenten Variablen zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten 2010 und 2015 unterscheiden, jedoch konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Abbildung 44 Verteilung der latenten Variablen PROFEES und PROINFRA.



Bei näherer Betrachtung von *PROFEES* in Tabelle 27 zeigt sich, dass speziell die Frage, ob der Benzinpreis erhöht werden soll (*Erhöhung Benzinpreis*), die stärkste Erklärungskraft (den im Absolutwert betrachtet grössten Koeffizienten) aufweist, während die Frage, ob die Preise im ÖV nach Tageszeit abgestuft werden sollen (*Abgestufte Preise im ÖV*), einen vergleichsweise kleinen Effekt zeigt. Naheliegend ist deshalb auch der negative Koeffizient von Verbesserungen im Strassenverkehr (*Einnahmen für Strassenverk.*), der besagt, dass *PROFEES*-Einstellungen eher gegen diese Massnahme sprechen. Interessant sind auch die Effekte der soziodemographischen Charakteristiken auf die *PROFEES*-Einstellungen: Vorwiegend ältere, urbane Befragte aus der Deutschschweiz ohne Auto und mit höherem Einkommen und Ausbildung, die in Besitz eines ÖV-Abos sind, zeigen eine signifikant höhere *PROFEES*-Einstellung. Dieses soziodemographische Muster kann unter anderem damit erklärt werden, dass genau diese Gruppe von Befragten am wenigsten von diesen Gebühren betroffen ist, da sie weniger auf ein Auto angewiesen ist und oftmals auch keines besitzt (vgl. auch die Resultate in Becker *et al.*, 2017).

Tabelle 27 Ergebnisse der generalisierten Strukturgleichungsmodelle für die Berechnung der beiden latenten Variablen *PROFEES* (für eine Erhöhung von Abgaben/Gebühren aus dem Strassenverkehr) und *PROINFRA* (für eine stärkere finanzielle Unterstützung der öffentlichen Infrastruktur mit Einnahmen aus dem Strassenverkehr)

Variable	PROFEES	Variable	PROINFRA
Einführung Tunnelgebühren	1 (Ref.)	Einnahmen für ÖV	1 (Ref.)
Einf. Stosszeitgebühren	1.811	Einnahmen für Langsamverk.	1.598
Erhöhung Benzinpreis	3.853	Einnahmen für Agglo.	0.930
Einf. Parkplatzgebühren	1.068	Einnahmen f. Umsteigeknoten	1.208
Abgestufte Preise im ÖV	0.249	Einnahmen für Sicherheit	1.245
Einnahmen für Strassenverk.	-1.227	Einnahmen für Umwelt	1.740
Alter [Jahre]	0.007	Mann	-0.272
Einkommen / 10'000 [CHF]	0.183	GA Abonnement	0.464
ÖV Abo. (HT, GA, Verbund)	0.313	Autoverfügbarkeit: immer	-0.394
Gemeindetyp: urban	0.122	Sprachregion: Franz.	0.397
Autoverfügbarkeit: immer	-0.336	Ital.	0.938
Sprachregion: Franz.	-0.249	Schweizer Staatsbürger	0.224
Ital.	-0.272	Analyseregion 3	0.159
Ausbildung > höhere FS	0.233	-	-
Veloverfügbarkeit: immer	0.211	-	-
Varianz PROFEES	0.309	Varianz PROINFRA	1.043
Anzahl Personen	993	Anzahl Personen	993
Anzahl geschätzte Parameter	27	Anzahl geschätzte Parameter	25
Log-likelihood	-4'982	Log-likelihood	-3'611

Nur Verwendung von soziodemographischen Variablen, die auf dem 5% Niveau signifikant sind.

Cut-off Koeffizienten des Ordered Logit Messmodells sind nicht aufgeführt (alle signifikant auf 5% Niveau).

Bei näherer Betrachtung von *PROINFRA* in Tabelle 27 zeigt sich, dass speziell die Frage, ob mehr in den Umweltschutz investiert werden soll (*Einnahmen für Umwelt*), die stärkste Erklärungskraft aufweist, während die Frage, ob die Einnahmen für die Milderung der Verkehrsprobleme in den Agglomerationen (*Einnahmen für Agglo.*) verwendet werden sollen, einen vergleichsweise geringen Effekt zeigt. Wiederum zeigen auch die Effekte soziodemographischer Variablen ein interessantes Muster: Vorwiegend weibliche GA Besitzer ohne Auto aus französischen und italienischen Sprachregionen mit Schweizer Staatsbürgerschaft weisen eine signifikant höhere *PROINFRA* Einstellung auf (vgl. auch die Resultate in Becker *et al.*, 2017). An dieser Stelle sind die leicht widersprüchlichen Einstellungen der Befragten aus französischen und italienischen Sprachregionen zu erwähnen: Während diese Bevölkerungsgruppe eine Erhöhung der verkehrlichen Abgaben signifikant ablehnt, wünschen sie sich gleichzeitig eine Erhöhung der Ausgaben im Infrastrukturbereich.

4.2.3 Interaktionseffekte der Angebotsvariablen mit den latenten Variablen

Im folgenden Abschnitt wird untersucht, wie sich die Heterogenität in der Bewertung von Angebotsvariablen sowie den Wahlwahrscheinlichkeiten für verschiedene Verkehrsmittel anhand der beiden latenten Variablen erklären lässt. Während in Abschnitt 4.2.2 die Interpretation der beiden Variablen beschrieben wurde, und wie sie anhand von (exogenen) soziode-

mographischen Charakteristiken erklärt werden können, werden nun die berechneten Werte dieser beiden Variablen als erklärende Faktoren in das Entscheidungsmodell integriert. Auf die zusätzlichen Effekte der soziodemographischen Charakteristiken auf die Wahlwahrscheinlichkeiten wurde hier verzichtet, da, wie in Tabelle 27 gezeigt wurde, diese teilweise stark mit den latenten Variablen korreliert sind, was ein sogenanntes Multikollinearitätsproblem mit sich bringen würde (Maddala und Lahiri, 2009). Hingegen wurden die nicht-linearen Interaktionseffekte mit der Distanz und dem Einkommen als Kontrollvariablen beibehalten.

Wiederum wurden die Verkehrsmittel- und Routenwahldaten *gepoolt* (siehe Abschnitt 4.1.1), um von einer möglichst grossen Stichprobe zu profitieren. Dies, da die Einstellungsfragen nur einer relativ kleinen Gruppe von Befragten gestellt wurden, was schlussendlich zu einem Schätzdatensatz von 12'670 Entscheidungsbeobachtungen von 993 Befragten führt. Da das Interesse in diesem Abschnitt hauptsächlich den Effekten der beiden latenten Variablen gilt, und diese sich zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten nicht signifikant unterscheiden (siehe Abschnitt 4.2.2), wurden auch die Haupteffekte aller Angebotsvariablen von Anfang an alle gemeinsam geschätzt, wobei nur die Skalenparameter für eine unterschiedliche Varianz in den beiden SP-Befragungen kontrolliert wurden.

Tabelle 33 in Anhang A6 zeigt die Schätzergebnisse von vier Modellen, wobei das erste (Basismodell) als Vergleich dient, wie viel zusätzliche Erklärungskraft von den Modellen mit Effekten der beiden latenten Variablen direkt auf die Wahlwahrscheinlichkeiten der Verkehrsmittel (Modell 2), den Interaktionseffekten (vgl. Maddala und Lahiri, 2009) der latenten Variablen mit allen Angebotsvariablen (Modell 3) sowie einem *Mixed-Logit*-Modell mit Fehlerkomponenten (Modell 4) für die Fuss, Velo und ÖV Alternative (relativ zur MIV Alternative) ausgeht. Letzteres ist ein sogenanntes *Random-Effects*-Modell (Hensher, 2001; Train, 2003), wobei die unbeobachtete Präferenz für ein bestimmtes Verkehrsmittel mittels Zufallsziehungen aus einer Normalverteilung simuliert wird. In diesem Fall führt dies zu drei zusätzlichen Parametern im Modell: die Standardabweichungen in den alternativenspezifischen Konstanten. Ein *Fixed-Effects*-Modell (Baltagi, 2008) wurde an dieser Stelle aus mehreren Gründen nicht in Betracht gezogen: Experimentaldaten, wie z.B. aus SP Befragungen, haben idealerweise die Eigenschaft, dass die Attribute und (unbeobachteten) Charakteristiken der Befragten unkorreliert sind, was für die Anwendung eines *Random-Effects*-Modells spricht (Allison, 2005). Ausserdem würden sich alle erklärenden Variablen ohne Variation innerhalb eines Befragten (so auch die Effekte der latenten Variablen auf die Wahlwahrscheinlichkeiten) rauskürzen, was nicht im Sinne dieser Analyse wäre.

Es ist interessant zu sehen, dass durch Hinzufügen von nur sechs zusätzlichen Parametern in Modell 2 (die Effekte von *PROFEES* und *PROINFRA* auf die Wahlwahrscheinlichkeiten von

zu Fuss, Velo und ÖV; mit MIV als Referenz), etwas mehr als die Hälfte an zusätzlicher Erklärungskraft gewonnen wird (Erhöhung im ρ^2 um 0.025) im Vergleich zur Gesamtheit an soziodemographischen Variablen (Erhöhung im ρ^2 um 0.047 mit 43 zusätzlichen Parametern; siehe Tabelle 11). Trotzdem muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Effekte, sei es durch Hinzufügen von soziodemographischen Charakteristiken oder latenten Variablen, teilweise zwar hochsignifikant sind, relativ betrachtet jedoch nur wenig an zusätzlicher Erklärungskraft beitragen. Dies spricht für den Befund (wie für Modell 4 eindrücklich gezeigt; Erhöhung des ρ^2 um 0.153 im Vergleich zu Modell 3), dass ein grosser Teil der Verhaltensheterogenität nicht durch beobachtbare oder latente Variablen erklärt werden kann, sondern rein zufälliger Natur ist, respektive – gegeben die hier vorliegenden Daten – nicht direkt beobachtet werden kann. Ein typischer Treiber für solche unbeobachteten Präferenzen ist, wie weiter oben bereits erwähnt, die Gewohnheit: Da sie auf vergangenem (automatisiertem) Verhalten basiert, kann sie kaum durch soziodemographische Charakteristiken alleine erfasst werden, und müsste zusätzlich mit Hilfe von weiteren Einstellungsfragen explizit erfasst werden. Solche unbeobachtete Heterogenität kann zwar mit Hilfe eines *Mixed-Logit*-Modells berücksichtigt werden (und führt tendenziell auch zu präziseren Bewertungsindikatoren; vgl. Hensher, 2001), bleibt aber dennoch unerklärbar (Axhausen *et al.*, 2007). An dieser Stelle zeigt sich auch der enorme Rechenaufwand, um ein solches Modell zu schätzen: mit nur 250 Zufallsziehungen für die Approximation des drei-dimensionalen Integrals beträgt die Rechenzeit (auf vier Prozessoren) bereits 4'492 Minuten, 46 mal länger als für Modell 3. Ein Vergleich der Bewertungsindikatoren und deren Standardfehler zwischen dem MNL (Abbildung 45) und dem *Mixed-Logit*-Modell (Abbildung 61) zeigt jedoch keine substantiellen Unterschiede, ausser dass die Fuss- und Veloreisezeiten im *Mixed-Logit*-Modell im Durchschnitt noch etwas höher bewertet werden als im MNL.

Die Effekte der latenten Variablen in Modell 2 lassen sich wie folgt interpretieren: Befragte, die positiver gegenüber einer Erhöhung von verkehrlichen Abgaben eingestellt sind (*PROFEES*), zeigen eine signifikant höhere Wahlwahrscheinlichkeit der Fuss, Velo und ÖV-Alternativen (relativ zu MIV), was aufgrund der in Abschnitt 4.2.2 diskutierten Befunde der Strukturgleichungsmodelle wenig überraschend ist. Ähnliches gilt auch für die Einstellung gegenüber einer Erhöhung der Ausgaben im Infrastrukturbereich (*PROINFRA*), wobei der Effekt nur für die Wahlwahrscheinlichkeit von ÖV signifikant ist. Auch in Becker *et al.* (2017) wurde gezeigt, dass beide Arten von Einstellungen (*PROFEES* und *PROINFRA*) signifikant mit dem Besitz eines ÖV Abonnements (GA und Verbundkarte) einhergehen, was logischerweise dazu führt, dass solche Befragte eher die ÖV Alternative wählen.

Die zusätzlichen Interaktionseffekte der latenten Variablen mit den Angebotsvariablen in Modell 3 lassen sich wie folgt interpretieren: Für den „durchschnittlichen Befragten“ sind die

Interaktionseffekte nicht zu berücksichtigen, da die beiden latenten Variablen auf 0 zentriert wurden (siehe Abschnitt 4.2.2). Ist ein Interaktionseffekt signifikant, so zeigen Befragte mit einem höheren Wert in der latenten Variable eine höhere oder tiefere (je nach Vorzeichen) Wirkung in der Bewertung dieser Angebotsvariable (Tabelle 33, Spalte 3). Befragte, die positiver gegenüber einer Erhöhung von verkehrlichen Abgaben eingestellt sind (*PROFEES*), zeigen eine signifikant ($p < 0.05$) niedrigere Wirkung der Parkkosten und der Auslastung im ÖV, während die Umsteigewartezeit eine signifikant stärkere Wirkung zeigt. Befragte, die positiver gegenüber einer Erhöhung der Ausgaben im Infrastrukturbereich (*PROINFRA*) eingestellt sind, zeigen eine signifikant höhere Kostensensitivität. Letzteres ist insofern spannend, da ähnlich wie in Abou-Zeid *et al.* (2011) und Schmid *et al.* (2016) negative Einstellungen gegenüber MIV (gemäss der Definition von *PROINFRA* einhergehend mit höherem Umweltbewusstsein, positiven Einstellungen gegenüber ÖV und niedrigerer Autoverfügbarkeit) auch zu einer stärkeren Bewertung der Reisekosten führte. Alles in allem führt jedoch die Einführung der Interaktionsterme (32 zusätzliche Parameter) nur zu einer marginalen, wenn auch signifikanten (siehe auch AICc in Tabelle 33; Akaike-Kriterium korrigiert für die Stichprobengrösse und Anzahl Parameter; je kleiner der Wert, desto besser) Erhöhung in der Modellgüte (Erhöhung des ρ^2 um 0.008).

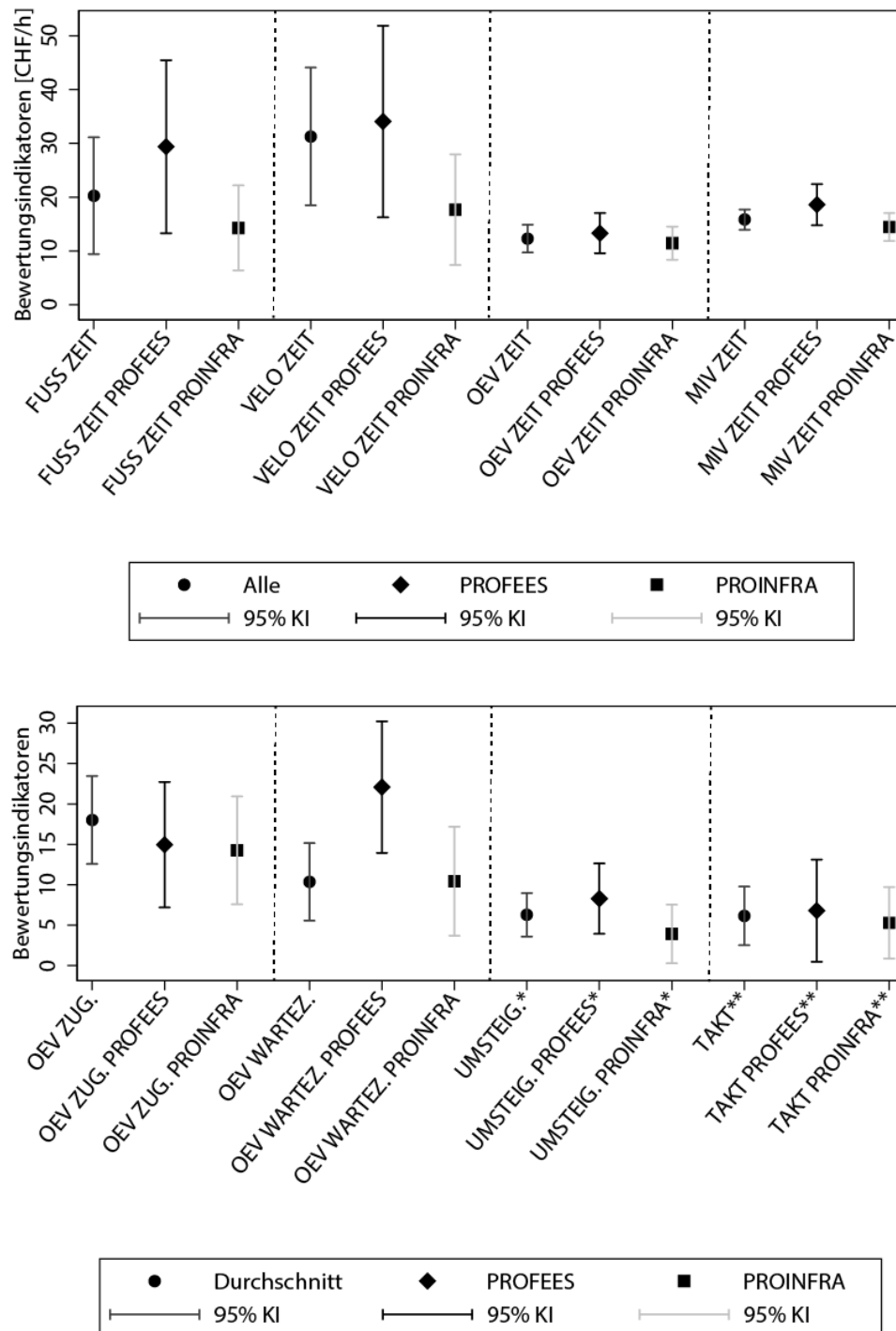
Um die Unterschiede im eigentlichen Verhalten besser zu verstehen, werden wiederum die Bewertungsindikatoren hinzugezogen, welche in Abbildung 45 dargestellt sind, wobei für die beiden latenten Variablen eine Erhöhung von je einer Einheit (vgl. dazu Abbildung 44, für eine Übersicht der Wertebereiche der latenten Variablen) graphisch dargestellt ist. Auf den ersten Blick ist klar: Keiner der Bewertungsindikatoren für Befragte mit positiveren *PROFEES*- und *PROINFRA*-Einstellungen unterscheidet sich signifikant vom Durchschnitt. Trotzdem gibt es einige hervorzuhebende Einsichten: Befragte mit positiveren *PROFEES*-Einstellungen zeigen tendenziell höhere Zahlungsbereitschaften als der Durchschnitt, während Befragte mit positiveren *PROINFRA*-Einstellungen tendenziell niedrigere Zahlungsbereitschaften zeigen (auf Grund der höheren Kostensensitivität). Während Befragte mit positiveren *PROFEES*-Einstellungen höhere Bewertungen der Fuss- und Veloreisezeit im Vergleich zur MIV- und ÖV-Reisezeit aufweisen, unterscheiden sich diese für Befragte mit positiveren *PROINFRA*-Einstellungen substantiell weniger stark. Ausserdem zeigen Erstere auch eine knapp signifikant, aber substantiell höhere Bewertung der Umsteigewartezeit als der durchschnittliche Befragte. Wie bereits in Abschnitt 4.1.3 erwähnt, kann die Wartezeit eher nicht für produktive Aktivitäten genutzt werden, was in diesem Fall damit in Verbindung gebracht werden kann, dass Befragte mit positiveren *PROFEES*-Einstellungen tendenziell einer produktiveren Bevölkerungsschicht angehören (vgl. Tabelle 27; höheres Einkommen und bessere Ausbildung).

4.2.4 Schlussfolgerungen zu den verkehrspolitischen Einstellungen

In diesem Abschnitt wurde anhand der in den beiden MZMV-Erhebungen 2010 und 2015 zusätzlich abgefragten verkehrspolitischen Einstellungen gezeigt, ob und inwiefern sich das Verkehrsverhalten für zwei Arten von Einstellungen unterscheidet: Befragte, die positiver gegenüber einer Erhöhung von verkehrlichen Abgaben aus dem Strassenverkehr eingestellt sind (*PROFEES*), und solche, die positiver gegenüber einer Erhöhung der Ausgaben im Infrastrukturbereich (*PROINFRA*) eingestellt sind. In den Strukturgleichungsmodellen konnten die beiden (latenten) Einstellungen anhand von (beobachtbaren), soziodemographischen Charakteristiken definiert werden, welche anschliessend als erklärende Variablen in die Verkehrsmittel- und Routenwahlmodelle eingeführt wurden.

Unter Berücksichtigung dieser beiden Einstellungsvariablen im Entscheidungsmodell konnte nachgewiesen werden, dass sie signifikante Effekte auf die Wahlwahrscheinlichkeiten der verschiedenen Verkehrsmittel und auf die unterschiedliche Wirkung von Angebotsvariablen haben, was speziell für die Verkehrspolitik relevant ist. Beispielsweise können anhand der Resultate des Strukturgleichungsmodells Vorhersagen der verkehrspolitischen Einstellungen für verschiedene Nutzergruppen getroffen werden, die dann wiederum einen Einfluss auf die Wahl der Verkehrsmittel sowie die Wirkung der Angebotsvariablen haben. Jedoch konnte unter Berücksichtigung dieser Einstellungen keine substantielle Verbesserung in der Erklärungskraft des Modells erzielt werden. Auch anhand der Bewertungsindikatoren konnten keine signifikanten Unterschiede, respektive Abweichung zum Durchschnitt, ermittelt werden (Abbildung 45). Speziell die Resultate des *Mixed-Logit*-Modells haben eindrücklich gezeigt, dass am Beispiel der Präferenzen für ein Verkehrsmittel diese nicht durch die verkehrspolitischen Einstellungen, sondern hauptsächlich durch unbeobachtete Heterogenität, „erklärt“ werden können. Inwiefern andere Variablen und/oder Einstellungen, wie z.B. Gewohnheiten, soziale Normen oder Persönlichkeitszüge, einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten ausüben, wäre Gegenstand weiterer Studien. In einem weiteren Schritt wäre es auch interessant zu sehen, wie die Berücksichtigung von Verteilungen in den Angebotsvariablen (Geschmacksheterogenität; Hensher, 2001) die Modellerklärungskraft verbessern würde, und wie sich eine simultane Schätzung der Einstellungen und Entscheidungsmodelle (*Hybrid-Choice*-Ansatz; Ben-Akiva *et al.*, 2002) auf die Resultate auswirken würde.

Abbildung 45: Vergleich der geschätzten Bewertungsindikatoren für Interaktionsmodelle mit den latenten Variablen *PROFEES* (für eine Erhöhung von Abgaben/Gebühren aus dem Strassenverkehr) und *PROINFRA* (für eine stärkere finanzielle Unterstützung der öffentlichen Infrastruktur aus Einnahmen aus dem Strassenverkehr): Effekte einer Erhöhung von *PROFEES* und *PROINFRA* um jeweils eine Einheit. Normierung von Indikatoren zur übersichtlicheren Darstellung: * = Umsteigen mal Faktor 5; ** = Takt mal Faktor 2



Wie bereits in der Einleitung von Abschnitt 4.2 dargelegt wurde, eignen sich die hier dargelegten Verfahren für die Entwicklung eines nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) nicht, da die Einstellungen nicht direkt beobachtbar sind. Ausserdem konnte am Beispiel der Bewertung von Angebotsvariablen gezeigt werden, dass unterschiedliche verkehrspolitische Einstellungen zu keinen signifikanten Abweichungen im Vergleich zu den durchschnittlichen Bewertungsindikatoren führen. Damit wird der marginale Nutzen einer solchen Analyse (gegeben die verfügbaren Daten) im Vergleich zum zusätzlichen Aufwand in Frage gestellt. Auf der anderen Seite ist eine Analyse dieser Einstellungen hilfreich, um das Verhalten verschiedener Bevölkerungsgruppen in Bezug auf aktuelle verkehrspolitische Massnahmen besser zu verstehen, und führt, wie in diesem Abschnitt gezeigt wurde, zu teilweise spannenden und politisch relevanten Schlussfolgerungen – speziell was die Zusammenhänge der Einstellungen mit soziodemographischen Charakteristiken betrifft.

4.3 Bahn- und Fernverkehr

Im folgenden Abschnitt soll untersucht werden, inwiefern sich das Verkehrsverhalten und die Bewertung von Angebotsvariablen im Bahn- und Fernverkehr gegenüber dem MIV- und Mittelstreckenverkehr unterscheidet, wobei das Hauptinteresse im komparativen Vorteil der Bahn gegenüber anderen Verkehrsmitteln liegt. In der Literatur auch bekannt als der „Schienenbonus“ im ÖV (z.B. Axhausen *et al.*, 2001; Monheim, 1997), wird oftmals der Vorteil vom Schienen- gegenüber dem Busnahverkehr als Folge höherer Zuverlässigkeit und Komfort betont. In der Studie von Axhausen *et al.* (2001) konnte beispielsweise anhand der Analyse von RP/SP-Daten zur Verkehrsmittelwahl in Dresden (D) gezeigt werden, dass eine schwache, aber konsistente Präferenz für den Schienenverkehr besteht, die sich in entsprechend tieferen Zeitwerten aufgrund des höheren Komforts widerspiegelt. Andererseits wurde die Präferenz für eine niedrigere Anzahl an Umsteigevorgängen im Schienenverkehr im Vergleich zu anderen öffentlichen Verkehrsmitteln dadurch erklärt, dass die Befragten höhere Erwartungen an die Servicequalität des Schienenverkehrs hatten.

Ähnliche Schlussfolgerungen betreffend der tieferen Bewertung der Reisezeit für den Schienenverkehr (im Vergleich zum MIV) ergab eine Studie von Limtanakool *et al.* (2006) für den Mittel- und Langstreckenverkehr in Holland. Es wurde argumentiert, dass u.a. diese Bewertung deshalb tiefer ausfällt, weil die Zeit im Zug produktiver genutzt werden kann (vgl. Mokhtarian und Salomon, 2001; Wardman *et al.*, 2016), ein Befund, der Bereits in Abschnitt 4.1.3 eingehend diskutiert wurde. In einer Arbeit von Börjesson und Eliasson (2014) zur schwedischen Zeitwertstudie wurden höhere Zeitwerte für die Bahn als den Bus ausgewiesen, was jedoch über eine gewisse Selbstselektion der Benutzer zustande kommen kann: Flügel (2014) hat für norwegische Daten gezeigt, dass in diesem Fall der „User Effekt“ gegenüber dem „Mode Effekt“ dominiert, sprich einkommensstärkere und zeitsensitivere Reisende bevorzugen die Bahn gegenüber dem Bus, was infolgedessen zu einem höheren Zeitwert führt, obwohl die Zeit in der Bahn generell als angenehmer empfunden wird (vgl. Litman, 2008). In einer Schweizer Studie von Vrtic und Axhausen (2001) wurde die relative Bewertung von Angebotsvariablen im Regional- und Fernverkehr mit der Bahn anhand von SP-Routenwahldaten analysiert und zwischen soziodemographischen Gruppen und Fahrtzwecken unterschieden. Es zeigte sich beispielsweise, dass Pendler kostensensitiver sind als Reisende, die zu anderen Zwecken unterwegs sind, und GA-Nutzer die Umsteigewartezeit und den Service höher bewerten. Die berechneten Bewertungsindikatoren liegen in qualitativ vergleichbaren Bereichen wie in dieser Studie. Ein direkter Vergleich zwischen Mittel- und Langstreckenverkehr sowie eine Untersuchung zum komparativen Vor- oder Nachteil der Bahn gegenüber anderen ÖV wurde noch nie empirisch für die Schweiz überprüft und soll in den folgenden Abschnitten genauer untersucht werden.

4.3.1 Datengrundlage und Methodik

Die Datengrundlage bilden die Verkehrsmittel- und Routenwahlentscheidungen der SP-Befragung 2015, wobei für alle RP-Wege zusätzlich ermittelt wurde, welches das Hauptverkehrsmittel (HVM) der ÖV Alternative ist respektive wäre (falls der ÖV nicht gewählt wurde). Die Ermittlung des HVM wurde hierarchisch definiert: Wenn das Verkehrsmittel mit der höchsten Priorität im Weg vorkommt, ist es auch das HVM, ansonsten das mit der nächsthöchsten Priorität, und so weiter. Die Reihenfolge ist dabei: Bahn, S-Bahn, Postauto, Tram, Bus. Darauf basierend wurde in den Routenwahlexperimenten das HVM als Teil des Versuchsplans eingebaut, um den inhärenten Vor- oder Nachteil einer Verbindung abzubilden (vgl. Abschnitt 2.2.7 und ARE, 2016, für eine detaillierte Übersicht zum Versuchsplan), sowie die ÖV-Alternative in den SP-Verkehrsmittelwahlexperimenten generiert.

In dieser Untersuchung werden zwei verschiedene Ansätze und deren Auswirkungen auf das Verhalten getestet und anschliessend miteinander verglichen. Der erste Ansatz dient dabei hauptsächlich als Kontrolle, um zu sehen, inwiefern sich die Bahnverfügbarkeit unterschiedlich auf das Verhalten auswirkt im Vergleich zum Fernverkehr, wo die Bahn immer verfügbar ist, da die Distanz und Bahnverfügbarkeit stark positiv korreliert sind ($r = 0.50$; $p < 0.01$):

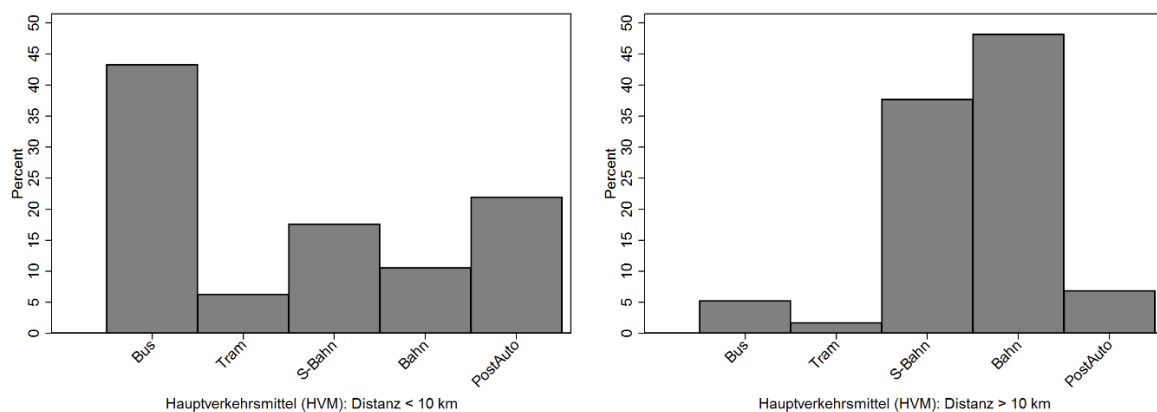
- Die unterschiedliche Bewertung von Angebotsvariablen für Mittel- (zwischen 10 und 40 km) und Langstreckenwege (grösser als 40 km), wenn die Bahn als HVM verfügbar ist, wobei nur Wege länger als 10 km (Start-Ziel-Distanz) betrachtet werden. Die Trennung bei 40 km wurde basierend auf einem Mediansplit gewählt (50% der Beobachtungen sind > 40 km; 8'760 Entscheidungsbeobachtungen von 766 Befragten, die anderen 50 % liegen zwischen 10 und 40 km; 8'496 Entscheidungsbeobachtungen von 723 Befragten), was zu einer Gleichverteilung in der Anzahl Beobachtungen in den beiden Samples führt.
- Die unterschiedliche Bewertung von Angebotsvariablen, wenn die Bahn als HVM (nicht) verfügbar ist, wobei nur Wege länger als 10 km betrachtet werden (35'607 Entscheidungsbeobachtungen von 2'988 Befragten).

Die ausschliessliche Betrachtung von Wegen über 10 km beruht auf folgenden Beobachtungen: Für Distanzen unter 10 km ist der Anteil der Bahn als HVM praktisch vernachlässigbar (11%), der Bus hingegen das häufigste HVM (43%), wie in Abbildung 46 links dargestellt ist. Dazu kommt der Anteil von Tram mit 6%, S-Bahn mit 18% und PostAuto mit 22%. Da das Hauptinteresse im komparativen Vorteil der Bahn gegenüber anderen (öffentlichen) Verkehrsmitteln liegt, wäre ein Vergleich der unterschiedlichen Bewertungen von Angebotsvariablen nicht sehr aussagekräftig, wenn Kurzstreckenwege, wo die Bahn oftmals gar nicht verfügbar ist, auch enthalten wären. Mit dieser Vorgehensweise wird somit eine Durchmischung

mit dem Nahverkehr vermieden, wobei unter dieser Restriktion die Bahn als HVM etwa 48% aller Fälle abdeckt, gefolgt von S-Bahn (37%), PostAuto (8%), Bus (5%) und Tram (2%).

Die eigentliche Ermittlung eines „Schienenbonus“, wie im vorherigen Abschnitt angedeutet, wäre – wenn denn überhaupt vorhanden – in dieser Analyse folglich mehr als ein „Bahn-im-Fernverkehr-Bonus“ zu interpretieren, was darauf zurückzuführen ist, dass vor allem die S-Bahn als öffentliches Konkurrenzverkehrsmittel für mittlere bis lange ÖV Distanzen verfügbar ist. Folglich wird es nicht einfach sein, einen solchen Effekt zu identifizieren, da sich beide Verkehrsmittel doch ziemlich ähnlich sind (eine Zusammenfassung der Bahn und S-Bahn Wege wäre auf den ersten Blick zwar vorzuziehen, ist aber aufgrund der vorliegenden Daten nicht zu empfehlen: Erstens würde diese Gruppe den grössten Anteil, 85%, der Gesamtbeobachtungen ausmachen und zweitens wäre ein Vergleich zu anderen ÖV aufgrund der nochmals deutlich kürzeren Wegedistanzen noch weniger angebracht).

Abbildung 46 Verfügbarkeit verschiedener Hauptverkehrsmittel im ÖV für kleine (< 10 km) und mittlere (in Anbetracht der Wegeverteilung) bis grosse Distanzen (> 10 km).

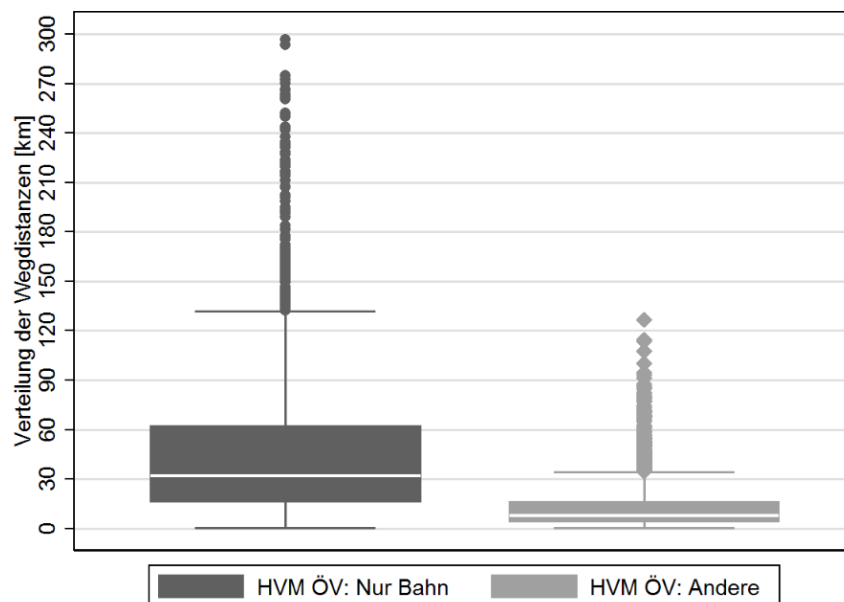


Die Verteilung der Wegedistanzen unterscheidet sich signifikant und substantiell zwischen den beiden ÖV-Segmenten „HVM ÖV: Nur Bahn“ und „HVM ÖV: Andere“, wie in Abbildung 47 dargestellt ist. Während 50% aller Wege, wo die Bahn als HVM verfügbar ist, über 30 km lang sind, sind bei den anderen ÖV 50% aller Wege nur über 8 km lang. Dies führt zu einer weiteren wichtigen Implikationen für die folgenden Entscheidungsmodelle: Die nicht-linearen Interaktionsterme werden nicht weiter berücksichtigt, da starke Korrelationen zwischen der Distanz und dem HVM auftreten würden (folglich ein Multikollinearitätsproblem; vgl. Maddala und Lahiri, 2009), was zu instabilen Resultaten führen kann. Selbst beim aktuellen Vorgehen wird es schwierig sein, zu ermitteln - speziell im zweiten Fall, wenn die Effekte der Angebotsvariablen zwischen „HVM ÖV: Bahn“ und „HVM ÖV: Andere“ mittels Interaktionstermen unterschieden werden – ob sich die Effekte auf die unterschiedlichen HVM oder die Distanz beziehen, was ein sehr typisches Problem in vielen ökonometrischen Anwendun-

gen ist (z.B. Smith *et al.*, 2009). Deshalb werden zusätzlich auch nach Distanz segmentierte Modelle geschätzt, um zu überprüfen, inwiefern sich die Bewertung der Angebotsvariablen auch innerhalb der „HVM ÖV: Nur Bahn“-Stichprobe unterscheidet.

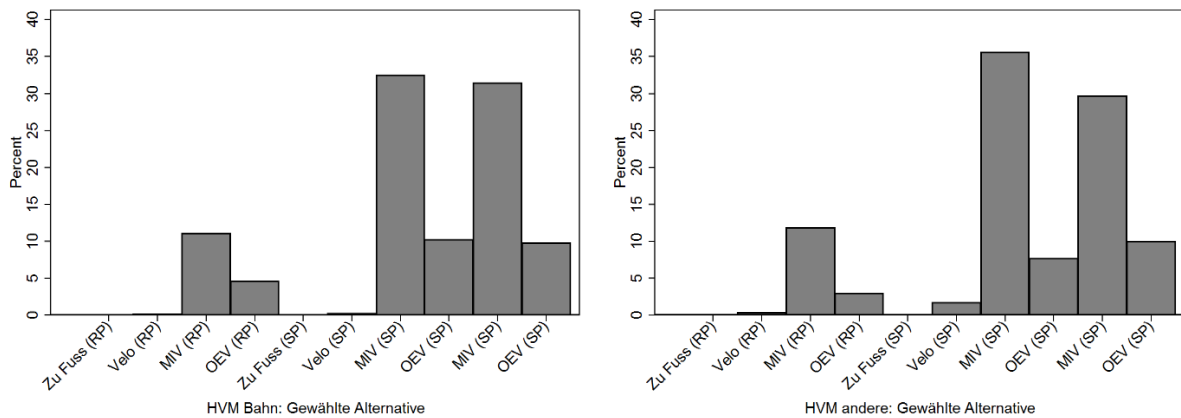
Sollten nun in beiden Ansätzen die Bewertungsindikatoren ähnliche Werte respektive ähnliche Unterschiede aufweisen, so wäre der Effekt des HVM direkt auf die grösseren Distanzen zurückzuführen, die typischerweise eher mit der Bahn zurückgelegt werden, als auf das eigentlich verfügbare HVM.

Abbildung 47 Verteilung der Distanzen für Wege, wo das Hauptverkehrsmittel Bahn (nicht) verfügbar ist.



Ferner soll hier gezeigt werden, wie sich das deskriptive Entscheidungsverhalten unterscheidet, wenn „HVM ÖV: Bahn“ (nicht) verfügbar ist (für Wegdistanzen grösser als 10 km), wie in Abbildung 48 dargestellt ist. Als erstes zeigt sich, dass in beiden Fällen der Langsamverkehr praktisch vernachlässigbar wird, was in den folgenden Modellen dazu führt, dass die Velo und Zu Fuss Alternativen nicht weiter berücksichtigt werden. Ein anderer wichtiger Unterschied zeigt sich in der relativen Auswahlhäufigkeit, wobei jene für ÖV klar grösser ist in jenem Fall, wo die Bahn verfügbar ist. Auch hier würde das Bild stark verzerrt respektive eine schlüssige Interpretation verunmöglicht, wenn zusätzlich kurze Wege unter 10 km betrachtet würden.

Abbildung 48 Deskriptives Entscheidungsverhalten in der RP und SP Verkehrsmittelwahl, wenn das Hauptverkehrsmittel Bahn (nicht) verfügbar ist (Distanz > 10 km).



4.3.2 Nach Distanz segmentierte Modelle mit Bahn als Hauptverkehrsmittel

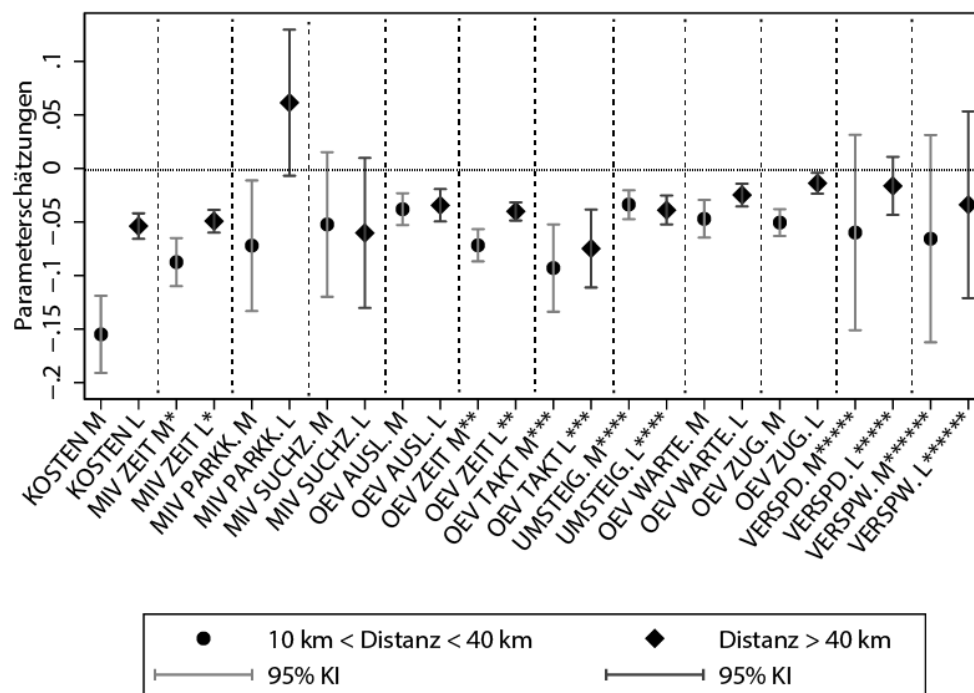
Als erstes soll untersucht werden, inwiefern sich das Verhalten für mittlere (10 – 40 km) und lange (> 40 km) Wege unterscheidet, wenn die Bahn als HVM immer verfügbar ist (vgl. Abschnitt 4.3.1). In beiden Fällen wurden die RP und SP Verkehrsmittelwahl- sowie die MIV und ÖV Routenwahlmodelle *gepoolt* geschätzt, wobei für die jeweiligen Skalenunterschiede kontrolliert wurde (vgl. Abschnitt 4.1.1). Die vollständigen Resultate sind im Appendix A7 in Tabelle 34 dargestellt.

Bei Betrachtung der Unterschiede in den geschätzten Koeffizienten wird dieselbe Notation wie in Abschnitt 4.1 verwendet, wo auch die Methodik für das Testen von Unterschieden in geschätzten Koeffizienten eingehend beschrieben wurde: Überlappen sich zwei Konfidenzintervalle nicht, so sind die Effekte signifikant unterschiedlich (hier wurde das 5% Niveau aufgrund der substantiell kleineren Stichproben gewählt; in *kursiv* die Beschriftung in Abbildung 49, wobei *M* für $10\text{ km} < \text{Distanz} < 40\text{ km}$ und *L* für $\text{Distanz} > 40\text{ km}$ steht):

- Fahrtkosten (MIV, ÖV):
 - *KOSTEN M, KOSTEN L*
- Fahrtzeit (Zu Fuss, MIV, ÖV, Velo):
 - *MIV ZEIT M, MIV ZEIT L*
 - *OEIV ZEIT M, OEIV ZEIT L*
- Parkkosten (MIV):
 - *MIV PARKK. M, MIV PARKK. L*
- Parkplatzsuchzeit (MIV):
 - *MIV SUCHZ. M, MIV SUCHZ. L*

- Auslastung (ÖV):
 - *OEVAUSL. M, OEVAUSL. L*
- Anzahl Umsteigevorgänge (ÖV):
 - *UMSTEIG. M, UMSTEIG. L*
- Takt (ÖV):
 - *TAKT M, TAKT L*
- Umsteigewartezeit (ÖV):
 - *OEVWARTE. M, OEVWARTE. L*
- Zugangszeit (ÖV):
 - *OEVZUG. M, OEVZUG. L*
- Verspätungsdauer (MIV/ÖV):
 - *VERSPD. M, VERSPD. L*
- Verspätungswahrscheinlichkeit (MIV/ÖV):
 - *VERSPW. M, VERSPW. L*

Abbildung 49 Vergleich segmentiertes Modell für mittlere (M) und lange (L) Distanzen, wo die Bahn als Hauptverkehrsmittel verfügbar ist: Unterschiede in geschätzten Koeffizienten. Normierung von Koeffizienten zur übersichtlicheren Darstellung: * = ÖV Zeit mal Faktor 2; ** = MIV Zeit mal Faktor 2; *** ÖV Takt mal Faktor 10; **** ÖV Umsteigevorgänge dividiert durch Faktor 5; ***** Verspätungsdauer und ***** Verspätungswahrscheinlichkeit dividiert durch Faktor 10



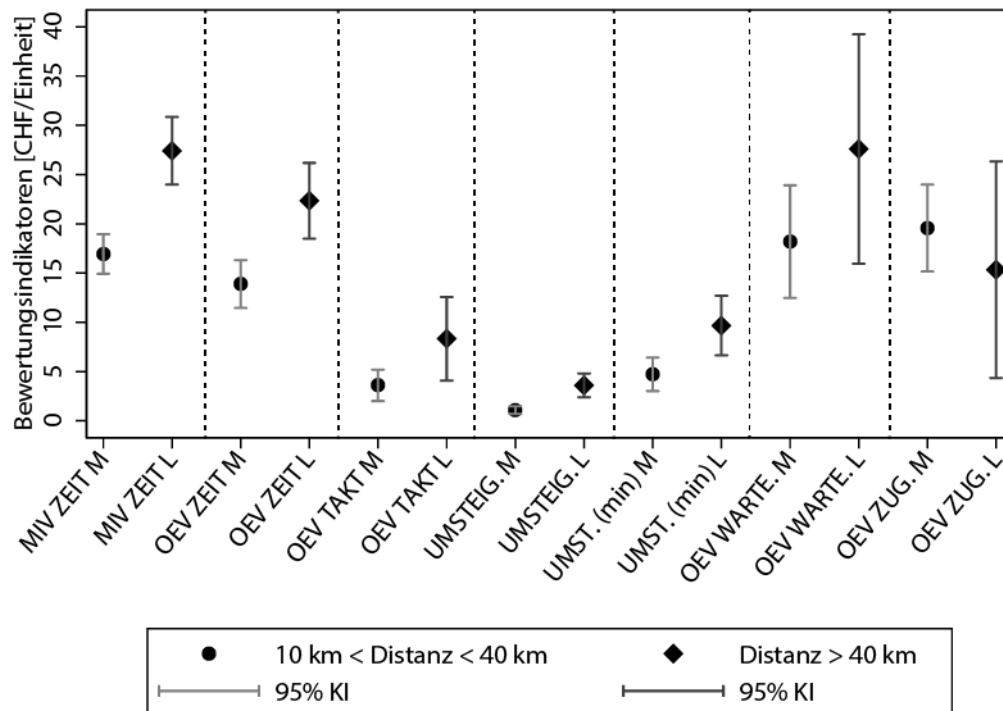
Während die meisten Effekte nicht signifikant unterschiedlich sind, zeigen die folgenden Angebotsvariablen einen signifikant und substantiellen Unterschied, wobei für grössere Distanzen die negative Wirkung in allen Fällen jeweils kleiner wurde (wiederum sind die Folgen auf das eigentliche Verhalten hier nur bedingt aussagekräftig; es könnten an dieser Stelle jedoch dieselben Schritte wie in Abschnitt 4.1.2 durchgeführt werden, um die nicht unterschiedlichen Parameter gemeinsam zu schätzen. Darauf soll hier aber nicht weiter eingegangen werden):

- Fahrtkosten (MIV, ÖV);
- Parkkosten (MIV);
- Fahrtzeit (MIV, ÖV);
- Zugangszeit (ÖV).

Speziell der Effekt der Parkkosten weist für längere Distanzen sogar ein positives Vorzeichen aus ($p < 0.1$; eine mögliche Erklärung ist, dass bei höheren Parkkosten die Befragten ihr Auto als besser aufgehoben empfinden, speziell dann, wenn sie an einen weiter entfernten Ort reisen), woraufhin diese Angebotsvariable sowie die nicht signifikant von null unterschiedlichen Koeffizienten für die Parkplatzsuchzeit, Verspätungsdauer und Verspätungswahrscheinlichkeit in der Analyse der Bewertungsindikatoren nicht weiter berücksichtigt werden. Die Interpretation ist, dass für längeren Distanzen (hier grösser als 40 km) diese Angebotsvariablen relativ zur gesamten Wegedauer und den Reisekosten nicht mehr so stark ins Gewicht fallen.

Betrachten wir nun die daraus berechneten Bewertungsindikatoren, so sehen wir, dass die Bewertung der MIV und ÖV Reisezeit als auch der Umsteigevorgänge (monetär und in ÖV Reisezeit gemessen) signifikant grösser ist für längere Distanzen, wie in Abbildung 50 dargestellt ist. Generell zeigt sich, dass alle Bewertungsindikatoren (ausser der Zugangszeit) grösser sind, was wiederum die Resultate in Abschnitt 4.1.3 für die nicht-linearen Interaktionsterme mit der Distanz untermauert: Für längere Distanzen nehmen die Bewertungsindikatoren (mit abnehmender Rate) tendenziell zu. Ein Befund, der auch in Abschnitt 3.5.1 eingehend diskutiert wurde.

Abbildung 50 Vergleich segmentiertes Modell für mittlere (M) und lange (L) Distanzen, wo die Bahn als Hauptverkehrsmittel verfügbar ist: Unterschiede in geschätzten Bewertungsindikatoren



Im Falle der höheren Bewertung der Umsteigevorgänge kann auch argumentiert werden, dass die Reisenden für längere Wege oftmals mehr Gepäck dabei haben, und die Umsteigewartezeiten an Bahnhöfen eher länger sind als beispielsweise an Bushaltestellen. Für den ÖV Takt sowie die ÖV Warte- und Zugangszeit zeigt sich jedoch, dass es keine signifikanten Unterschiede gibt. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Reisenden diese Angebotsvariablen weniger stark bewerten, weil sie relativ zur längeren Reisezeit weniger stark ins Gewicht fallen. Was die Wartezeit betrifft, so könnte für die Reisenden auch ein kurzer Bahnhofsbistro- oder Ladenbesuch willkommen sein, womit diese Angebotsvariable weniger negativ bewertet wird. Für den ÖV Takt ist für längere Distanzen typischerweise eine tiefere Frequenz zu erwarten, und der Planungshorizont für solche Reisen ist normalerweise länger, worauf sich die Reisenden gut einzustellen vermögen.

4.3.3 Interaktionseffekte der Angebotsvariablen mit dem verfügbaren ÖV Hauptverkehrsmittel

Im vorherigen Abschnitt wurde gezeigt, inwiefern sich das Verhalten im Bereich der Mittel- und Langstreckenwege unterscheidet, wenn die Bahn als HVM immer verfügbar ist. Diese Analyse diente hauptsächlich zu Kontrollzwecken, um in einem nächsten Schritt zu Verglei-

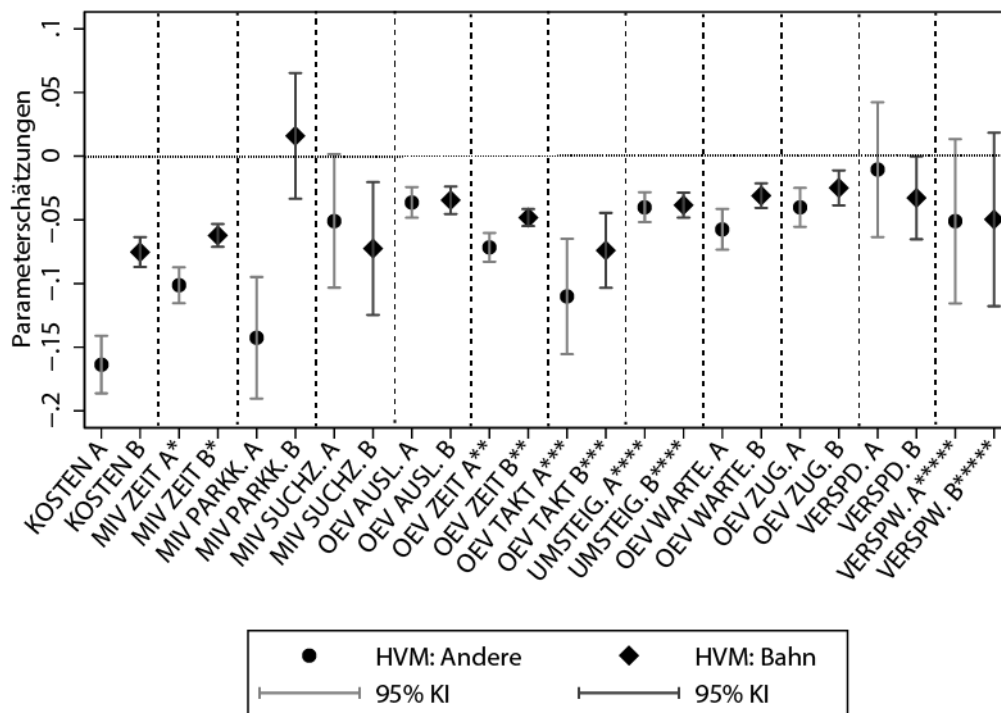
chen, wie sich das Verhalten für Wege unterscheidet, wo die Bahn als HVM (nicht) verfügbar ist, da Aufgrund der starken positiven Korrelation zwischen dem HVM und der Distanz die Effekte nicht sauber getrennt werden können. Sollten sich also die in diesem Abschnitt gezeigten Resultate von jenen in Abschnitt 4.3.2 substantiell unterscheiden, so könnte dies in der Tat dem HVM als solches zugeschrieben werden (die folgenden Angebotsvariablen wurden getestet, wobei *B* für *HVM: Bahn* und *A* für *HVM: Andere* steht):

- Fahrtkosten (MIV, ÖV):
 - *KOSTEN A, KOSTEN B*
- Fahrtzeit (Zu Fuss, MIV, ÖV, Velo):
 - *MIV ZEIT A, MIV ZEIT B*
 - *OEV ZEIT A, OEV ZEIT B*
- Parkkosten (MIV):
 - *MIV PARKK. A, MIV PARKK. B*
- Parkplatzsuchzeit (MIV):
 - *MIV SUCHZ. A, MIV SUCHZ. B*
- Auslastung (ÖV):
 - *OEV AUSL. A, OEV AUSL. B*
- Anzahl Umsteigevorgänge (ÖV):
 - *UMSTEIG. A, UMSTEIG. B*
- Takt (ÖV):
 - *TAKT A, TAKT B*
- Umsteigewartezeit (ÖV):
 - *OEV WARTE. A, OEV WARTE. B*
- Zugangszeit (ÖV):
 - *OEV ZUG. A, OEV ZUG. B*
- Verspätungsdauer (MIV/ÖV):
 - *VERSPD. A, VERSPD. B*
- Verspätungswahrscheinlichkeit (MIV/ÖV):
 - *VERSPW. A, VERSPW. B*

Der hier gewählte Ansatz für das Testen von Unterschieden in den Angebotsvariablen ist vergleichbar mit jenem in Abschnitt 4.1.2 und wird standardmässig in der Ökonometrie verwendet: Die Variable *Bahn* (siehe Tabelle 35, Abbildung 50 und Abbildung 52) beinhaltet die Information, ob die Bahn als HVM verfügbar ist oder nicht. Diese *Dummyvariable* wird mit

den Angebotsvariablen interagiert, um zu ermitteln, ob statistisch signifikante Unterschiede zwischen diesen beiden Fällen vorliegen (vgl. Maddala und Lahiri, 2009).

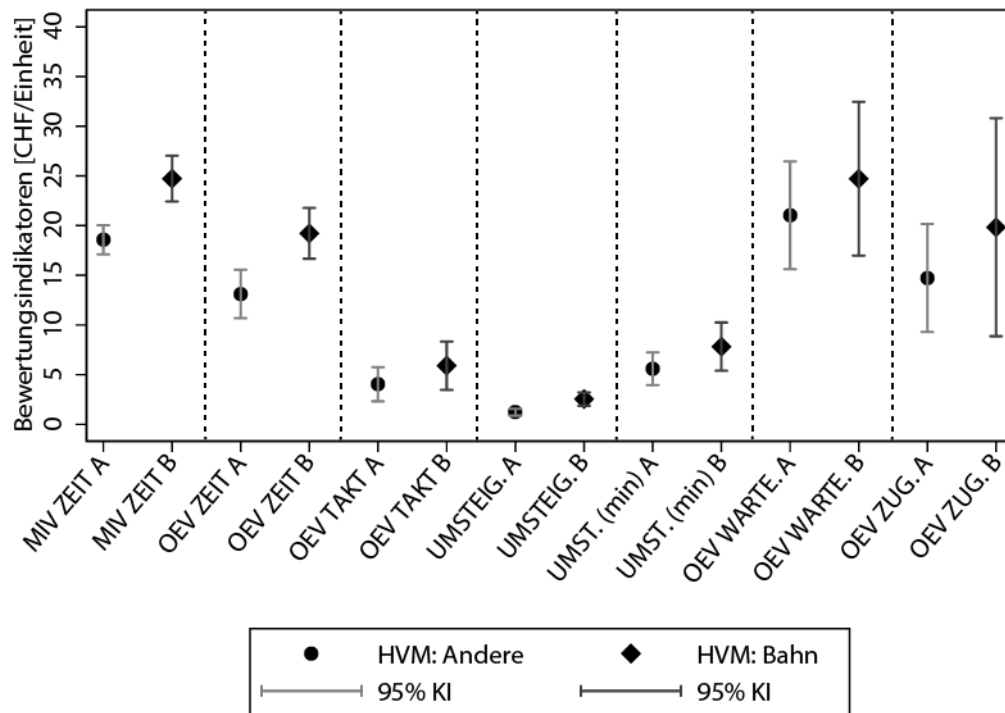
Abbildung 51: Vergleich der geschätzten Koeffizienten für Interaktionsmodelle mit Bahnverfügbarkeit als Hauptverkehrsmittel (Angebotsvariable x Bahn = Bahn verfügbar) für Distanzen > 10 km. Normierung von Koeffizienten zur übersichtlicheren Darstellung: * = MIV Zeit mal Faktor 2; ** = OEV Zeit mal Faktor 2; *** ÖV Takt mal Faktor 10; **** ÖV Umsteigevorgänge dividiert durch Faktor 5; ***** Verspätungsdauer und **** Verspätungswahrscheinlichkeit dividiert durch Faktor 10



Zusätzlich zum Gesamtmodell (Tabelle 35, Spalte 3), welches in Abbildung 51 dargestellt ist und für welches auch die Bewertungsindikatoren mit den Werten aus Abschnitt 4.3.2 verglichen werden, wurden auch die ÖV Routen- und Verkehrsmittelwahlmodelle separat analysiert, um bessere Rückschlüsse auf die Ursachen der Unterschiede zu treffen. Es zeigt sich beispielsweise, dass die hoch signifikanten Unterschiede in den Kosten (Abbildung 51) hauptsächlich auf das ÖV Routenwahlmodell zurückzuführen sind, während das RP/SP-Verkehrsmittelwahlmodell für sich alleine betrachtet keine signifikanten Unterschiede zeigt.

Auf den ersten Blick sieht Abbildung 51 praktisch identisch aus wie Abbildung 49: beide Abbildungen weisen generell weniger negative Wirkungen der Angebotsvariablen für längere Distanzen respektive für die Bahn als HVM aus, wobei die Kosten in beiden Fällen signifikant und substantiell (mehr als Faktor zwei) weniger stark bewertet werden.

Abbildung 52: Vergleich der geschätzten Bewertungsindikatoren für die Interaktionsmodelle mit Bahnverfügbarkeit als Hauptverkehrsmittel (Angebotsvariable x Bahn = Bahn verfügbar) für Distanzen > 10 km



Diese starke (relative) Ähnlichkeit in den Koeffizienten zeigt sich auch im Vergleich der Bewertungsindikatoren, wie in Abbildung 52 dargestellt ist. Beide Ansätze – Distanz grösser als 40 km und HVM Bahn – kommen zu den praktisch identischen Schlussfolgerungen, wie sie schon in Abschnitt 4.3.2 eingehend diskutiert wurden, wobei hier die Unterschiede sogar noch etwas weniger ausgeprägt sind als in Abbildung 50: Wenn die Bahn als HVM verfügbar ist, sind die Bewertungen der Angebotsvariablen gesamthaft betrachtet höher, wobei die Unterschiede signifikant (auf dem 5% Niveau) für die MIV und ÖV Fahrtzeit sowie die Anzahl Umsteigevorgänge sind.

4.3.4 Schlussfolgerungen zum Bahn- und Fernverkehr

In diesem Abschnitt wurde untersucht, inwieweit sich das Verhalten zwischen Mittel- und Fernverkehr unterscheidet und ob es Unterschiede in der Bewertung der Angebotsvariablen gibt, wenn die Bahn als Hauptverkehrsmittel (HVM) verfügbar ist. Aufgrund der starken Korrelation zwischen HVM und Wegdistanz wurden verschiedene Vorkehrungen getroffen, um einen direkten Effekt der Bahnverfügbarkeit als HVM ermitteln zu können. Man beachte, dass ein solcher Vergleich nur dann zu schlüssigen Aussagen gelangen kann, wenn der Nahverkehr

komplett ausgeblendet wird, da sich der Modalsplit und die Verteilung der Distanzen grundlegend unterscheiden.

Die hier gezeigten Resultate legen schlüssig dar, dass es keine Unterschiede im Verhalten explizit aufgrund der Bahnverfügbarkeit gibt. Zwar gibt es signifikante Unterschiede zwischen den zwei Untersuchungsgruppen, wenn die Bahn verfügbar ist und wenn nicht – diese Unterschiede decken sich jedoch praktisch vollständig mit jenem Ansatz, bei dem zwischen Mittel- und Langstreckenwegen unterschieden wird, wenn die Bahn immer verfügbar ist. Ein solcher „Bahn-im-Fernverkehr-Bonus“, wie in Abschnitt 4.3.1 diskutiert wurde, konnte somit für diese Daten nicht nachgewiesen werden. Auch muss dazu erwähnt werden, dass das häufigste Konkurrenzverkehrsmittel für die Bahn, wenn Wege grösser als 10 km betrachtet werden, die S-Bahn ist. Da sich doch beide Verkehrsmittel sehr ähnlich sind, überrascht es auch nicht, dass sich das eigentliche Verhalten zwischen den beiden Untersuchungsgruppen nicht signifikant unterscheidet.

Abschliessend soll dargelegt werden, welche Anforderungen – speziell, was die Datenerhebung betreffen – nötig wären, um die Effekte sauber trennen zu können respektive eine solche Durchmischung, wie sie in den aktuellen Daten vorliegt, zu verhindern. Ein grundlegendes Problem in den aktuellen Daten ist, dass in den Experimenten zur ÖV-Routenwahl, wo das Hauptverkehrsmittel ein explizites Entscheidungsattribut ist, die Bahn als HVM nicht variiert wurde, während die anderen HVM als Teil des Versuchsplans zwischen den beiden Routen unterschiedlich sein konnten. Wurde also für einen beobachteten Weg die Bahn als HVM den RP-Daten zugeordnet, so wurde für diese Person das Attribut HVM nie variiert, was automatisch dazu führt, dass gegenüber der Bahn als HVM keine direkten Abwägungen mit anderen Angebotsvariablen, wie z.B. Wartezeit oder Anzahl Umsteigevorgänge, gemacht werden konnten. Diese Gegebenheit ist zwar aus einer rein realitätsnahen Betrachtungsweise durchaus nachvollziehbar, führt aber unweigerlich zu den oben genannten Identifikationsproblemen (Louviere *et al.*, 2000).

Die Vorteile einer SP-Befragung liegen unter anderem hauptsächlich dort, wo keine, in der Realität beobachtbare Entscheidungssituationen vorliegen. Somit wäre es empfehlenswert, den Versuchsplan anzupassen und die Möglichkeit zu prüfen, Abwägungen zwischen allen Attributen zu erlauben – auch dann, wenn die daraus folgenden Attributprofile nicht zwingend der beobachteten Situation entspricht (Bierlaire *et al.*, 2001; Schmid *et al.*, 2016). Im aktuellen Fall könnte dies beispielsweise die Verfügbarkeit der Bahn auch für kürzere Wege, oder die Einführung von Fernbussen als mögliches HVM im Mittel- und Langstreckenverkehr implizieren.

5 Literatur

Abou-Zeid, M., M. Ben-Akiva, M. Bierlaire, C. Choudhury und S. Hess (2010) Attitudes and value of time heterogeneity, *Applied Transport Economics - A Management and Policy Perspective*, 523-545, de Boeck, Brüssel.

Allison, P. D. (2005) *Fixed Effects Regression Methods for Longitudinal Data Using SAS*, SAS Institute Inc., North Carolina.

Atasoy, B., A. Glerum und M. Bierlaire (2013) Attitudes towards mode choice in Switzerland, *disP – The Planning Review*, **49** (2) 101-117.

Axhausen, K. W., A. König, G. Abay, J. J. Bates und M. Bierlaire (2007) State of the art estimates of the Swiss value of travel time savings, Vortrag, *68th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., Januar 2007.

Axhausen, K. W., S. Hess, A. König, G. Abay, J. J. Bates und M. Bierlaire (2008) Income and distance elasticities of values of travel time savings: New Swiss results, *Transport Policy*, **15** (3) 173–185.

Axhausen, K. W., T. Haupt, B. Fell und U. Heidl (2001) Searching for the rail bonus: Results from a panel SP/RP study, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, **1** (4) 353-369.

Axhausen, K. W., I. Ehreke, A. Glemser, S. Hess, C. Jödden, K. Nagel, A. Sauer und C. Weis (2014) Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, FE-Projekt-Nr. 96.996/2011, BMVBS, Berlin.

Baltagi, B. (2008) *Econometric Analysis of Panel Data*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.

Becker, H., A. Loder, B. Schmid und K. W. Axhausen (2017) Modeling car-sharing membership as a mobility tool: A multivariate Probit approach with latent variables, *Travel Behaviour and Society*, **8** (1) 26-36.

Ben-Akiva, M. und S. R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge.

Ben-Akiva, M., D. McFadden, K. Train, J. Walker, C. Bhat, M. Bierlaire, D. Bolduc, A. Borsch-Supan, D. Brownstone, D. S. Bunch, A. Daly, A. de Palma, D. Gopinath, A. Karlstrom

und M. A. Munizaga (2002) Hybrid choice models: Progress and challenges, *Marketing Letters*, **13** (3) 163-175.

Bierlaire, M., K. W. Axhausen und G. Abay (2001) The acceptance of modal innovation: The case of Swissmetro, Vortrag, *1st Swiss Transport Research Conference*, Monte Verità, März 2001.

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

Bierlaire, M (2009) An Introduction to BIOGEME 1.8, Transport and Mobility Laboratory, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, <http://biogeme.epfl.ch/v18/tutorialv18.pdf>.

Bolduc, D. und R. A. Daziano (2010) On estimation of hybrid choice models, *Choice Modelling: The State-of-the-Art and the State-of-Practice: Proceedings from the Inaugural International Choice Modelling Conference*, 259-287, Emerald, Bingley.

Börjesson, M. und J. Eliasson (2014) Experiences from the Swedish Value of Time study, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **59** 144-158.

Bundesamt für Raumentwicklung (2012) SP-Befragung 2010 zum Verkehrsverhalten im Personenverkehr, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2014) Gemeindetypologie ARE, <https://opendata.swiss/de/dataset/gemeindetypologie-are>.

Bundesamt für Raumentwicklung (2016) SP-Befragung 2015 zum Verkehrsverhalten, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Raumentwicklung (2017) Nachfragesegmentierung NPVM, ARE, Ittigen.

Bundesamt für Statistik (2014) L'espace à caractère urbain 2012 – Rapport explicatif, BFS, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik (2016) La pendularité en Suisse 2014, BFS, Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung (2012) Mobilität in der Schweiz – Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010, BFS und ARE, Neuchâtel und Bern.

Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung (2017) Verkehrsverhalten der Bevölkerung – Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, BFS und ARE Neuchâtel und Bern.

CMC (2017) CMC choice modelling code for R, *Choice Modelling Centre*, University of Leeds, www.cmc.leeds.ac.uk.

Daly, A. und S. Hess (2010) Simple approaches for random utility modelling with panel data, Vortrag, *European Transport Conference*, Glasgow, November 2010.

Daly, A., S. Hess und G. de Jong (2012a) Calculating errors for measures derived from choice modelling estimates, *Transportation Research Part B: Methodological*, **46** (2) 333-341.

Daly, A., S. Hess, B. Patruni, D. Potoglou und C. Rohr (2012b) Using ordered attitudinal indicators in a latent variable choice model: A study of the impact of security on rail travel behaviour, *Transportation*, **39** (2) 267–297.

FehrAdvice & Partners AG (2016) Gemeinsame Hebel und Wege zur Optimierung der Auslastung im öffentlichen Verkehr, Zürich.

Fröhlich, P., C. Weis, M. Vrtic, P. Widmer und P. Aemisegger (2014) Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten, Schlussbericht SVI 2012/003, *Schriftenreihe*, **1472**, UVEK, Ittigen.

Hayton, J. C., D. G. Allen und V. Scarpello (2004) Factor retention decisions in exploratory factor analysis: A tutorial on parallel analysis, *Organizational Research Methods*, **7** (2) 191-205.

Hensher, D. A. (2001) The sensitivity of the valuation of travel time savings to the specification of unobserved effects, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **37** (2) 129-142.

Hensher, D. A. und M. Bradley (1993) Using stated response choice data to enrich revealed preference discrete choice models, *Marketing Letters*, **4** (2) 139-151.

Hensher, D. A., J. Louviere und J. Swait (1999) Combining sources of preference data, *Journal of Econometrics*, **89** (1) 197-221.

Hensher, D. A., J. M. Rose und W. H. Greene (2008) Combining RP and SP data: Biases in using the nested logit „trick“ – contrasts with flexible mixed logit incorporating panel and scale effects, *Journal of Transport Geography*, **16** (2) 126-133.

Hess, S., A. Erath und K. W. Axhausen (2007) Reducing bias in value of time estimates by joint estimation on multiple datasets: A case study in Switzerland, Vortrag, *European Transport Conference*, Noordwijkerhout, Oktober 2007.

Hess, S. und G. Spitz (2016) How much do attitudes and values matter in mode choice?, Vortrag, *95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2016.

Hess, S., A. Erath und K. W. Axhausen (2008) Estimated value of savings in travel time in Switzerland: Analysis of pooled data, *Transportation Research Record*, **2082**, 43-55.

- IBM (2012) Log-Likelihood distance (TwoStep clustering algorithms), http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB_21.0.0/com.ibm.spss.statistics.help/alg_twostep_distance_loglikelihood.htm.
- Johansson, M. V., T. Heldt und P. Johansson (2006) The effects of attitudes and personality traits on mode choice, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **40** (6) 507-525.
- Jöreskog, K. G. und A. S. Goldberger (1975) Estimation of a model with multiple indicators and multiple causes of a single latent variable, *Journal of the American Statistical Association*, **70** (351a) 631-639.
- König, A., K. W. Axhausen und G. Abay (2004) Zeitkosten im Personenverkehr: Eine Schweizer Studie, *Strasse und Verkehr*, **90** (10) 20-27.
- Kløjgaard, M. E. und S. Hess (2014) Understanding the formation and influence of attitudes in patients' treatment choices for lower back pain: Testing the benefits of a hybrid choice model approach, *Social Science & Medicine*, **114**, 138-150.
- Limtanakool, N., M. Dijst und T. Schwanen (2006) The influence of socioeconomic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium- and longer-distance trips, *Journal of Transport Geography*, **14** (5) 327-341.
- Litman, T. (2008) Valuing transit service quality improvements, *Journal of Public Transportation*, **11** (2) 3.
- Louviere, J., D. A. Hensher und J. D. Swait (2000) *Stated Choice Methods: Analysis and Applications*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Maddala, G. S. and K. Lahiri (2009) *Introduction to Econometrics*, Wiley, New York.
- Mackie, P., M. Wardman, A.S. Fowkes, G. Whelan, J. Nellthorp und J.J. Bates (2003) *Values of travel time savings in the UK*, Institute for Transport Studies, University of Leeds und John Bates Services, Leeds und Abingdon.
- Mokhtarian, P. L. und I. Salomon (2001) How derived is the demand for travel? Some conceptual and measurement considerations, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **35** (8) 695-719.
- Mokhtarian, P. L. und W. L. Tang (2013) Trivariate probit models of pre-purchase/purchase shopping channel choice: Clothing purchases in northern California, *Choice Modelling: The State of the Art and the State of Practice - Selected Papers from the Second International Choice Modelling Conference*, 243-273, Emerald, Bingley.

Monheim, H. (1997) Grundsätze für die Aufstellung von Nahverkehrsplänen und die Förderung eines attraktiven ÖPNV, *Handbuch der Kommunalen Verkehrsplanung*, Kapitel 3.3.3.7, Economica, Bonn.

National Institute of Standards and Technology (2013), Critical Values of the Chi-Square Distribution, *Engineering Statistics Handbook*,
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3674.htm>.

Raveau, S., R. Alvarez-Daziano, M. Yanez, D. Bolduc und J. de Dios Ortuzar (2010) Sequential and simultaneous estimation of hybrid discrete choice models: Some new findings, *Transportation Research Record*, **2156**, 131-139.

Rieser-Schüssler, N. und K. W. Axhausen (2012) Investigating the influence of environmentalism and variety seeking on mode choice, *Transportation Research Record*, **2322**, 31-41.

Schmid, B. und K. W. Axhausen (2017) In-store or online shopping of search and experience goods: A hybrid choice approach, Vortrag, *5th International Choice Modelling Conference (ICMC)*, Kapstadt, April 2017.

Schmid, B., S. Schmutz und K. W. Axhausen (2015) Explaining Mode Choice, Taste Heterogeneity and Cost Sensitivity in a Post-Car World, Vortrag, *95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2016.

Smith, A. C., N. Koper, C. M. Francis und L. Fahrig (2009) Confronting collinearity: Comparing methods for disentangling the effects of habitat loss and fragmentation, *Landscape Ecology*, **24** (10) 1271-1285.

Stata Press (2013) *Structural Equation Modelling Reference Manual*, Stata Press, Texas.

Stanford Encyclopedia of Philosophy (2015) William of Ockham,
<https://plato.stanford.edu/entries/ockham/#4.1>.

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

Vrtic, M. und K. W. Axhausen (2002) The impact of tilting trains in Switzerland: A route choice model of regional- and long distance public transport trips, Vortrag, *82th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Januar 2002.

Vrtic, M. C. Weis, P. Fröhlich, D. Marconi und L. Passardi Gianola (2015) Gesamtverkehrsmodell Kanton Tessin – Aktualisierung 2013, Dipartimento del territorio, Bellinzona.

VSS (2007) SN 641 822a – Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr: Zeitkosten im Personenverkehr, EK 1.02, VSS, Zürich.

Wardman, M., M. Tight und M. Page (2007) Factors influencing the propensity to cycle to work, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **41** (4) 339 – 350.

Wardman, M., V. P. K. Chintakayala und G. de Jong, (2016) Values of travel time in Europe: Review and meta-analysis, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **94**, 93-111.

Vij, A. und J. L. Walker (2015) Statistical properties of integrated choice and latent variable models, Vortrag, 4th *International Choice Modelling Conference*, Austin, Mai 2015.

Weis, C. (2006) Routenwahl im ÖV, *Diplomarbeit*, IVT, ETH Zürich, Zürich.

Weis, C., K. W. Axhausen, R. Schlich und R. Zbinden (2010) Models of mode choice and mobility tool ownership beyond 2008 fuel prices, *Transportation Research Record*, **2157**, 86-94.

Weis, C., M. Vrtic und P. Fröhlich (2012a) Schätzung der Modellparameter für das Gesamtverkehrsmodell Bern und das Gesamtverkehrsmodell Solothurn, BVE, Bern und BJD, Solothurn.

Weis, C., M. Vrtic und P. Fröhlich (2012b) Schätzung der Modellparameter für das Gesamtverkehrsmodell Zürich und das Kantonale Verkehrsmodell Zug, AfV, Zürich und AfR, Zug.

Widmer, P., T. Buhl, M. Vrtic, C. Weis, L. Montini und K.W. Axhausen (2017) Einfluss des Parkierungsangebots auf das Verkehrsverhalten und den Energieverbrauch, Schlussbericht SVI 2008/002, *Schriftenreihe*, **1596**, UVEK, Ittigen.

6 Abkürzungen

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFS	Bundesamt für Statistik
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
GA	Generalabonnement
GVM	Gesamtverkehrsmodell
HTA	Halbtaxabonnement
HVM	Hauptverkehrsmittel (im öffentlichen Verkehr)
IVT	Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MNL	Multinomiales Logit-Modell
MZMV	Mikrozensus Mobilität und Verkehr
NL	Nested-Logit-Modell
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell des VM-UVEK
ÖV	Öffentlicher Verkehr
RP	<i>Revealed Preference</i> , Befragung zum tatsächlichen Verhalten
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SP	<i>Stated Preference</i> , Befragung zum Verhalten in hypothetischen Entscheidungssituationen
TO	TransOptima GmbH
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VM-UVEK	Verkehrsmodell des UVEK
VTTS	<i>Value of travel time savings</i> , Zeitwert
WTP	<i>Willingness-to-pay</i> , Zahlungsbereitschaft

Anhänge

A1 Modal Split und mittlere Weglänge nach Kanton

Tabelle 28 Bimodal Split und mittlere Weglänge (MZMV 2015) nach Kanton

Kanton	ÖV-Anteil [%]	Mittlere Distanz [km]
Zürich	32.0	17.8
Bern	23.6	19.1
Luzern	19.0	18.0
Uri	19.7	22.8
Schwyz	14.6	20.2
Obwalden	14.3	18.9
Nidwalden	13.7	17.2
Glarus	13.1	22.2
Zug	22.3	19.3
Freiburg	14.1	18.3
Solothurn	16.9	17.1
Basel-Stadt	52.9	18.9
Basel-Landschaft	26.0	16.8
Schaffhausen	23.5	19.3
Appenzell Ausserrhoden	17.8	15.9
Appenzell Innerrhoden	5.9	17.9
St. Gallen	17.3	18.4
Graubünden	15.9	21.7
Aargau	17.5	18.9
Thurgau	10.7	19.5
Tessin	10.2	14.9
Waadt	18.8	17.1
Wallis	11.5	18.8
Neuenburg	16.0	17.5
Genf	32.5	13.8
Jura	9.4	15.4
Total	21.5	17.9

A2 Stichprobengrösse nach Kanton

Tabelle 29 Stichprobengrösse (SP-Befragung 2015) für jeden Kanton

Kanton	Anzahl SP-Befragte	Anteil SP-Befragte [%]
Zürich	756	12.4
Bern	443	7.3
Luzern	345	5.7
Uri	29	0.5
Schwyz	143	2.3
Obwalden	58	1.0
Nidwalden	46	0.8
Glarus	25	0.4
Zug	60	1.0
Freiburg	265	4.3
Solothurn	266	4.4
Basel-Stadt	163	2.7
Basel-Landschaft	190	3.1
Schaffhausen	63	1.0
Appenzell Ausserrhoden	28	0.5
Appenzell Innerrhoden	7	0.1
St. Gallen	287	4.7
Graubünden	149	2.4
Aargau	457	7.5
Thurgau	315	5.2
Tessin	293	4.8
Waadt	619	10.1
Wallis	217	3.6
Neuenburg	293	4.8
Genf	490	8.0
Jura	92	1.5
Total	6'099	

A3 Zahlungsbereitschaften für regionale Modelle

Abbildung 53 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (MIV), Analyseregion 1

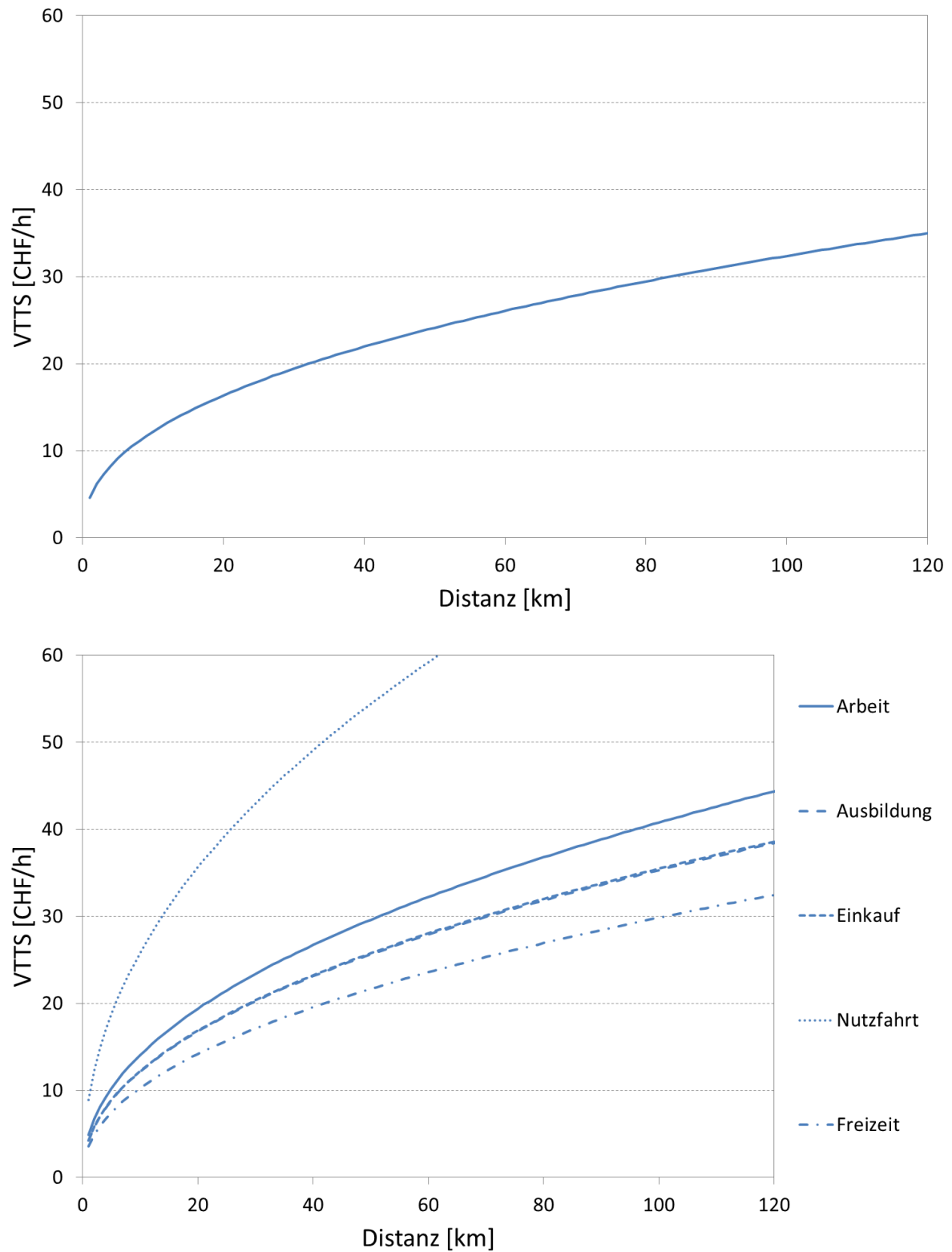


Abbildung 54 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (MIV), Analyseregion 2

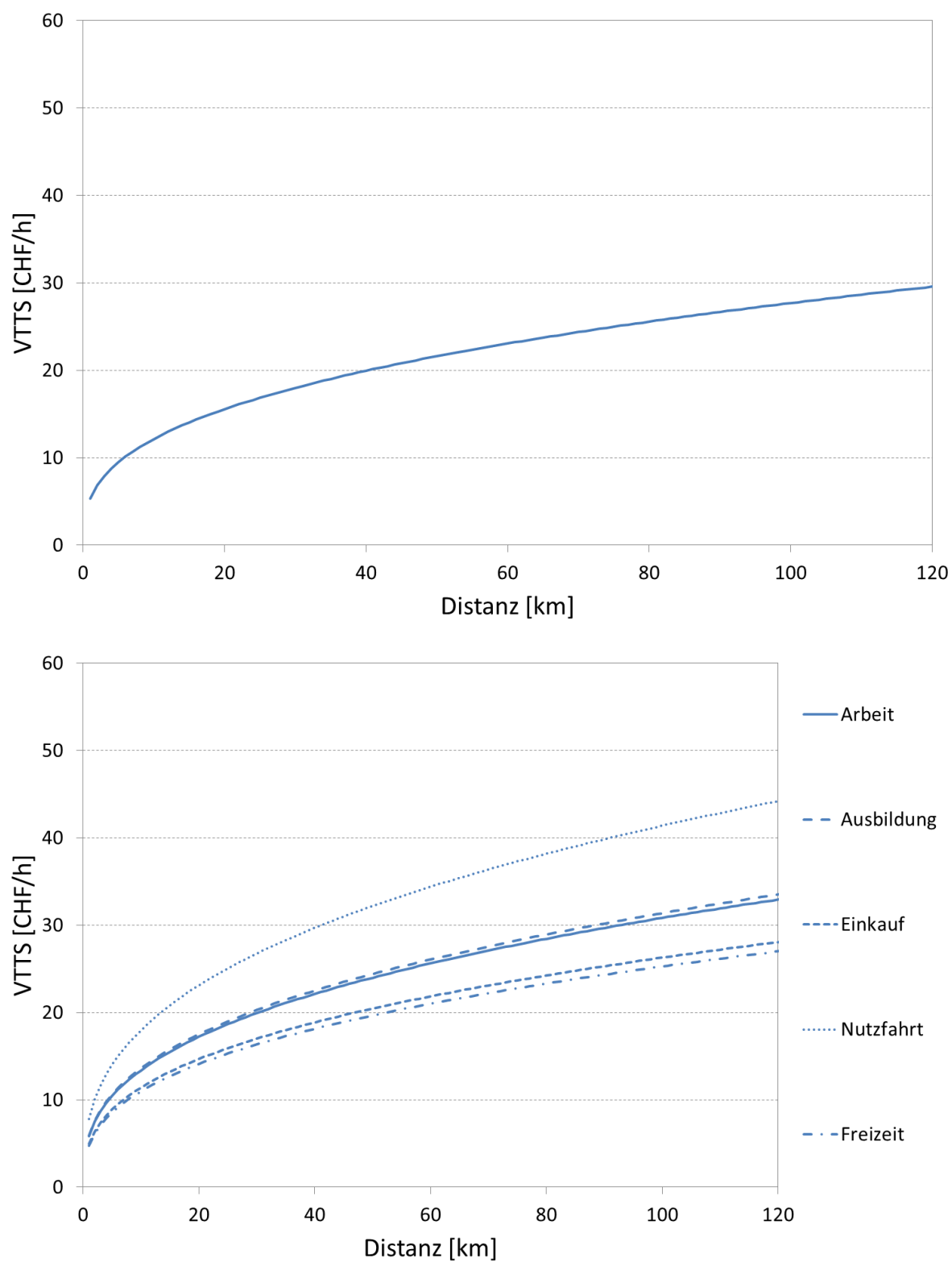


Abbildung 55 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (MIV), Analyseregion 3

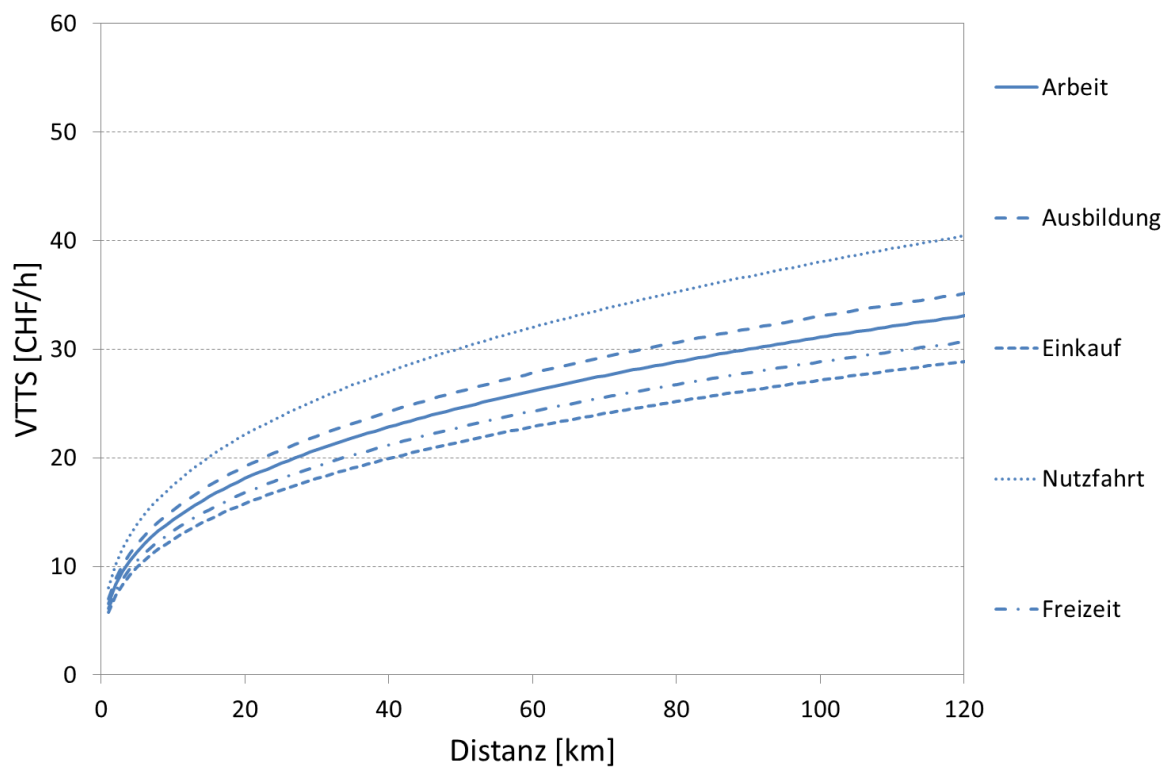
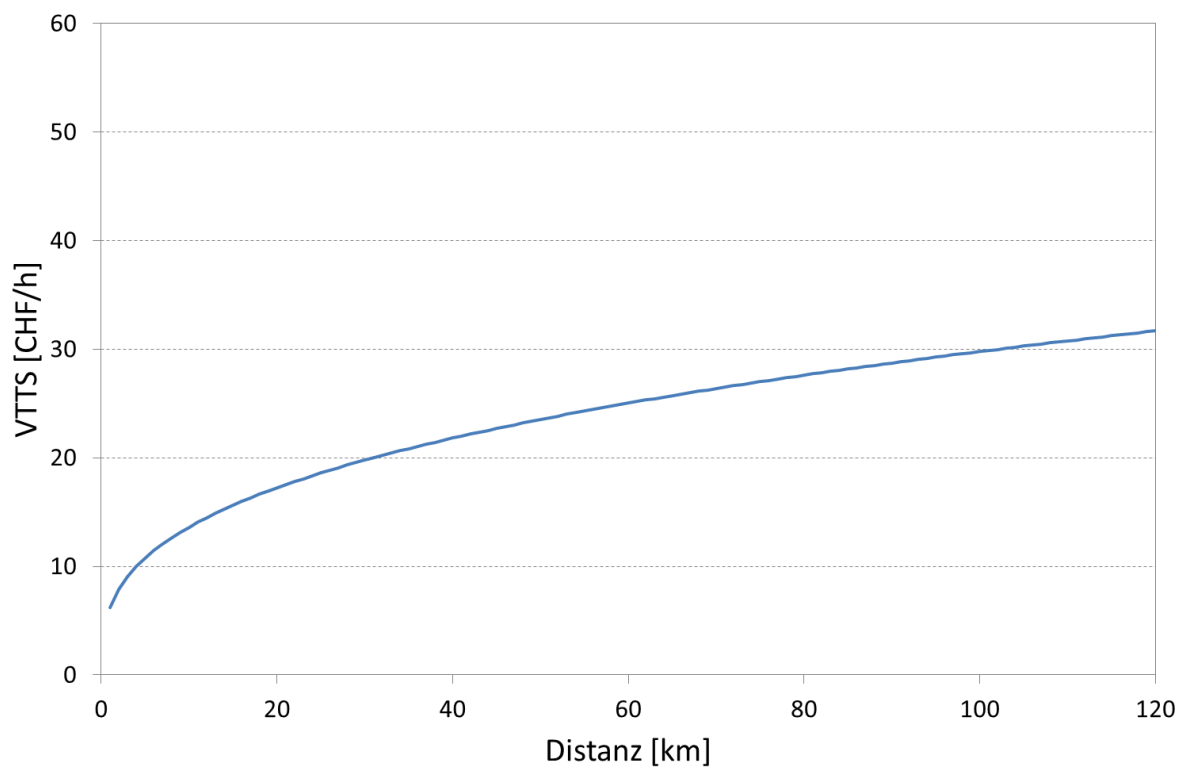


Abbildung 56 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (MIV), GVM BE & SO

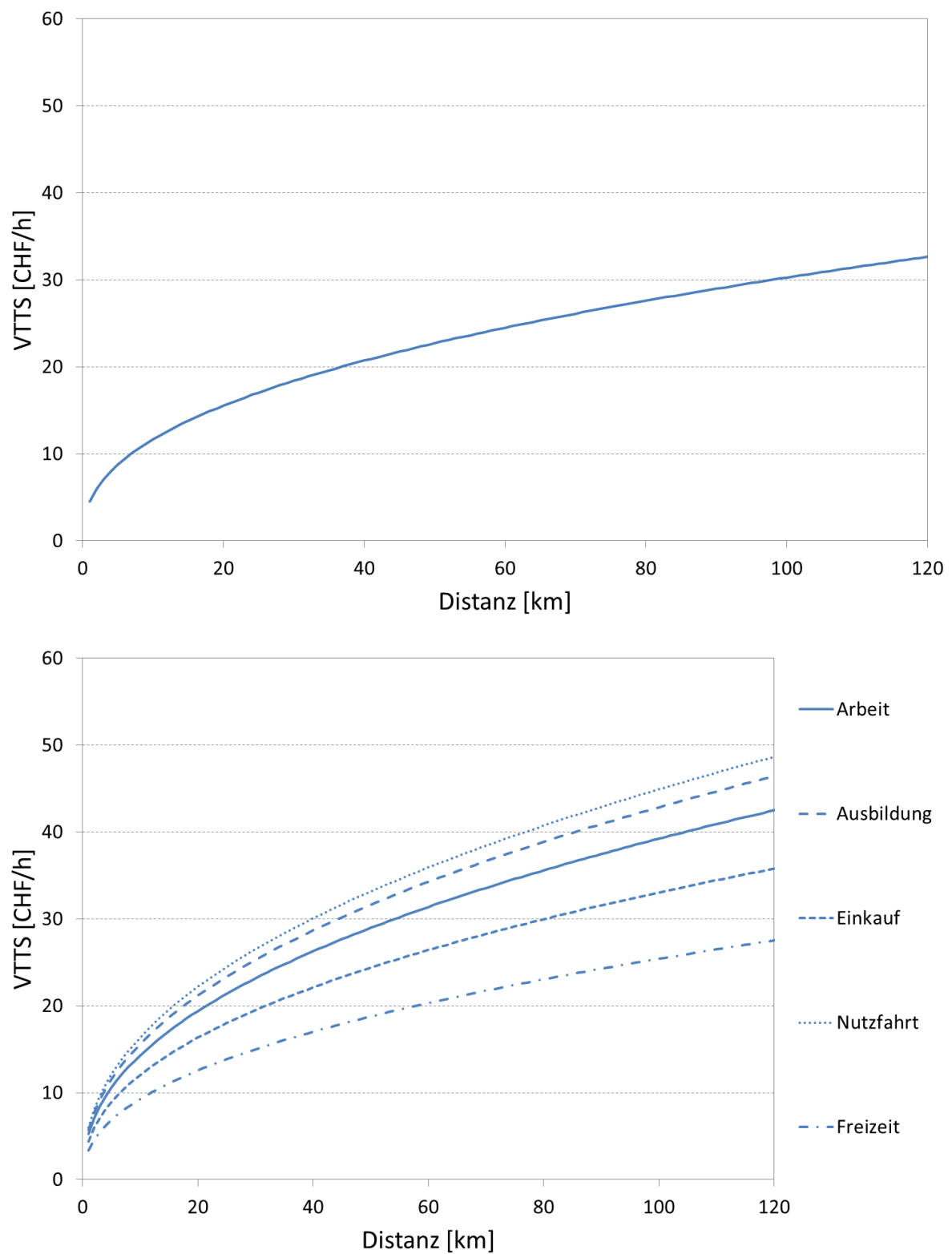


Abbildung 57 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (ÖV), Analyseregion 1

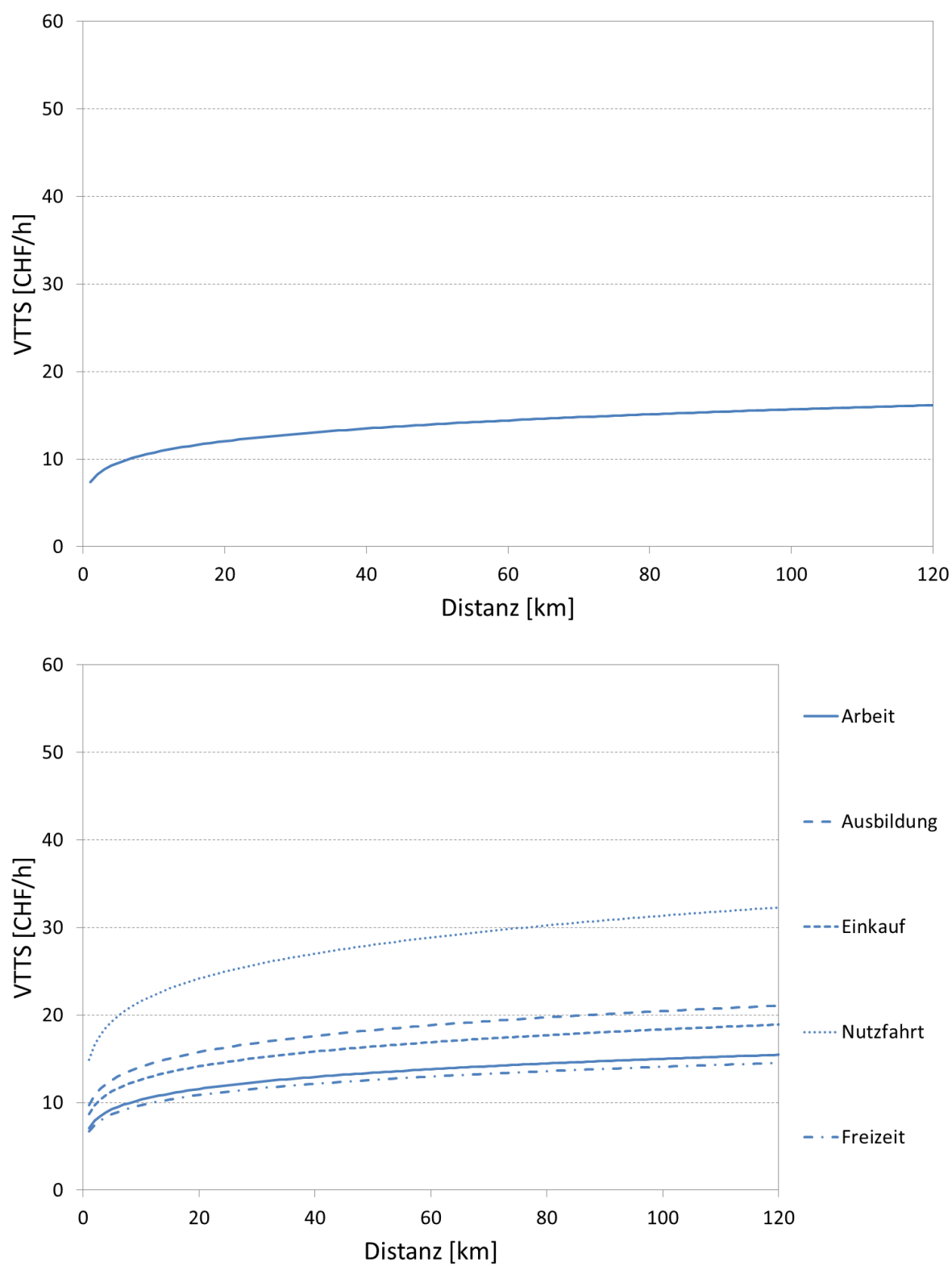


Abbildung 58 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (ÖV), Analyseregion 2

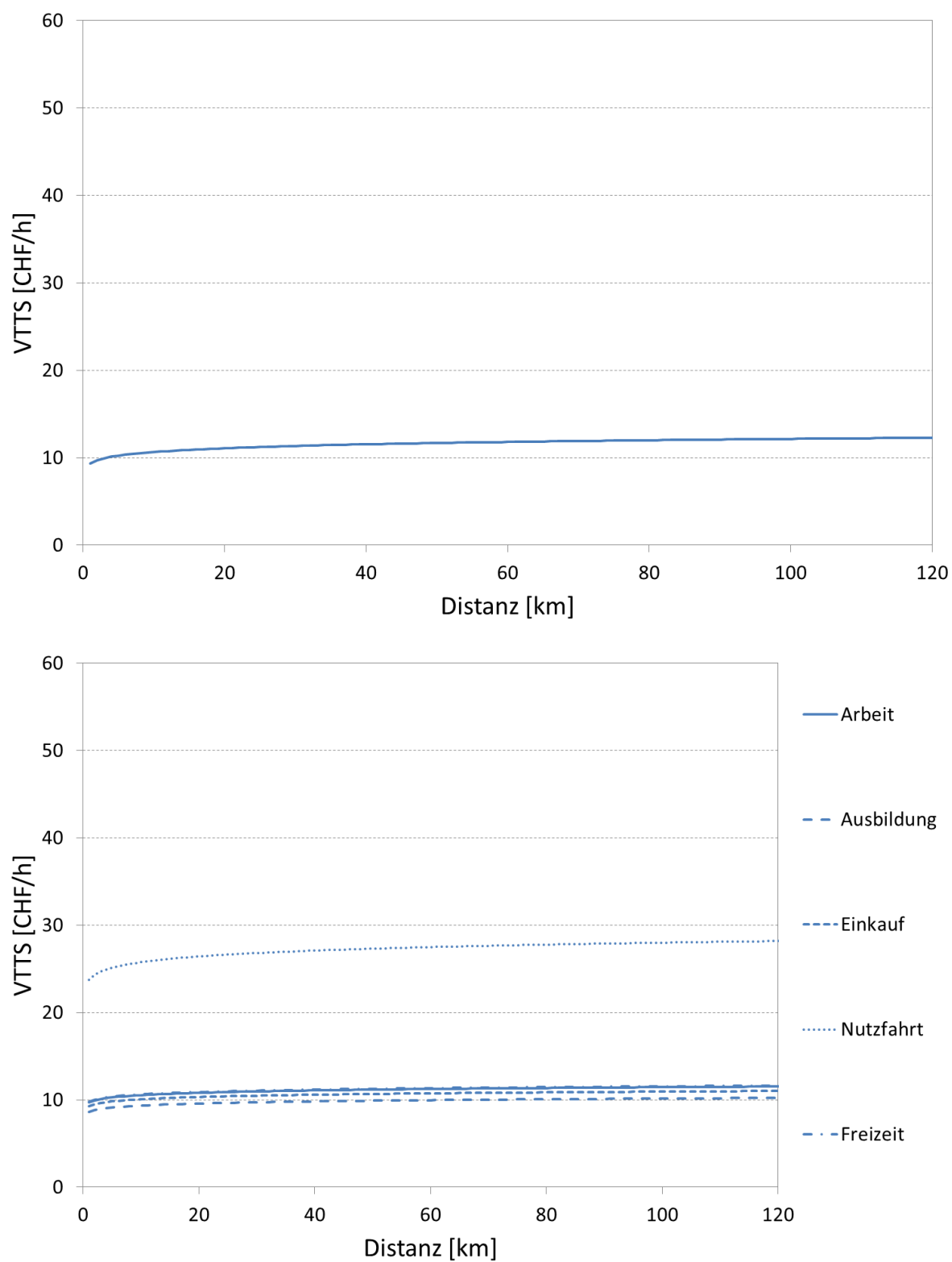


Abbildung 59 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (ÖV), Analyseregion 3

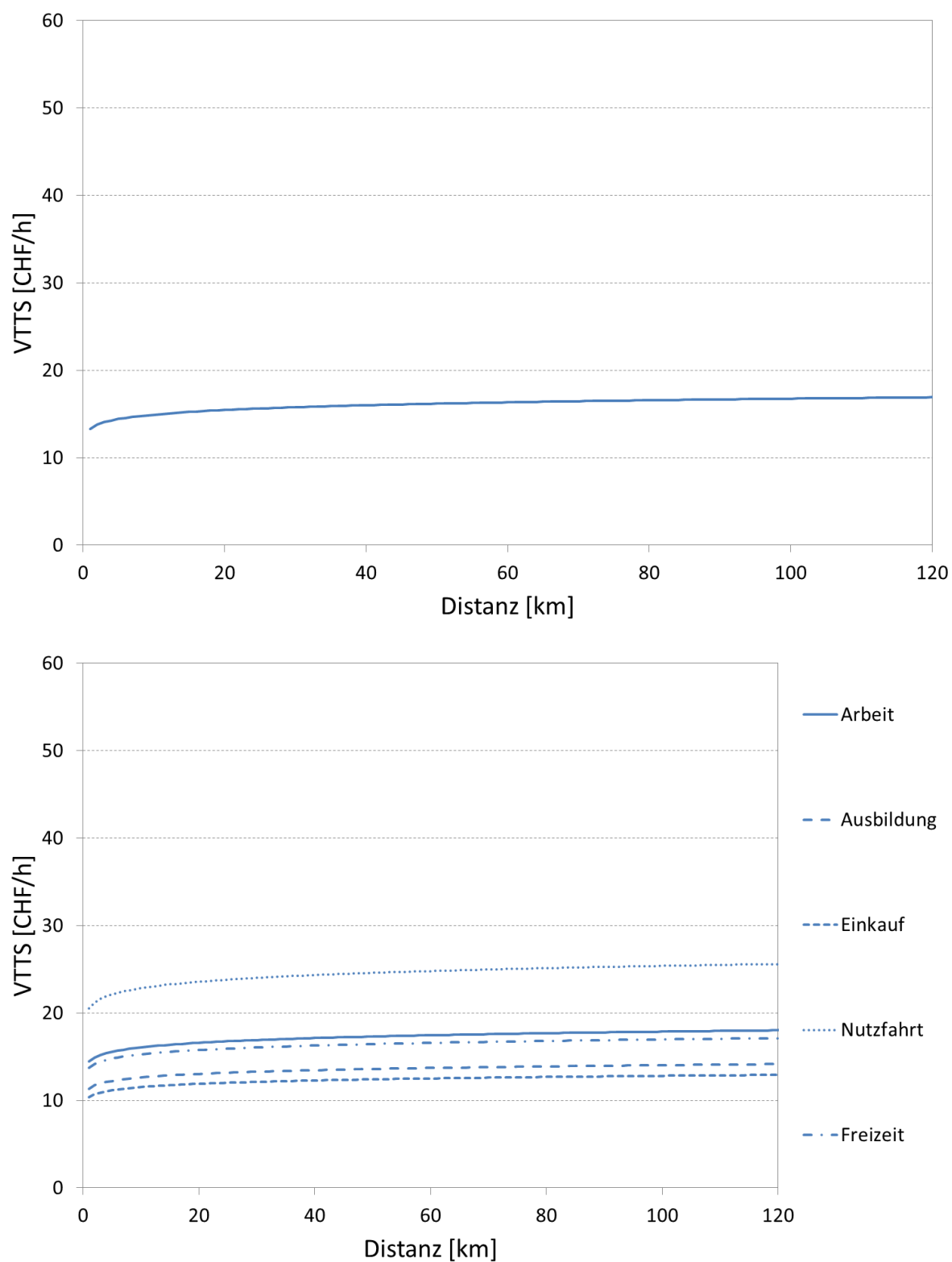
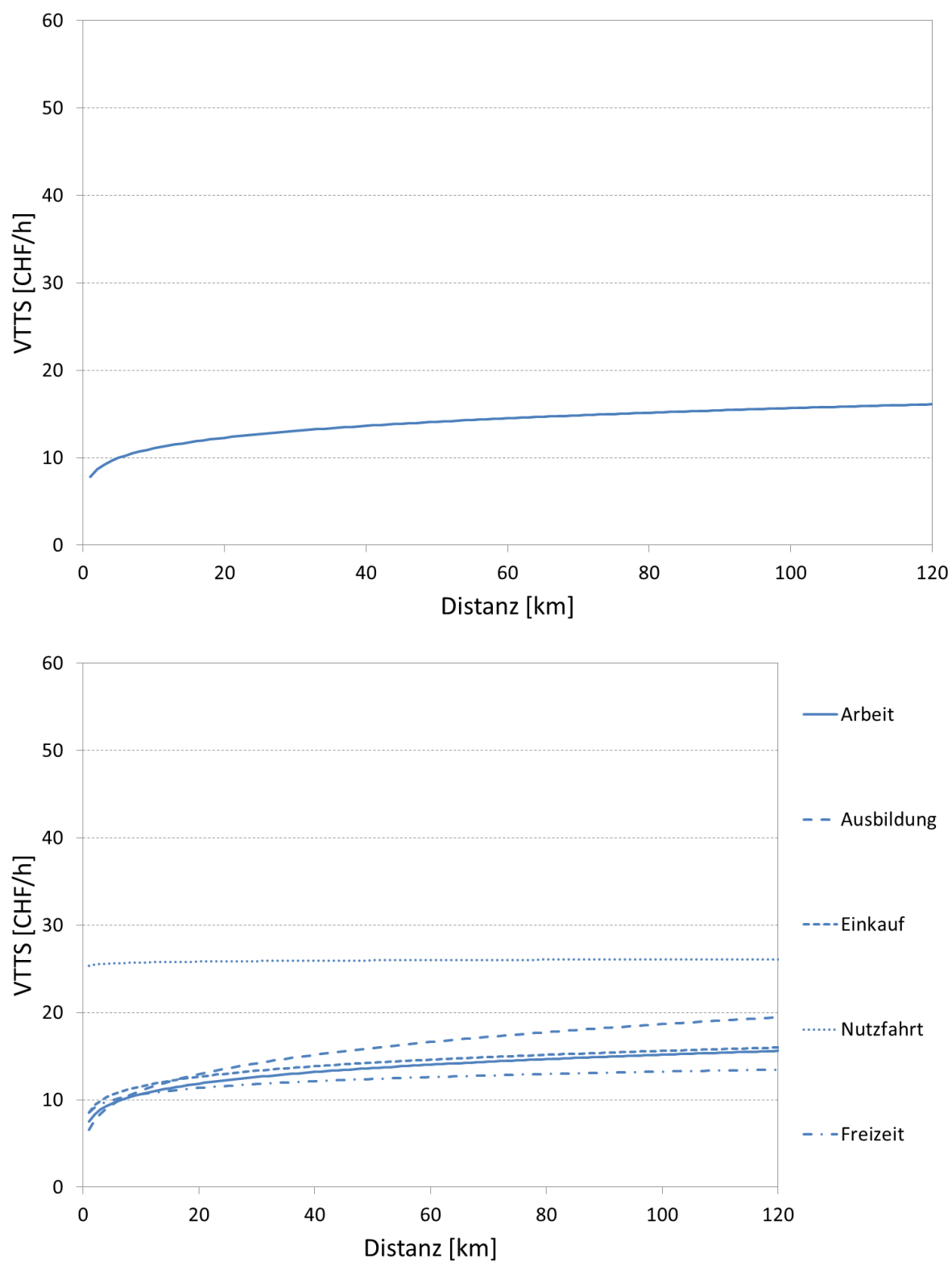


Abbildung 60 Zahlungsbereitschaft für Reduktion der Fahrtzeit (ÖV), GVM BE & SO



A4 Modellschätzung mit neuer BFS-Gemeindetypologie

Im Anschluss an die Schätzung der Entscheidungsmodelle (Kapitel 3) wurde vom BFS eine Klassifizierung der Schweizer Gemeinden nach einer neuen Typologie veröffentlicht (BFS, 2014). Um deren Einfluss auf die Modellschätzungen zu eruieren, wurde das Modell mit nicht-linearen Nutzenfunktionen (ohne Differenzierung nach Fahrtzweck) für den Gesamtdatensatz nochmals neu geschätzt. Hierbei wurde die Spezifikation aus Abschnitt 3.2.3 unverändert übernommen und lediglich die Gemeindezuteilung zur neuen Typologie vorgenommen.

Zur Erinnerung werden hier nochmals die Unterschiede in den beiden verwendeten Gemeindetypologien aufgezeigt:

- „alte“ Typologie:
 - 1 = urban;
 - 2 = suburban;
 - 3 = ländlich;
- „neue“ Typologie:
 - 1 = städtischer Kernraum;
 - 2 = Einflussgebiet städtischer Kerne;
 - 3 = Gebiete ausserhalb des Einflusses städtischer Kerne.

Die Gegenüberstellung der mit den beiden Typologien erzielten Modellergebnisse zeigt Tabelle 30. Hier ist ersichtlich, dass die Vorzeichen der Gemeindetyp-Parameter ihre Vorzeichen behalten (bis auf den, jedoch nicht signifikanten, Wert für Gemeindetyp 3 bei der Alternative „zu Fuss“). Sämtliche restlichen Parameter, also sowohl die Bewertungen des Verkehrsangebots als auch die Einflüsse der soziodemographischen Eigenschaften der Befragten, werden durch die neue Klassifizierung nur sehr marginal verändert. Die Aussagen aus der Ergebnisanalyse in Kapitel 3 können hier also vollumfänglich übernommen werden.

Tabelle 30 Modellvergleich alte vs. neue Gemeindetypologie

Verkehrsmittel	Parameter	Gemeindetypologie	
		Alt	Neu
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.172	-0.171
	Verspätungsw'keit [%]	-0.580	-0.609
	Verspätung [min]	-0.090	-0.088
	Interaktionen:		-
	Verspätung/Distanz	-0.406	-0.379
	Kosten/Einkommen	-0.208	-0.209
zu Fuss	Konstante	0.001(*)	0.004(*)
	Gehzeit [min]	-0.048	-0.049
	Interaktionen:		
	Gehzeit/Distanz	-0.360	-0.358
	Geschlecht: Mann	-0.059(*)	-0.064(*)
	Frau (Ref.)	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.411	0.429
	quadriert	-0.044	-0.046
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.030(*)	0.025(*)
	quadriert	-0.003(*)	-0.003(*)
	Zweck: Arbeit	-0.085	-0.081(*)
	Ausbildung	0.573	0.630
	Einkauf	-0.327	-0.348
	Nutzfahrt	-1.210	-1.200
	Freizeit (Ref.)	-	-
	Analyseregion: 1	0.333	0.201
	2 (Ref.)	-	-
	3	-0.238	-0.267
	Gemeindetyp: 1 (Ref.)	-	-
	2	-0.157	-0.211(*)
	3	-0.017(*)	0.187(*)
Velo	Konstante	-2.750	-3.080
	Fahrtzeit [min]	-0.052	-0.052
	Interaktionen:		
	Fahrtzeit/Distanz	-0.367	-0.372
	Geschlecht: Mann	0.399	0.418
	Frau (Ref.)	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.623	0.633
	quadriert	-0.078	-0.080
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.192	0.203
	quadriert	-0.008	-0.009
	Zweck: Arbeit	0.383	0.392
	Ausbildung	0.869	0.833
	Einkauf	-0.806	-0.828
	Nutzfahrt	-0.726	-0.759
	Freizeit (Ref.)	-	-
	Analyseregion: 1	0.601	0.940
	2 (Ref.)	-	-
	3	0.618	0.876
	Gemeindetyp: 1 (Ref.)	-	-
	2	-0.263	-0.276
	3	-0.205	-0.182
MIV (Ref.)	Konstante	-	-
	Fahrtzeit [min]	-0.047	-0.047
	Suchzeit [min]	-0.070	-0.071
	Parkkosten [CHF]	-0.160	-0.160
	Interaktionen:		
	Fahrtzeit/Distanz	-0.305	-0.304
	Treibstoffkosten/Distanz	-0.686	-0.686
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-0.524	-0.524
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-
	immer	0.832	0.825
	Geschlecht: Mann	-	-
	Frau (Ref.)	-	-

	Alter [Jahre]: linear	-	-
	quadriert	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-
	quadriert	-	-
	Zweck: Arbeit	-	-
	Ausbildung	-	-
	Einkauf	-	-
	Nutzfahrt	-	-
	Freizeit (Ref.)	-	-
	Analyseregion: 1	-	-
	2 (Ref.)	-	-
	3	-	-
	Gemeindetyp: 1 (Ref.)	-	-
	2	-	-
	3	-	-
ÖV	Konstante	-0.761	-0.825
	Fahrtzeit [min]	-0.035	-0.035
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.039	-0.039
	Wartezeit [min]	-0.020	-0.020
	Umsteigen [Anzahl]	-0.215	-0.215
	Takt [min]	-0.009	-0.009
	Interaktionen:		
	Fahrtzeit/Distanz	-0.362	-0.360
	Umsteigen/Distanz	-0.285	-0.283
	Takt/Distanz	-0.583	-0.585
	Billettkosten/Distanz	-0.480	-0.480
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.038	-0.038
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-
	Tram	-0.200	-0.199
	Bus/PostAuto	-0.212	-0.211
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-
	Halbtax	0.315	0.319
	Verbundabo	1.480	1.510
	GA	1.610	1.610
	Geschlecht: Mann	-0.059(*)	-0.064(*)
	Frau (Ref.)	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.132	0.122
	quadriert	-0.010(*)	-0.009(*)
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.034(*)	-0.037(*)
	quadriert	0.001(*)	0.001(*)
	Zweck: Arbeit	0.315	0.327
	Ausbildung	0.896	0.891
	Einkauf	-0.403	-0.418
	Nutzfahrt	-0.307	-0.303
	Freizeit (Ref.)	-	-
	Analyseregion: 1	0.390	0.395
	2 (Ref.)	-	-
	3	0.083	0.097
	Gemeindetyp: 1 (Ref.)	-	-
	2	-0.208	-0.199
	3	-0.247	-0.126
Skalenparameter	RP	1.010	1.010
	SP 1 (Ref.)	1.000	1.000
	SP 2	3.510	3.550
	SP 3	2.490	2.510
	Stichprobengrösse	67'365	67'365
	Anzahl geschätzter Parameter	76	65
	Log-Likelihood	-36'008	-35'940
	Adjusted ρ^2	0.373	0.374

A5 Modellschätzungen für Zeitvergleich

Tabelle 31 Ergebnisse der gepoolten Schätzungen zur Ermittlung von Unterschieden in Angebotsvariablen und nicht-linearen Interaktionen (Distanz und Einkommen) zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten

Verkehrsmittel	Parameter	Wert			
		Linear Separat	Linear Pooled	NL Separat	NL Pooled
gemeinsam	Kosten [CHF] 2010	-0.100	-0.102	-0.117	-0.113
	Kosten [CHF] 2015	-0.156	-0.133	-0.242	-0.237
	Verspätungsw'keit [%]	-0.845	-0.635	-0.575	-0.485
	Verlässlichkeit [%]	-2.523	-3.047	-2.529	-2.529
	Verspätung [min]	-0.025(*)	-0.023(*)	-0.036(*)	-0.029(*)
	Interaktionen:				
	Verspätung/Distanz 2015	-	-	-0.113(*)	-
	Kosten/Einkommen 2010	-	-	-0.074	-
	Kosten/Einkommen 2015	-	-	-0.144	-0.112
zu Fuss	Konstante 2010	1.263		1.060	1.069
	Konstante 2015	0.672	0.974		
	Gehzeit [min] 2010	-0.075		-0.069	-0.068
	Gehzeit [min] 2015	-0.077	-0.074		
	Interaktionen:				
	Gehzeit/Distanz 2010	-	-	-0.074	-0.088
	Gehzeit/Distanz 2015	-	-	-0.357	-0.346
Velo	Konstante 2010	-0.183(*)		-0.343	-0.344
	Konstante 2015	-0.480	-0.339		
	Fahrtzeit [min] 2010	-0.071		-0.066	-0.065
	Fahrtzeit [min] 2015	-0.068	-0.065		
	Interaktionen:				
	Fahrtzeit/Distanz 2010	-	-	-0.111	-0.182
	Fahrtzeit/Distanz 2015	-	-	-0.330	-0.514
MIV (Ref.)	Fahrtzeit [min] 2010	-0.033	-0.034	-0.032	-0.032
	Fahrtzeit [min] 2015	-0.054	-0.045	-0.063	-0.063
	Suchzeit [min] 2010	-0.062			
	Suchzeit [min] 2015	-0.044	-0.058	-0.053	-0.052
	Parkkosten [CHF] 2010	-0.152		-0.150	-0.147
	Parkkosten [CHF] 2015	-0.122	-0.141		
	Interaktionen:				
	Fahrtzeit/Distanz 2010	-	-	-0.216	-
	Fahrtzeit/Distanz 2015	-	-	-0.274	-0.240
	Treibstoffkosten/Distanz 2010	-	-	-0.377	-0.389
	Treibstoffkosten/Distanz 2015	-	-	-0.600	-0.580
	Strassennutzungsgebühr/Distanz 2010	-	-	-0.355	-0.364
	Strassennutzungsgebühr/Distanz 2015	-	-	-0.511	-0.483
ÖV	Konstante 2010	-0.468		-0.500	-0.508
	Konstante 2015	-0.454	-0.567		
	Fahrtzeit [min] 2010	-0.027	-0.027	-0.023	-0.022
	Fahrtzeit [min] 2015	-0.036	-0.036	-0.042	-0.040
	Zu- und Abgangszeit [min] 2010	-0.010	-0.008	-0.009	-0.009
	Zu- und Abgangszeit [min] 2015	-0.047	-0.044	-0.055	-0.053
	Wartezeit [min] 2010	-0.016	-0.015	-0.011	-0.009
	Wartezeit [min] 2015	-0.049	-0.047	-0.044	-0.043
	Umsteigen [Anzahl] 2010	-0.239			
	Umsteigen [Anzahl] 2015	-0.217	-0.232	-0.213	-0.209
	Takt [min] 2010	-0.010			
	Takt [min] 2015	-0.013	-0.009	-0.010	-0.010
	Interaktionen:				
	Fahrtzeit/Distanz 2010	-	-	-0.156	-
	Fahrtzeit/Distanz 2015	-	-	-0.264	-0.203
	Umsteigen/Distanz 2010	-	-	-0.086(*)	-
	Umsteigen/Distanz 2015	-	-	-0.446	-0.417

	Takt/Distanz 2010	-	-	-0.059(*)	-
	Takt/Distanz 2015	-	-	-0.673	-0.649
	Billettkosten/Distanz 2010	-	-	-0.330	
	Billettkosten/Distanz 2015	-	-	-0.407	-0.377
	Auslastung [Stufe]: quadriert 2010	-0.032	-0.028	-0.030	-0.029
	Auslastung [Stufe]: quadriert 2015	-0.028			
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-	-	-
	Tram	-0.259	-0.253	-0.311	-0.302
	Bus/PostAuto	-0.280	-0.301	-0.330	-0.322
	Anzahl Zwischenhalte	-0.005(*)	-0.005(*)	-0.004(*)	-0.004(*)
Skalenparameter	RP (Ref.) 2010	1.000 (fix)	1.000 (fix)	1.000 (fix)	1.000 (fix)
	SP 1 2010	1.150	1.142	1.240	1.175
	SP 2 2010	5.478	5.326	6.357	6.089
	SP 3 2010	2.795	2.889	3.783	3.732
	RP 2015	1.000 (fix)	1.000 (fix)	1.000 (fix)	1.000 (fix)
	SP 1 2015	1.085(*)	1.210(*)	0.984(*)	0.949(*)
	SP 2 2015	2.389	2.904	2.814	2.657
	SP 3 2015	2.192	2.102	1.996	1.921
	Stichprobengrösse	119'573	119'573	119'573	119'573
	Personen	9'704	9'704	9'704	9'704
	Anzahl geschätzter Parameter	42	33	53	46
	Log-Likelihood	-71'959	-72'465	-69'357	-69'404
	ρ^2	0.298	0.293	0.323	0.322
	AICc	144'002	144'996	138'796	138'900

Fett: Zusammengefasste Parameterschätzung basierend auf Tests in vorherigem Modell. (*) = nicht signifikant auf 5 % Niveau; cluster-robuste Standardfehler.

Tabelle 32 Ergebnisse der nach Erhebungszeitpunkt segmentierten Modelle

Verkehrsmittel	Parameter	Wert	
		MZMV 2010	MZMV 2015
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.103	-0.182
	Verspätungsw'keit [%]	-	-0.777
	Verlässlichkeit [%]	-3.000	-
	Verspätung [min]	-	-0.072
	Interaktionen:		
	Verspätung/Distanz	-	-0.257
zu Fuss	Kosten/Einkommen	-0.186	-0.254
	Konstante	0.847(*)	0.140(*)
	Gehzeit [min]	-0.080	-0.054
	Interaktionen:		
	Gehzeit/Distanz	-0.049(*)	-0.350
	Geschlecht: Mann	-0.158(*)	0.000(*)
	Frau (Ref.)	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.070(*)	0.433(*)
	quadriert	-0.004(*)	-0.047(*)
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.111(*)	0.056(*)
	quadriert	-0.004(*)	-0.004(*)
	Zweck: Arbeit	-0.405	-0.088(*)
	Ausbildung	0.025(*)	0.655(*)
	Einkauf	-0.169(*)	-0.355(*)
	Nutzfahrt	-0.368(*)	-1.281
	Freizeit (Ref.)	-	-
	Analyseregion: 1	0.100(*)	0.403
	2 (Ref.)	-	-
	3	-0.203(*)	-0.239(*)
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-
	suburban	-0.781	-0.170(*)
	ländlich	-0.201(*)	-0.003(*)
Velo	Konstante	-1.719	-2.517
	Fahrtzeit [min]	-0.071	-0.059
	Interaktionen:		
	Fahrtzeit/Distanz	-0.223	-0.456
	Geschlecht: Mann	0.400	0.434
	Frau (Ref.)	-	-
	Alter [Jahre]: linear	0.472	0.645
	quadriert	-0.070	-0.080
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	0.176	0.218
	quadriert	-0.009	-0.009
	Zweck: Arbeit	0.256(*)	0.405
	Ausbildung	0.471(*)	0.953
	Einkauf	-0.221(*)	-0.859
	Nutzfahrt	0.532(*)	-0.795
	Freizeit (Ref.)	-	-
	Analyseregion: 1	0.346	0.663
	2 (Ref.)	-	-
	3	0.428	0.667
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-
	suburban	-0.372	-0.266(*)
	ländlich	-0.096(*)	-0.201(*)
MIV (Ref.)	Konstante	-	-
	Fahrtzeit [min]	-0.028	-0.050
	Suchzeit [min]	-0.064	-0.067
	Parkkosten [CHF]	-0.172	-0.176
	Interaktionen:		
	Fahrtzeit/Distanz	-0.229	-0.302
	Treibstoffkosten/Distanz	-0.429	-0.675
	Strassennutzungsgebühr/Distanz	-0.381	-0.515
	Verfügbarkeit: nie/nach Absprache (Ref.)	-	-
	immer	-0.157(*)	0.890

	Geschlecht: Mann	-	-
	Frau (Ref.)	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-
	quadriert	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-
	quadriert	-	-
	Zweck: Arbeit	-	-
	Ausbildung	-	-
	Einkauf	-	-
	Nutzfahrt	-	-
	Freizeit (Ref.)	-	-
	Analyseregion: 1	-	-
	2 (Ref.)	-	-
	3	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-
	suburban	-	-
	ländlich	-	-
ÖV	Konstante	-0.978	-1.023
	Fahrtzeit [min]	-0.022	-0.035
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.010	-0.042
	Wartezeit [min]	-0.008	-0.034
	Umsteigen [Anzahl]	-0.208	-0.179
	Takt [min]	-0.008	-0.009
	Interaktionen:		
	Fahrtzeit/Distanz	-0.211	-0.316
	Umsteigen/Distanz	-0.149	-0.467
	Takt/Distanz	-0.071(*)	-0.668
	Billettkosten/Distanz	-0.344	-0.433
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.026	-0.039
	Hauptverkehrsmittel: (S-)Bahn (Ref.)	-	-
	Tram	-	-0.240
	Bus/PostAuto	-	-0.233
	Anzahl Zwischenhalte	-0.004(*)	-
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-
	Halbtax	0.338	0.360
	Verbundabo	1.330	1.571
	GA	1.292	1.712
	Geschlecht: Mann	-0.113(*)	-0.047(*)
	Frau (Ref.)	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-0.042(*)	0.137(*)
	quadriert	0.007(*)	-0.010(*)
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.061(*)	-0.026(*)
	quadriert	0.002(*)	0.005(*)
	Zweck: Arbeit	0.233	0.326
	Ausbildung	0.497	0.911
	Einkauf	-0.049(*)	-0.408
	Nutzfahrt	-0.175(*)	-0.347(*)
	Freizeit (Ref.)	-	-
	Analyseregion: 1	0.208	0.415
	2 (Ref.)	-	-
	3	0.046(*)	0.107(*)
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-
	suburban	-0.246	-0.178
	ländlich	-0.003(*)	-0.213
Skalenparameter	RP (Ref.)	1.000	1.000
	SP 1	1.029(*)	0.927(*)
	SP 2	6.916	3.347
	SP 3	3.918	2.349
	Stichprobengrösse	52'208	67'365
	Personen	3'605	6'099
	Anzahl geschätzter Parameter	73	76
	Log-Likelihood	-29'170	-35'972
	ρ^2	0.351	0.375

(*) = nicht signifikant auf 5 % Niveau; cluster-robuste Standardfehler.

A6 Modellschätzungen für Interaktionen mit verkehrspolitische Einstellungen

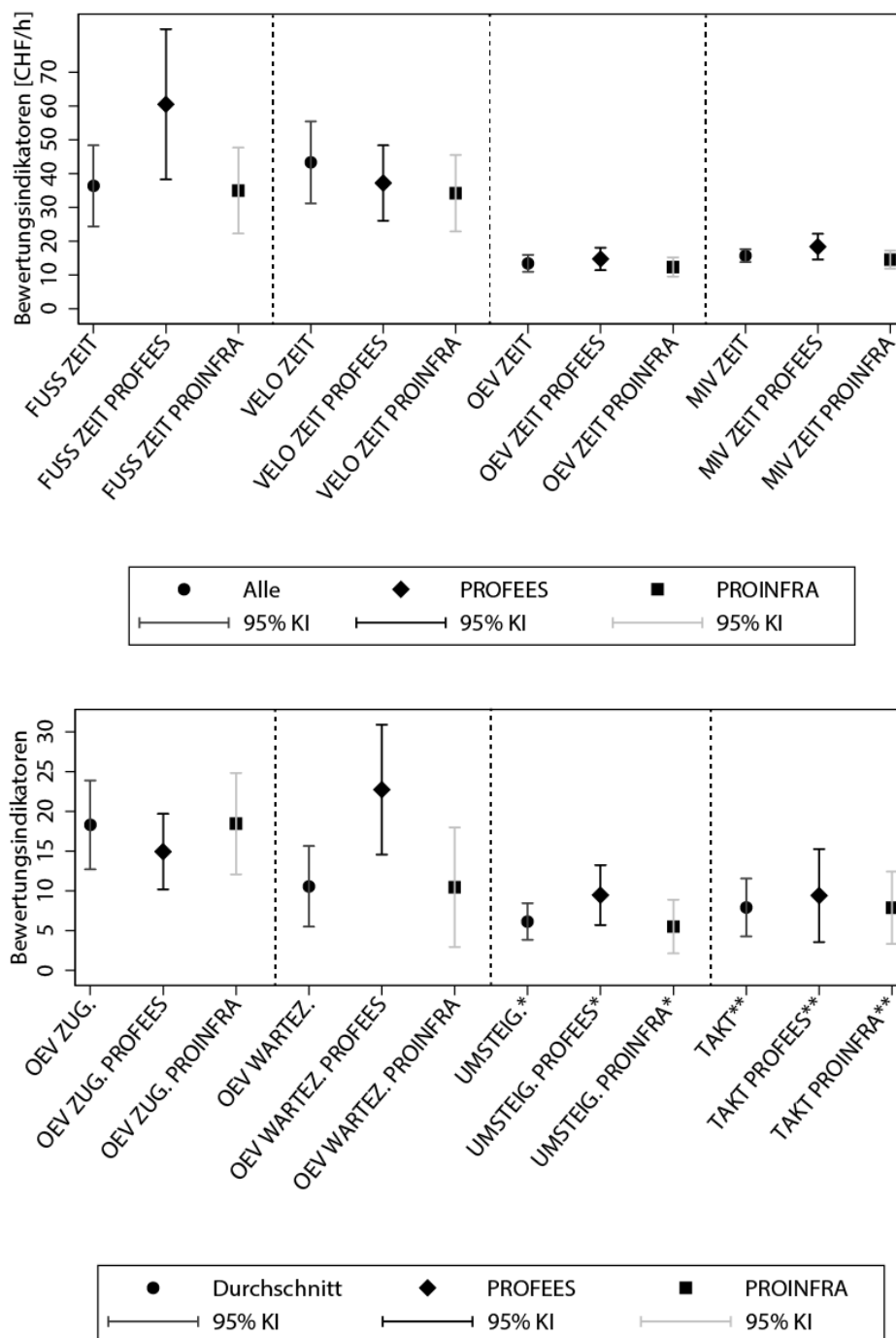
Tabelle 33 Ergebnisse der Interaktionsmodelle mit den verkehrspolitischen Einstellungen für „PROFEES“ (für eine Erhöhung von Abgaben/Gebühren aus dem Strassenverkehr) und „PROINFRA“ (für eine stärkere finanzielle Unterstützung der öffentlichen Infrastruktur aus Einnahmen aus dem Strassenverkehr)

Verkehrsmittel	Parameter	Wert			
		Basismodell	+ Konstanten x LVs	+ Angebotsvariablen x LVs	+ Fehlerkomponenten
gem.	Kosten [CHF]	-0.133	-0.114	-0.115	-0.133
	Kosten [CHF] x PROFEES	-	-	0.001(*)	-0.004(*)
	Kosten [CHF] x PROINFRA	-	-	-0.015	-0.012(*)
	Kosten x Einkommen	-0.209	-0.296	-0.251	-0.332
	Kosten x Distanz	-0.313	-0.317	-0.317	-0.357
	Verlässlichkeit [%]	-2.542	-2.733	-2.795	-3.083
	Verlässlichkeit [%] x PROFEES	-	-	-1.260(*)	-1.340(*)
	Verlässlichkeit [%] x PROINFRA	-	-	-0.134(*)	-0.165(*)
Fuss	Konstante	0.127(*)	0.119(*)	0.065(*)	-0.614(*)
	Konstante x PROFEES	-	0.967	1.611	3.488
	Konstante x PROINFRA	-	0.162(*)	-0.219(*)	0.526
	SD: Zu Fuss	-	-	-	2.558
	Gehzeit [min]	-0.040	-0.039	-0.038	-0.080
	Gehzeit [min] x Distanz	-0.088(*)	-0.072(*)	-0.073(*)	0.149
	Gehzeit [min] x PROFEES	-	-	-0.017(*)	-0.057
	Gehzeit [min] x PROINFRA	-	-	0.007(*)	-0.004(*)
Velo	Konstante	-0.315(*)	-0.369(*)	-0.394(*)	-1.093
	Konstante x PROFEES	-	1.080	1.267	1.897
	Konstante x PROINFRA	-	0.147(*)	-0.294(*)	-0.090(*)
	SD: Velo	-	-	-	2.576
	Fahrzeit [min]	-0.058	-0.055	-0.060	-0.096
	Fahrzeit [min] x Distanz	-0.223(*)	-0.189(*)	-0.153(*)	-0.309
	Fahrzeit [min] x PROFEES	-	-	-0.005(*)	0.011(*)
	Fahrzeit [min] x PROINFRA	-	-	0.021(*)	0.013(*)
MIV	Konstante	-	-	-	-
	Fahrzeit [min]	-0.035	-0.030	-0.030	-0.034
	Fahrzeit [min] x Distanz	-0.168	-0.179	-0.194	-0.214
	Fahrzeit [min] x PROFEES	-	-	-0.005(*)	-0.007(*)
	Fahrzeit [min] x PROINFRA	-	-	-0.001(*)	-0.000(*)
	Suchzeit [min]	-0.028(*)	-0.030(*)	-0.035	-0.040
	Suchzeit [min] x PROFEES	-	-	0.026(*)	-0.015(*)
	Suchzeit [min] x PROINFRA	-	-	-0.009(*)	-0.012(*)
	Parkkosten [CHF]	-0.127	-0.144	-0.145	-0.171
	Parkkosten [CHF] x PROFEES	-	-	0.077	0.078
	Parkkosten [CHF] x PROINFRA	-	-	-0.047(*)	-0.020(*)
ÖV	Konstante	-0.185(*)	-0.195(*)	-0.185(*)	-0.198(*)
	Konstante x PROFEES	-	0.734	0.720	0.859
	Konstante x PROINFRA	-	0.222	0.052(*)	0.248(*)
	SD: ÖV	-	-	-	1.327
	Fahrzeit [min]	-0.026	-0.024	-0.023	-0.029
	Fahrzeit [min] x Distanz	-0.129	-0.142	-0.141	-0.178
	Fahrzeit [min] x PROFEES	-	-	-0.001(*)	-0.003(*)
	Fahrzeit [min] x PROINFRA	-	-	-0.001(*)	-0.000(*)
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.034	-0.033	-0.034	-0.040
	Zu- und Abgangszeit [min] x PROFEES	-	-	0.006(*)	0.006(*)
	Zu- und Abgangszeit [min] x PROINFRA	-	-	0.003(*)	0.004(*)
	Wartezeit [min]	-0.024	-0.022	-0.019	-0.023
	Wartezeit [min] x PROFEES	-	-	-0.022	-0.028

	Wartezeit [min] x PROINFRA	-	-	-0.002(*)	-0.002(*)
	Umsteigen [Anzahl]	-0.158	-0.150	-0.144	-0.163
	Umsteigen [Anzahl] x PROFEES	-	-	-0.045(*)	-0.095(*)
	Umsteigen [Anzahl] x PROINFRA	-	-	0.042(*)	0.029(*)
	Takt [min]	-0.005	-0.005	-0.005	-0.009
	Takt [min] x PROFEES	-	-	-0.000(*)	-0.002(*)
	Takt [min] x PROINFRA	-	-	0.000(*)	-0.001(*)
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.031	-0.030	-0.035	-0.043
	Auslastung x PROFEES	-	-	0.023	0.021
	Auslastung x PROINFRA	-	-	0.008(*)	0.004(*)
	Anzahl Zwischenhalte	-0.027	-0.034	-0.034	-0.034
	Zwischenhalte x PROFEES	-	-	0.022(*)	0.022(*)
	Zwischenhalte x PROINFRA	-	-	0.014(*)	0.014(*)
	HVM Bahn (Ref.)	-	-	-	-
	HVM Bus	-0.350	-0.319	-0.255	-0.428
	HVM Bus x PROFEES	-	-	-0.090(*)	-0.153(*)
	HVM Bus x PROINFRA	-	-	-0.108(*)	-0.168(*)
	HVM Tram	-0.372	-0.335	-0.361	-0.437
	HVM Tram x PROFEES	-	-	0.218(*)	0.268(*)
	HVM Tram x PROINFRA	-	-	-0.144(*)	-0.179(*)
Skalenparameter	RP (Ref.) 2010	1.000 (fix)	1.000 (fix)	1.000 (fix)	1.000 (fix)
	SP 1 2010	1.242(*)	1.263(*)	1.262(*)	2.083
	SP 2 2010	6.706	7.819	7.794	6.797
	SP 3 2010	2.223	2.497	2.492	2.047
	RP 2015	1.754	1.882	1.867	1.619
	SP 1 2015	1.568	1.708	1.710	3.239
	SP 2 2015	4.334	5.063	5.297	4.636
	SP 3 2015	2.874	3.231	3.317	2.472
	Stichprobengrösse	12'670	12'670	12'670	12'670
	Personen	993	993	993	993
	Anzahl geschätzter Parameter	33	39	71	74
	Anzahl Zufallsziehungen für Simulation	-	-	-	250
	Rechenzeit [min.]	19	27	98	4492
	Log-Likelihood	-7'335	-7'071	-6'987	-5'349
	AICc	14'739	14'224	14'128	10'841
	ρ^2	0.317	0.341	0.349	0.502

(*) = nicht signifikant auf 5 % Niveau; cluster-robuste Standardfehler. SD = Standardabweichung der Fehlerkomponenten.

Abbildung 61: Vergleich der geschätzten Bewertungsindikatoren für Interaktionsmodelle mit den latenten Variablen „PROFEES“ (für eine Erhöhung von Abgaben/Gebühren aus dem Strassenverkehr) und „PROINFRA“ (für eine stärkere finanzielle Unterstützung der öffentlichen Infrastruktur aus Einnahmen aus dem Strassenverkehr) im *Mixed Logit* Modell (Tabelle 33, Spalte 4): Effekte einer Erhöhung von PROFEES und PROINFRA um jeweils eine Einheit. Normierung von Indikatoren zur übersichtlicheren Darstellung: * = Umsteigen mal Faktor 5; ** = Takt mal Faktor 2



A7 Modellschätzungen für Bahn- und Fernverkehr

Tabelle 34 Ergebnisse der nach Distanz segmentierten Modelle (alle Wege > 10 km; anschliessend Mediansplit bei 40 km), wo die Bahn als Hauptverkehrsmittel verfügbar ist

Verkehrsmittel	Parameter	Wert		Gesamtmodell
		Wege < 40 km	Wege > 40 km	
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.154	-0.054	-0.071
	Verspätung [min]	-0.059(*)	-0.016(*)	-0.028(*)
	Verspätungsw'keit [%]	-0.655(*)	-0.338(*)	-0.467(*)
	Interaktionen:			
	Kosten/Einkommen	-0.334	-0.461	-0.456
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-0.043	-0.025	-0.030
	Suchzeit [min]	-0.052(*)	-0.060(*)	-0.060
	Parkkosten [CHF]	-0.072	0.062(*)	0.004(*)
	MIV Verfüg.: nie/nach Abspr. (Ref.)	-	-	-
	immer	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Zweck: Arbeit	-	-	-
	Ausbildung	-	-	-
	Einkauf	-	-	-
	Nutzfahrt	-	-	-
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Analyseregion: 1	-	-	-
	2 (Ref.)	-	-	-
	3	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-	-
	ländlich	-	-	-
ÖV	Konstante	0.441(*)	-1.103(*)	-0.751(*)
	Fahrtzeit [min]	-0.035	-0.020	-0.023
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.050	-0.013	-0.024
	Wartezeit [min]	-0.046	-0.024	-0.029
	Umsteigen [Anzahl]	-0.169	-0.193	-0.180
	Takt [min]	-0.009	-0.008	-0.008
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.037	-0.039	-0.033
	MIV Verfüg.: nie/nach Abspr. (Ref.)	-	-	-
	immer	-0.637	-0.533	-0.670
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-
	Halbtax	0.527	0.944	0.888
	Verbundabo	1.128	0.830	1.091
	GA	2.040	2.128	2.280
	Geschlecht: Mann	0.140(*)	-0.287(*)	-0.049(*)
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-0.108(*)	0.137(*)	0.137(*)
	quadriert	0.013(*)	-0.010(*)	-0.010(*)
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-0.125(*)	-0.105(*)	-0.106(*)
	quadriert	0.005(*)	0.004(*)	0.004(*)
	Zweck: Arbeit	0.329(*)	0.299(*)	0.322
	Ausbildung	1.130	0.049(*)	0.625
	Einkauf	-0.005(*)	-0.205(*)	-0.117(*)
	Nutzfahrt	-0.197(*)	-0.098(*)	-0.098(*)
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Analyseregion: 1	-0.069(*)	0.497	0.224(*)
	2 (Ref.)	-	-	-

		3	0.020(*)	0.417	0.199(*)
	Gemeindetyp:	urban (Ref.)	-	-	-
		suburban	-0.104(*)	0.051(*)	-0.050(*)
		ländlich	-0.354(*)	0.111(*)	-0.133(*)
Skalenparameter	RP		1.000 (fix)	1.000	1.000
	SP 1		1.252(*)	1.230(*)	1.179(*)
	SP 2		3.747	2.647	2.939
	SP 3		3.155	2.403	2.698
	Stichprobengrösse		8'760	8'496	17'256
	Personen		766	723	1'463
	Anzahl geschätzter Parameter		34	34	34
	Log-Likelihood		-3'309	-3'474	-7'113
	ρ^2		0.452	0.406	0.402

(*) = nicht signifikant auf 5 % Niveau; cluster-robuste Standardfehler.

Tabelle 35 Ergebnisse der Interaktionsmodelle mit Bahnverfügbarkeit als Hauptverkehrsmittel (Angebotsvariable x HVM Bahn = Bahn verfügbar) für Distanzen > 10 km

Verkehrsmittel	Parameter	Wert		
		Routenwahl ÖV	Verkehrsmittelwahl	Gesamtmodell
gemeinsam	Kosten [CHF]	-0.326	-0.064	-0.163
	Kosten [CHF] x Bahn	0.133	0.017(*)	0.088
	Verspätung [min]	-	0.034(*)	-0.010(*)
	Verspätung [min] x Bahn	-	-0.045(*)	-0.022(*)
	Verspätungsw'keit [%]	-	-0.432(*)	-0.510(*)
	Verspätungsw'keit [%] x Bahn	-	0.014(*)	0.014(*)
	Interaktionen:			
	Kosten/Einkommen	-0.223	-0.309	-0.310
MIV (Ref.)	Konstante	-	-	-
	Fahrtzeit [min]	-	-0.069	-0.051
	Fahrtzeit [min] x Bahn	-	0.028	0.019
	Suchzeit [min]	-	-0.052(*)	-0.050(*)
	Suchzeit [min] x Bahn	-	-0.034(*)	-0.021(*)
	Parkkosten [CHF]	-	-0.139	-0.142
	Parkkosten [CHF] x Bahn	-	0.147	0.158
	MIV Verfüg.: nie/nach Abspr. (Ref.)	-	-	-
	immer	-	-	-
	Geschlecht: Mann	-	-	-
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Einkommen [CHF/Monat]: linear	-	-	-
	quadriert	-	-	-
	Zweck: Arbeit	-	-	-
	Ausbildung	-	-	-
	Einkauf	-	-	-
	Nutzfahrt	-	-	-
	Freizeit (Ref.)	-	-	-
	Analyseregion: 1	-	-	-
	2 (Ref.)	-	-	-
	3	-	-	-
	Gemeindetyp: urban (Ref.)	-	-	-
	suburban	-	-	-
	ländlich	-	-	-
ÖV	Konstante	-	-1.613	-1.194
	Konstante x Bahn	-	0.156(*)	0.123(*)
	Fahrtzeit [min]	-0.080	-0.048	-0.036
	Fahrtzeit [min] x Bahn	0.014(*)	0.019	0.012
	Zu- und Abgangszeit [min]	-0.100	-0.038	-0.040
	Zu- und Abgangszeit [min] x Bahn	0.025(*)	0.014(*)	0.015(*)
	Wartezeit [min]	-0.129	-	-0.057
	Wartezeit [min] x Bahn	0.051	-	0.026
	Umsteigen [Anzahl]	-0.414	-0.238	-0.200
	Umsteigen [Anzahl] x Bahn	0.090(*)	-0.065(*)	0.008(*)
	Takt [min]	-0.028	-0.010	-0.008
	Takt [min] x Bahn	0.000(*)	0.007(*)	0.004(*)
	Auslastung [Stufe]: quadriert	-0.091	-0.029	-0.036
	Auslastung x Bahn	-0.001(*)	-0.004(*)	0.001(*)
	MIV Verfüg.: nie/nach Abspr. (Ref.)	-	-	-
	immer	-	-0.885	-0.855
	Abonnement: keines (Ref.)	-	-	-
	Halbtax	-	0.958	0.698
	Verbundabo	-	1.405	1.185
	GA	-	2.417	1.869
	Geschlecht: Mann	-	-0.068(*)	-0.054(*)
	Frau (Ref.)	-	-	-
	Alter [Jahre]: linear	-	0.186(*)	0.204(*)

		quadriert	-	-0.012(*)	-0.014(*)
Einkommen [CHF/Monat]:	linear		-	-0.018(*)	-0.024(*)
	quadriert		-	-0.000(*)	0.000(*)
Zweck: Arbeit			-	0.478	0.426
Ausbildung			-	1.059	1.000
Einkauf			-	-0.226(*)	-0.218(*)
Nutzfahrt			-	-0.201(*)	-0.150(*)
Freizeit (Ref.)			-	-	-
Analyseregion: 1			-	0.280	0.277
2 (Ref.)			-	-	-
3			-	0.095(*)	0.102(*)
Gemeindetyp: urban (Ref.)			-	-	-
suburban			-	-0.047(*)	-0.059(*)
ländlich			-	-0.216(*)	-0.196(*)
Skalenparameter	RP		-	1.000	1.000
	SP 1		-	1.036(*)	1.078(*)
	SP 2		-	-	3.011
	SP 3		-	-	2.408
	Stichprobengrösse	4'072		18'996	35'607
	Personen	529		2'960	2'988
	Anzahl geschätzter Parameter	15		43	47
	Log-Likelihood	-1'951		-6'346	-14'969
	ρ^2	0.309		0.513	0.390

(*) = nicht signifikant auf 5 % Niveau; cluster-robuste Standardfehler.